



# EL PERFIL ALAR Y SU NOMENCLATURA NACA<sup>1</sup>

## THE AIRFOIL AND ITS NACA NOMENCLATURE<sup>2</sup>

rev.ciencia.poder.aéreo. 8: 26 - 32, 2013

Recibido: 27/06/2013  
Aprobado evaluador interno: 4/07/2013  
Aprobado evaluador externo: 9/08/2013

**Autor**

**Santiago Pinzón Paz<sup>3</sup>**

### Resumen

El perfil alar representa el ADN de la plataforma del ala y otorga las características fundamentales del desempeño aerodinámico en 2-D, medido en coeficiente de sustentación y coeficiente de resistencia. El propósito de este artículo es realizar una introducción a la nomenclatura general NACA de un perfil alar, sus diferencias geométricas y su valoración aerodinámica.

### Abstract

The airfoil represents the DNA of the wing platform and provides the fundamental characteristics of the aerodynamic performance in 2-D geometry, as measured in section lift coefficient and section drag coefficient. This article presents an introduction to the general nomenclature of the airfoil, its geometric profiles and its aerodynamic performance.

**Palabras clave:** Perfil alar, NACA, flujo laminar.

**Key Words:** Airfoil, NACA, Streamline Flow.

<sup>1</sup>Este artículo es producto de un análisis al diseño de los perfiles alares y su nomenclatura NACA correspondiente a un artículo corto de investigación.

<sup>2</sup>This article is the product of an analysis of the design of airfoils and their NACA nomenclature, and is part of a short investigative article.

<sup>3</sup>Ingeniero Aeroespacial. Magister en Ingeniería Aeroespacial de la Universidad Embry-Riddle. Piloto privado. Gerente de AST -Aerospace Science and Technology SAS. Correo electrónico: spinzon@ast.net.co Bachelor's Degree in Aerospace Engineering. Master of Science in Aerospace Engineering - Embry-Riddle Aeronautical University. Private pilot. Manager at AST -Aerospace Science and Technology SAS. E-mail: spinzon@ast.net.co

## 1. Introducción

Antes de la era de aerodinámica computacional, la industria aeronáutica dependía de los estudios realizados por dos agencias a nivel mundial para la selección de los perfiles alares en sus diseños aeronáuticos. En el Reino Unido estaba la RAE (Royal Aircraft Establishment) y Estados Unidos contaba con la institución precursora para el desarrollo racional de perfiles alares denominada NACA: National Advisory Committee for Aeronautics (Ver Figura 1).

Este comité estaba encargado de realizar pruebas y diseños empíricos de perfiles alares. La NACA fue una agencia federal de Estados Unidos que se fundó el 3 de marzo de 1915 para emprender, fomentar, e institucionalizar las investigaciones aeronáuticas. La agencia se disolvió el 1 de octubre de 1958 para darle paso a la creación de la NASA (National Aeronautics and Space Administration).

Estas dos instituciones a nivel mundial formalizaron trabajos y estudios en túneles de viento durante el período definido entre 1920-1960. Este trabajo resultó en la creación de familias de perfiles alares y el desarrollo racional de una nomenclatura para la escogencia del perfil basado en su desempeño aerodinámico. El estudio tiene tanta trascendencia e importancia, que muchos de los perfiles o "standard Airfoils" son utilizados en aeronaves hoy en día.



**Figura 1.** Emblema NACA. **Fuente:** The National Advisory Committee for Aeronautics Logo. In: NASA Ames Research Center.

### 1.1. Objetivo

Describir la nomenclatura general de un perfil alar, sus diferencias geométricas y su valoración aerodinámica, a fin de resaltar la importancia de los estudios realizados por NACA para el beneficio de la industria aeronáutica.

### 1.2. Método

El método empleado para el presente estudio se deriva de la revisión documental de la nomenclatura NACA y los estudios publicados por Abbot y Doenhoff (1949), los cuales involucran la nomenclatura de las Familias NACA 1, 4, 5, 6 y 7.

