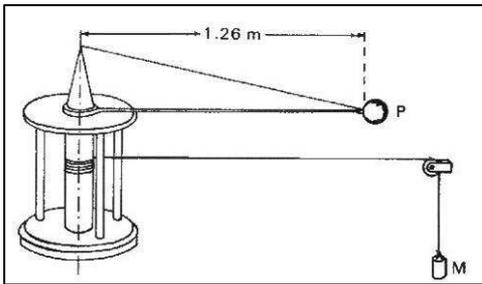


Introducción:

**Mecánica de Fluidos Computacional en la
Aerodinámica aeronáutica.**

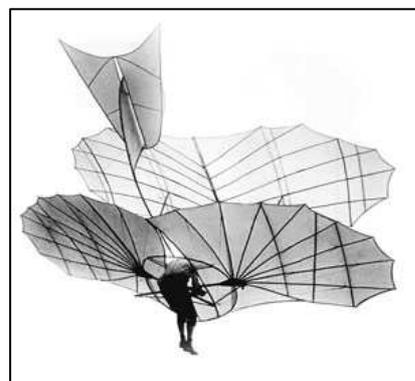
El estudio aerodinámico de un avión es absolutamente necesario para la síntesis de éste ya que suministra información muy importante para predecir el comportamiento en vuelo. Es necesario saber si un avión generará la sustentación suficiente como para mantenerse en el aire o si el vuelo será estable. No obstante, a diferencia de otras ramas de la ingeniería, la predicción de los distintos parámetros aerodinámicos no es sencilla y en los primeros años de esta ciencia su obtención dependía directamente de los ensayos en vuelo.



A comienzos del siglo XVIII los primeros “diseñadores” de aviones llegaron a la conclusión de que para diseñar un avión era necesario recopilar información de cómo las corrientes de aire podían afectar a

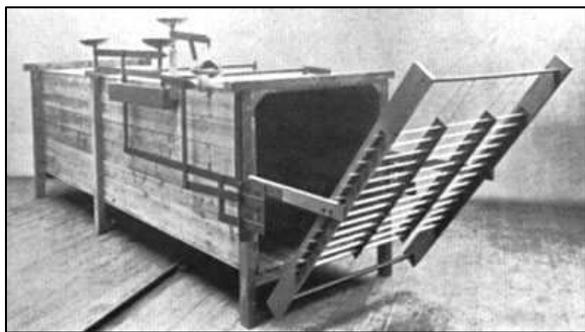
las superficies. La primera idea fue la observación del vuelo de las aves, lo que no dio muchos resultados. El siguiente paso, obra del matemático inglés Benjamin Robins, consistía en un brazo rotatorio que se hacía girar mediante un peso, de esta forma podía aproximarse la resistencia de objetos colocados en el extremo del brazo. A pesar de las obvias limitaciones técnicas, este aparato se usó de forma común durante todo el siglo XIX para recoger información sobre resistencia y sustentación de perfiles y superficies sustentadoras.

El alemán Otto Lilienthal usó grandes aparatos de este tipo (7 metros de diámetro) antes de comenzar los ensayos en vuelo de su planeador. Los incorrectos resultados obtenidos en los ensayos con brazos rotatorios le llevaron a la conclusión de que



el vuelo a motor no era posible. Poco después moriría estrellado a causa del efecto de una turbulencia.

Para obtener mejores resultados llegaron a construirse brazos rotatorios de 18 metros de diámetro, pero pronto caerían en el desuso al aparecer el túnel de viento. El británico Frank H. Wenham fue el primero en diseñar y construir un túnel de viento en 1871. El aparato de 3,7 metros de longitud y 45,7 cm² de sección podía generar una corriente máxima de 65 km/h gracias a un ventilador instalado en una de sus entradas. Sin embargo los resultados fueron importantes. Se obtuvieron curvas C_L - α más optimistas que las precedentes lo que animó a pensar que tal vez el vuelo a motor fuera posible (las alas podían soportar más peso) y se constató una mejor eficiencia aerodinámica para alas con gran alargamiento.



Pronto llegarían los hermanos Wright y con ellos el primer avión propulsado. El túnel de viento se había hecho indispensable en el diseño aerodinámico, llegando a ser casi tan importante como el ensayo en vuelo y la industria comenzó a desarrollarse a un ritmo imparable.

Es a partir de este momento cuando comienzan a sucederse los avances matemáticos en la aerodinámica: Kutta, Joukowski, Prandtl, von Kármán, etc. presentarán multitud de teorías para predecir el comportamiento aproximado en vuelo, si bien son difícilmente aplicables con los medios técnicos de la época y demasiado simplificadas como para obtener resultados sin una dependencia absoluta del ensayo en túnel, sí que consiguen predecir las

relaciones entre los datos aerodinámicos y características geométricas fácilmente medibles.

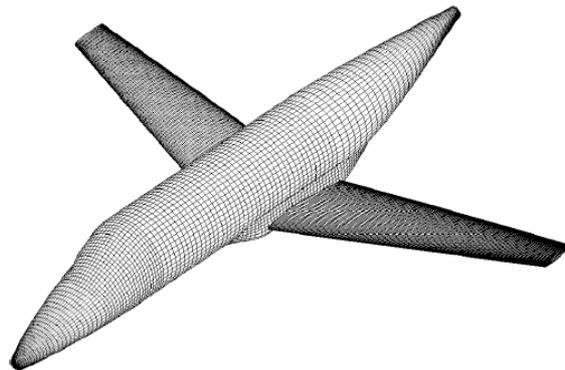
El siguiente avance vendrá de la mano de John Hess y A.M.O. Smith en 1966 al publicar el primer método computacional para la resolución de superficies sustentadoras. El método resolvía las ecuaciones del potencial linealizado sobre superficies planas llegando a un nivel de detalle nunca antes visto. Poco después, las principales compañías aeronáuticas comenzaban a trabajar en sus propios métodos de paneles, entre ellas Boeing, Douglas, McDonnell y Analytical Methods. Con esta tecnología aparece toda una nueva generación de aviones capaces de llegar más alto, más lejos y transportar a más personas que nunca.

No obstante, los métodos de paneles no cubrían aún toda la riqueza de comportamiento de los fluidos, por lo que los túneles de viento siguieron y siguen usándose para validar los resultados obtenidos de forma rápida y barata por los diseñadores.

Desde finales de los años setenta hasta hoy se ha aumentado el número de códigos CFD. Encontramos los códigos llamados “Full-Potential” usados para el cálculo de flujos transónicos, los “Euler” que resuelven las ecuaciones de Euler (sin viscosidad) en volúmenes de contorno y por último los más completos, los “Navier-Stokes” capaces de incluir la viscosidad y turbulencia en sus cálculos. Sin embargo, especialmente en éste último caso, los resultados aún no son todo lo buenos que deberían y el túnel de viento sigue siendo una herramienta fundamental si bien su uso se ha reducido a la validación de resultados obtenidos previamente por computador.

Veremos a continuación los diferentes problemas a los que se enfrenta el diseño aerodinámico actual y donde tiene cabida cada uno de los métodos CFD anteriormente nombrados.

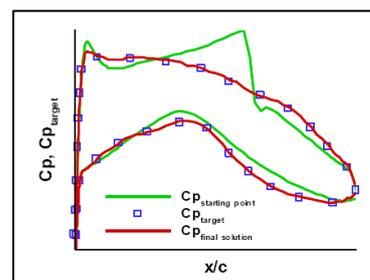
Diseño Aerodinámico Actual



El diseño de un avión moderno involucra numerosas disciplinas: estructuras, aerodinámica, control, sistemas, propulsión. Todas ellas se encuentran interconectadas y dependen de muchas variables. Los principales casos son el diseño de alas transónicas, la instalación de plantas de potencia, la predicción de deformaciones en el ala o las características de entrada en pérdida para configuraciones completas.

Métodos avanzados para el diseño de alas.

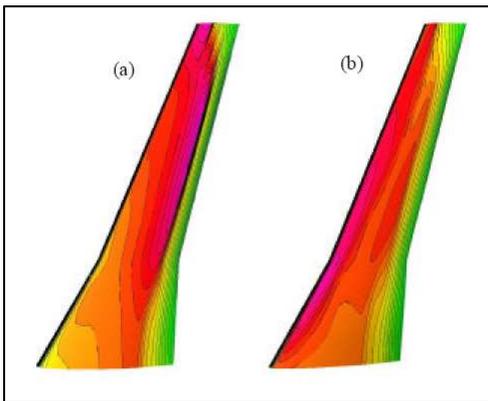
Para diseñar alas transónicas se combinan varios métodos. Lo más común es el uso de optimización de formas. Mediante métodos de optimización (por ejemplo Simplex) se obtiene una geometría que se ajuste a una



distribución de presión dada. Esta geometría puede definirse mediante nubes

de puntos o bien de forma más rápida y sistemática, mediante cónicas y variables de control. La distribución de presiones objetivo depende en gran medida de la experiencia del diseñador y de la orientación aportada por programas multidisciplinares.