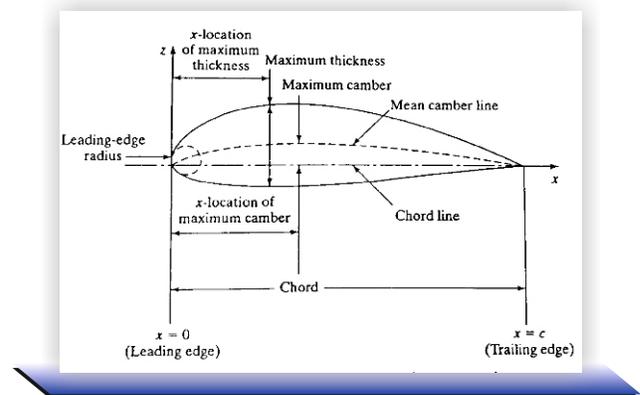
## 2. Fundamentos teóricos de la nomenclatura de un perfil alar

Cabe anotar que antes de 1930, los diseñadores aeronáuticos no tenían ningún tipo de herramienta para seleccionar un perfil alar, por tal motivo, su diseño y escogencia era personalizado y no obedecía a un análisis dimensionado o consistente en el campo analítico. (Anderson, 1999).

Esta situación cambió de manera radical cuando la NACA decidió adoptar un estudio racional y sistemático para el diseño de los perfiles alares aeronáuticos. Este estudio se basó en pruebas exhaustivas en túneles de viento para el análisis de las características y propiedades inherentes de cada perfil alar. El estudio requería de una nomenclatura efectiva para lograr su clasificación de manera ordenada y detallada con el fin de suministrarle al usuario final una validación completa del perfil alar acorde a su misión.

### 2.1. Concepto geométrico del perfil alar.

La nomenclatura NACA define el concepto geométrico del perfil alar. A continuación se muestra en la Figura 2, el estándar de lo que se considera un perfil aerodinámico con sus definiciones geométricas.



**Figura 2.** Definición Geométrica NACA Perfil Alar. **Fuente:** Bertin, J. J. (2002) *Aerodynamics for Engineers*, p. 160. New Jersey: Prentice Hall.

La Figura 2, corresponde al ADN y la definición del desempeño aerodinámico en análisis 2D. Su definición y por ende su característica más importante es la línea de camber conocida como "Mean Camber Line" o línea de curvatura media. (Anderson, 1999).

Esta línea de curvatura media es la característica de diseño más importante del perfil alar. Se define por un grupo de puntos posicionados de manera equidistante entre el extradós y el intradós con cambio en la longitud de cuerda, medidos perpendicularmente desde la cuerda.



El punto de inicio y el punto de finalización de la línea de curvatura media están definidos como el borde de ataque y el borde de salida. La línea recta que conecta el borde de ataque y el borde de salida es la línea de cuerda del perfil alar y la distancia precisa medida en esta línea se conoce como la cuerda.

El camber de un perfil alar es la distancia máxima que existe entre la línea de cuerda y la línea de curvatura media o "mean camber line" medida perpendicularmente desde la cuerda. El camber, la forma de la línea de curvatura media y la distribución de espesor del perfil alar en esencia representan las variables de diseño más importantes porque controlan las características de sustentación y los momentos del perfil alar.

El radio de la nariz del borde de ataque tiene un radio de alrededor de un 1% de la longitud de cuerda en aplicaciones subsónicas. Este radio en efecto es el radio de un círculo centrado en una línea tangente al camber del borde de ataque conectando puntos en tangente entre la superficie superior y la superficie inferior. La magnitud del radio del borde de ataque tiene consideraciones en el tipo de pérdida o "stall" del perfil. Cabe anotar que con incremento en magnitud del radio la pérdida de sustentación o "stall" es más dócil, mientras que con la reducción de la magnitud del radio, la pérdida de sustentación es más dramática y la pendiente es más aguda.

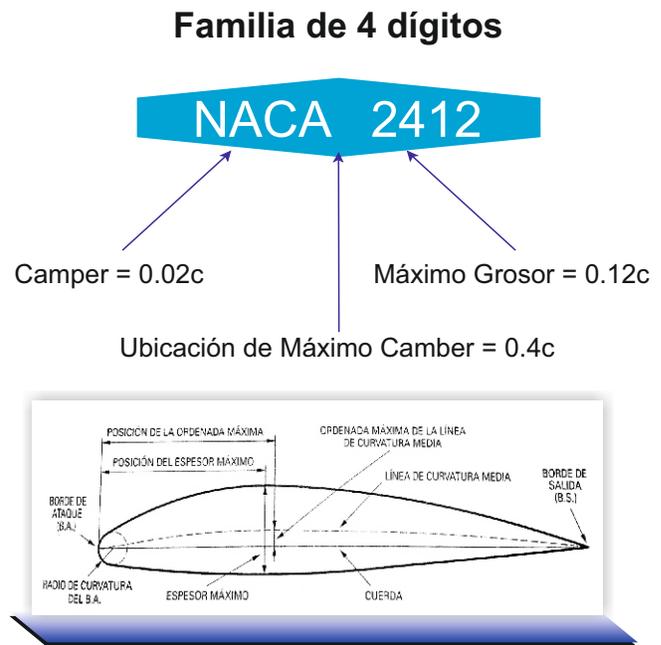
Por último, la distribución del espesor del perfil alar tiene efectos aerodinámicos importantes relacionados con el coeficiente máximo de sustentación y la capa límite laminar. Con incremento en espesor, el coeficiente máximo de sustentación aumenta y si el espesor disminuye el coeficiente máximo de sustentación disminuye.

De igual manera, hay un fenómeno de separación asociado con el incremento en espesor que incrementa la gradiente de presión adversa en el perfil alar. Por este motivo, es necesario tener en cuenta hasta qué punto es bueno incrementar el espesor del perfil con el objetivo de incrementar el coeficiente de sustentación máximo y de igual forma minimizar la separación de la capa límite.

## 2.2. Perfil alar NACA 4 dígitos

NACA decidió generar la nomenclatura para la primera familia de perfiles alares a principios de 1930. La primera familia de los NACA airfoils se conoce como la familia de perfiles de 4 dígitos.

A continuación se presenta la descripción de dicha nomenclatura utilizando como ejemplo el perfil alar NACA 2412 de 4 dígitos (Ver Figura 3).



**Figura 3.** Perfil Alar Naca de 4 Dígitos Nomenclatura Autor / Figura del Perfil Alar y Su Geometría. **Fuente:** Carmona, A. (1999). *Aerodinámica y Actuaciones del Avión*, p. 79. Madrid: Thomson-Paraninfo.

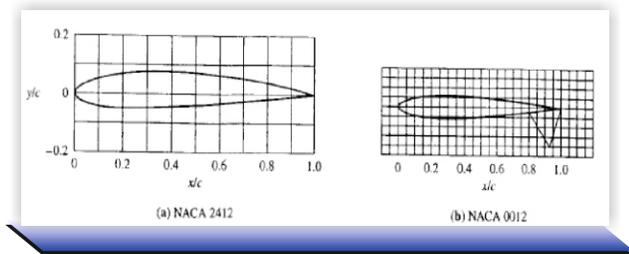
De acuerdo a la definición NACA, el primer dígito da el camber máximo en porcentaje de cuerda. Esto significa que el camber máximo del perfil 2412 es 2% de la longitud de cuerda. El segundo dígito representa la localización del camber máximo en la décima de cuerda. En este caso, para el perfil 2412 el máximo camber está localizado en el 40% de la longitud de la cuerda medido desde el borde de ataque. Los últimos dos dígitos otorgan el máximo espesor en porcentaje de la cuerda. Cabe anotar, que el máximo espesor de un perfil alar de cuatro dígitos se ubica por defecto al 30% de la cuerda medido desde el borde de ataque. Por ejemplo, el perfil NACA 2412 tiene un máximo grosor de 12% de longitud de cuerda @ 30%C.