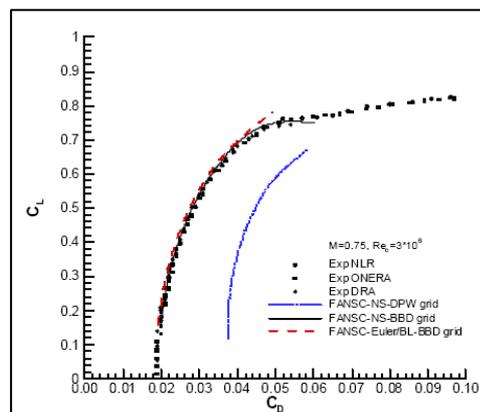
Los programas multidisciplinares optimizan variables globales, como la resistencia o el peso, realizando cálculos aerodinámicos y estructurales y obtienen una primera aproximación de la distribución de presiones óptima. Las distribuciones de presión se suelen dividir en secciones del ala y se introducen en los programas de optimización refinada. Todo el proceso requiere códigos para evaluar los datos aerodinámicos. Antiguamente este trabajo recaía en los métodos de paneles a los que se aplicaban correcciones de compresibilidad. Hoy en día su uso ha decaído en los aviones civiles ya que



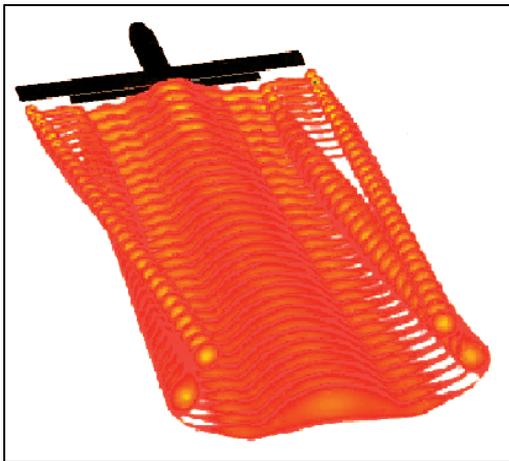
la competitividad exige resultados muy aproximados a los que solo pueden llegar los métodos “Full Potential”. Los métodos de paneles en el diseño de alas han sido relegados a aplicaciones a bajos números de Mach.

Predicción de la resistencia

La predicción de la resistencia total, así como la de cada una de sus componentes, es esencial en el diseño de alas. En los últimos años, los mayores esfuerzos se han centrado en mejorar los códigos Navier-Stokes con modelos $k-w$ y Spalart-



Allmaras para la turbulencia. Sin embargo, el tiempo de cálculo para obtener resultados es demasiado grande como para una aplicación rutinaria en el diseño, por lo que se suele optar por códigos Euler con acoplamiento en la capa límite. Desgraciadamente, los resultados obtenidos no cumplen aún con las expectativas, ya que tienen una fuerte dependencia del mallado y preproceso, por lo que es necesario hacer un uso complementario de métodos semiempíricos y de estudios de sensibilidad al mallado.

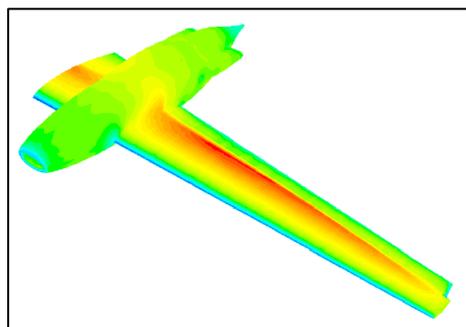


En este campo, los métodos de paneles permiten obtener los valores de la resistencia inducida y en el caso de métodos de paneles supersónicos, resistencia de onda. La obtención de la resistencia como suma de diferentes componentes, tiene gran interés para el diseño, por lo que aún se usan métodos