Es importante mencionar el perfil alar simétrico comúnmente utilizado en superficies de control como el estabilizador horizontal y el estabilizador vertical (Rudder y Elevador). Este perfil simétrico se define en la familia de 4 dígitos, pero los primeros dos dígitos están designados como ceros. El perfil simétrico no tiene camber, solo tiene espesor. Por ejemplo, un perfil simétrico se define como se indica en la Figura 4.



**Figura 4.** Comparación Perfil NACA 2412.

La Figura 5 realiza una comparación ilustrativa de la diferencia geométrica entre un perfil NACA 2412 y un perfil simétrico NACA0012 con el mismo espesor.



**Figura 5.** Comparación Perfil NACA 2412 y Perfil NACA 0012. Fuente: Anderson, J. (1999). *Aircraft Performance and Design*. New York: McGraw-Hill.

### 2.3. Perfil alar NACA 5 dígitos

A mediados de 1930 nació la segunda familia de los perfiles alares NACA. Esta familia se denominó NACA de 5 dígitos. Este tipo de perfil alar surgió de experimentos y estudios empíricos con el objetivo de incrementar el coeficiente de sustentación máximo. Los resultados demostraron que si acercaban el punto de camber máximo en dirección al borde de ataque se obtenía incremento en el coeficiente de sustentación local. Por tal motivo, se crea el perfil alar NACA de 5 dígitos como por ejemplo el NACA23012 (Ver Figura 6).

El primer dígito cuando se multiplica por 3/2 otorga el

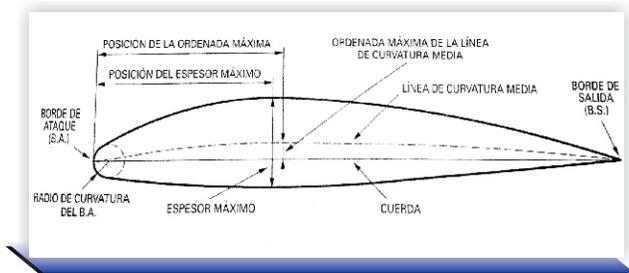
#### Familia de 5 dígitos

**NACA 23012**

Coeficiente de sustentación de diseño = 0.3

Máximo grosor = 0.12c

Ubicación de máximo camber = 0.15c



**Figura 6.** Perfil Alar NACA de 5 Dígitos Nomenclatura Autor / Figura del Perfil Alar y Su Geometría. Fuente: Carmona, A. (1999). *Aerodinámica y Actuaciones del Avión*, p. 79. Madrid: Thomson-Paraninfo.

coeficiente de sustentación de diseño en décimas. El coeficiente de sustentación de diseño es un índice del incremento en camber y por ende, si el camber del perfil incrementa, el coeficiente de sustentación de diseño se incrementa. En este caso, el coeficiente de sustentación de diseño para el perfil NACA 23012 es de 0.3.

El segundo y tercer dígito forman un número que multiplicado por 1/2 otorga la ubicación del camber máximo en porcentaje de la longitud de línea de cuerda tomada desde el borde de ataque. En este caso se tiene el camber máximo al 15% de longitud de cuerda. Los últimos dos dígitos dan el grosor máximo del perfil alar que en este caso es del 12% o 0.12c de la longitud de cuerda.

### 2.4. Perfil alar NACA serie 1

El perfil alar serie 1 representó el primer intento de diseñar teóricamente un perfil alar con un tipo de distribución de presión deseado, mantener una presión de gradiente favorable y una capa límite laminar en el proceso.

A continuación se presenta el ejemplo de nomenclatura con el perfil NACA 16-212. (Ver Figura 7).

#### Familia de 1 dígito

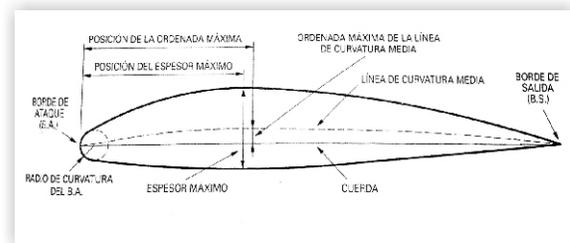
**NACA 16-212**

Identifica la Serie

Máximo grosor = 0.12c

Coeficiente de sustentación de diseño = 0.2

Ubicación de mínima presión = 0.6c



**Figura 7:** Perfil Alar NACA de 1 Dígito Nomenclatura Autor / Figura del Perfil Alar y Su Geometría. Fuente: Carmona, A. (1999). *Aerodinámica y Actuaciones del Avión*, p. 79. Madrid: Thomson-Paraninfo.

El primer dígito identifica la serie, el segundo dígito provee la ubicación del punto de mínima presión en décimas de cuerda medidas desde el borde de ataque. Cabe anotar que la ubicación del punto de mínima presión es analizado no



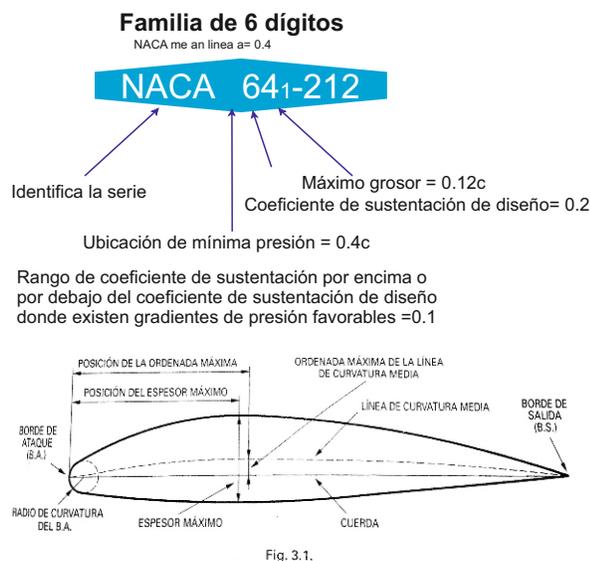
para el perfil con camber, sino para un perfil simétrico con la misma distribución de espesor del perfil analizado y al ángulo de ataque correspondiente a cero sustentación o ángulo de ataque cero para el perfil simétrico. Para el perfil NACA 16-212 este fenómeno ocurre a 0.6c o 60% de la longitud de cuerda. El tercer dígito da el coeficiente de sustentación de diseño en décima de cuerda. En este caso el coeficiente de sustentación de diseño es de 0.2. Finalmente, los últimos dos dígitos otorgan el máximo grosor en porcentaje de la cuerda, que para el NACA 16-212 sería del 12%.

## 2.4. Perfil Alar NACA Serie 6

A finales de 1930 y principios de 1940 la NACA empieza con los estudios de perfiles alares con el propósito de fomentar el flujo laminar sobre su superficie minimizando el coeficiente de resistencia. Este nuevo alcance de la NACA se le llama "Laminar Flow Airfoil" o perfil alar de flujo laminar. Este estudio involucra a una nueva familia de perfiles denominada serie 6 o NACA 6-series airfoil.

A diferencia de los objetivos del perfil alar de 1 dígito, El NACA serie 6, tiene como objetivo minimizar la resistencia asegurando el flujo laminar y reduciendo la gradiente de presión adversa, obtener un Mach number crítico deseado para la reducción de resistencia en régimen transónico y por último aumentar las características de máxima sustentación.

A continuación se presenta el ejemplo de nomenclatura con el perfil alar NACA 641-212 que adicionalmente posee un subíndice donde indica gradientes de presión favorables por arriba y por abajo del coeficiente de sustentación de diseño.



**Figura 8:** Perfil Alar NACA de 6 Dígitos Nomenclatura Autor / Figura del Perfil Alar y Su Geometría. Fuente: Carmona, A. (1999). Aerodinámica y Actuaciones del Avión, p. 79. Madrid: Thomson-Paraninfo.

El primer dígito identifica la serie, el segundo dígito provee la ubicación del punto de mínima presión en décimas de cuerda medidas desde el borde de ataque.

Cabe anotar que la ubicación del punto de mínima presión es analizado no para el perfil con camber, sino para un perfil simétrico con la misma distribución de espesor del perfil analizado y al ángulo de ataque correspondiente a cero sustentación o ángulo de ataque cero para el perfil simétrico.

Para el perfil NACA 64<sub>1</sub>-212 este fenómeno ocurre a 0.4c o 40% de la longitud de cuerda. Adicionalmente, se debe tener en cuenta el tipo de línea de camber o "NACA Mean Line" cuando se evalúa la nomenclatura. Para este caso en particular, el tipo de línea de camber a = 0.4 indica que se mantiene una presión uniforme sobre el perfil alar hasta el 40% de la longitud de la cuerda. Usualmente, el tipo de línea de camber o "a" tiene valores iguales o mayores al punto de ubicación de mínima presión.

El tercer dígito da el coeficiente de sustentación de diseño en décimas de cuerda. En este caso el coeficiente de sustentación de diseño es de 0.2. Finalmente, los últimos dos dígitos otorgan el máximo grosor en porcentaje de la cuerda, que para el NACA 64<sub>1</sub>-212 sería del 12%.

La importancia de los perfiles alares de la familia NACA Serie 6, se deriva de la habilidad para minimizar la resistencia, especialmente el coeficiente de resistencia con variación del coeficiente de sustentación.

Usualmente, estos perfiles exhiben en el gráfico de la curva de resistencia un "Drag Bucket" o una precipitación en el coeficiente de resistencia  $C_d$  en el rango de los ángulos de ataque bajos. Esta precipitación o drag bucket es una característica típica de los perfiles alares NACA serie 6.

El subíndice de este perfil indica que tiene un rango operativo de  $Cl = \pm 0.1$  del coeficiente de sustentación de diseño. En comparación con un perfil de la familia de 4 dígitos, el NACA serie 6 tiene una reducción de 33% en el coeficiente de resistencia mínima (Abbot & Doenhoff, 1949). La Figura 9 ilustra el típico gráfico del resultado de las investigaciones y pruebas en túneles de viento de la NACA en cuanto al perfil de flujo laminar serie 6 NACA 64<sub>1</sub>-212.

Adicionalmente, se ilustra la variación del coeficiente de resistencia del perfil con variación del coeficiente de sustentación o en otras palabras, variación de ángulo de ataque. Es visible el "drag bucket" para números de Reynolds de  $3.0 \times 10^6$  hasta  $9.0 \times 10^6$  y coeficiente de sustentación entre 0.1 y 0.3. Anderson (2001) menciona que la primera aeronave militar en utilizar este tipo de perfil alar fue el North American P-51 Mustang versión H.

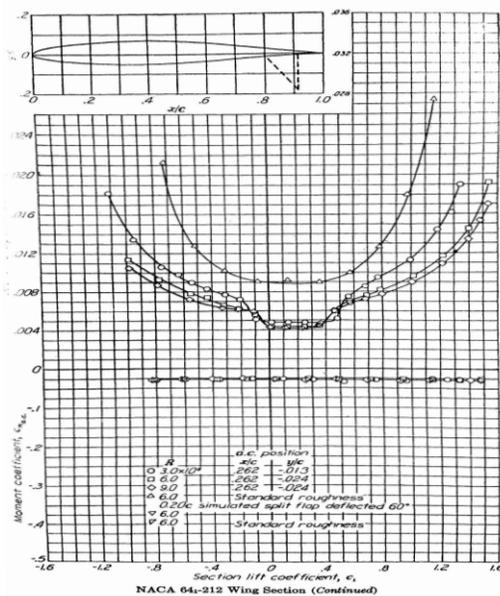


Figura 9. Variación de Coeficiente de Resistencia con Coeficiente de Sustentación Perfil NACA 64-212. Fuente: Abbot & Doenhoff. (1949). *Theory of Wing Sections*, p. 571. New York: Dover Publications.

## 2.5. Ejemplos de aeronaves con perfiles NACA

Muchas de las aeronaves actualmente utilizan perfiles alares NACA de todas las familias y divisiones. Desde el Cessna 152 hasta el avión de combate General Dynamics F-16 se han beneficiado del estudio realizado en los distintos perfiles alares con enfoque en la reducción de resistencia y el incremento del coeficiente de sustentación máximo. La Figura 10 presenta los ejemplos de aeronaves emblemáticas que utilizan los perfiles alares NACA.

### Ejemplos:

Cessna 150: NACA 2412



Fairchild A-10: NACA 6716



General Dynamics  
F-16 NACA 64-204



Figura 10. Aeronaves con Perfil NACA. Familia de 4 Dígitos y NACA serie 6. Fuente: Cessna Aircraft Company, Military.wikia.com.

## 3. Conclusiones

El estudio racional y analítico de los perfiles aerodinámicos conducido por la NACA a mediados del siglo XX ha contribuido enormemente al progreso de la aviación civil y militar. Hoy en día, aeronaves con desempeño aerodinámico diverso utilizan perfiles alares de diferentes familias o categorías NACA según el objetivo del desempeño aerodinámico de la aeronave y su misión en general.

A continuación se presentan las ventajas y desventajas de las familias más utilizadas en la aviación de los perfiles alares (Serie 4, 5 y 6).

### Familia de 4 dígitos

**Ventajas:** presenta características buenas de pérdida o "Stall" a nivel de docilidad.

**Desventajas:** coeficientes de sustentación bajos, alta resistencia sobre la mayoría de condiciones operativas.

### Familia de 5 dígitos

**Ventajas:** incremento en el máximo coeficiente de sustentación, minimiza el momento de pitch o elevación inherente al diseño del perfil alar.

**Desventajas:** comportamiento pobre en pérdida de sustentación y alta resistencia.

### Familia de 6 dígitos

**Ventajas:** incremento en el máximo coeficiente de sustentación. Diseñado para mantener flujo laminar y minimizar la resistencia en condiciones de diseño de operación. Optimizado para aplicaciones de alta velocidad.

**Desventajas:** alta resistencia por fuera de las condiciones de diseño. Comportamiento pobre en pérdida de sustentación. Incremento en momentos de elevación o "pitch" inherentes al diseño del perfil alar.

En general, NACA no sólo racionalizó los estudios de los perfiles alares, sino que logró la unión de la aerodinámica teórica al estilo de Theodore Theodorsen o Prandtl y la aerodinámica empírica realizando enormes esfuerzos para plasmar la investigación y lograr una divulgación profunda a los fabricantes de aeronaves contribuyendo con el progreso de la aviación y el transporte aéreo mundial.



## Referencias

- Anderson, J. (1999). *Aircraft Performance and Design*. New York: McGraw-Hill.
- Anderson, J. (2001). *Fundamentals of Aerodynamics*. New York: McGraw-Hill.
- Abbot & Doenhoff (1949). *Theory of Wing Sections*. New York: Dover Publications.
- Bertin, John J. (2002) *Aerodynamics for Engineers*, p. 160. New Jersey: Prentice Hall.
- Carmona, A. (1999). *Aerodinámica y Actuaciones del Avión*. Madrid: Thomson Paraninfo.
- Raymer, D. (1999). *Aircraft Design: A Conceptual Approach*. Reston. American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc.