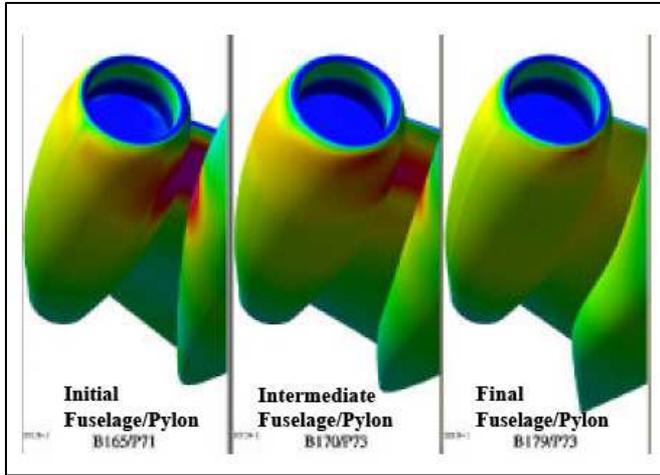
de paneles para bajos números de Mach, o para números de Mach supersónicos.

Alas flexibles, interferencia con plantas de potencia.

Como hemos comentado anteriormente, el análisis aerodinámico para valores de Mach cercanos a la unidad obliga a la utilización de códigos “Full-Potential” para el caso transónico o métodos de paneles convencionales para aplicaciones a bajos números de Mach. En el caso de alas flexibles se requiere además de métodos no estacionarios.



Para el caso de la implantación de motores, la utilización de métodos de paneles tradicionales queda aún más en entredicho, ya que en las zonas cercanas al difusor de entrada los efectos de la compresibilidad ya no son despreciables. Aunque se pueden emplear métodos de paneles para un primer posicionamiento del motor, los métodos “Full-Potential” linealizados son suficientemente rápidos como para su uso en esta labor, por lo que se emplean mayoritariamente

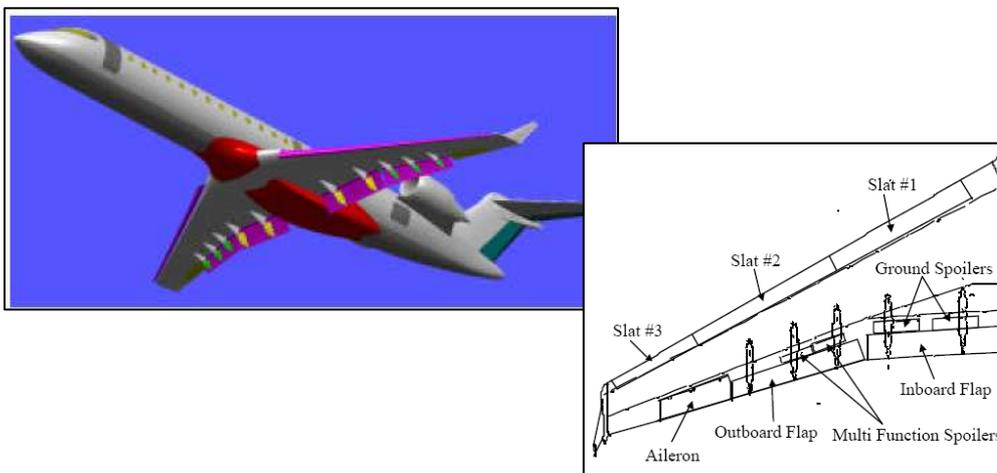


en la industria actual.

Llegados a este punto, cabe preguntarse si aún tiene sentido el desarrollo y la aplicación de métodos de paneles “tradicionales”. La respuesta es que sí y su mayor aplicación hoy en día la vemos a continuación.

Diseño de sistemas hipersustentadores

El desarrollo de una configuración hipersustentadora incluye diseño CFD y análisis, ensayos en túneles de viento y en vuelo.



La figura muestra la forma en planta de un sistema hipersustentador típico.

El desarrollo de los sistemas hipersustentadores se lleva a cabo mediante métodos CFD. El trabajo inicial se enfoca en el diseño de perfiles multielemento en varias estaciones del ala. Las variables de diseño incluyen las formas del slat y el flap y el hueco y deflexión óptimas.

Para ello, se emplea principalmente el código “CEBECI”, un método de paneles con un fuerte acoplamiento con la capa límite desarrollado por T. Cebeci y su equipo en la universidad de California en Long Beach. Su principal característica es la rapidez de aplicación, lo que permite la evaluación rápida de diseños alternativos. Se han llevado a cabo estudios para comparar los resultados de éste método con códigos Navier-Stokes y se han validado con resultados experimentales.

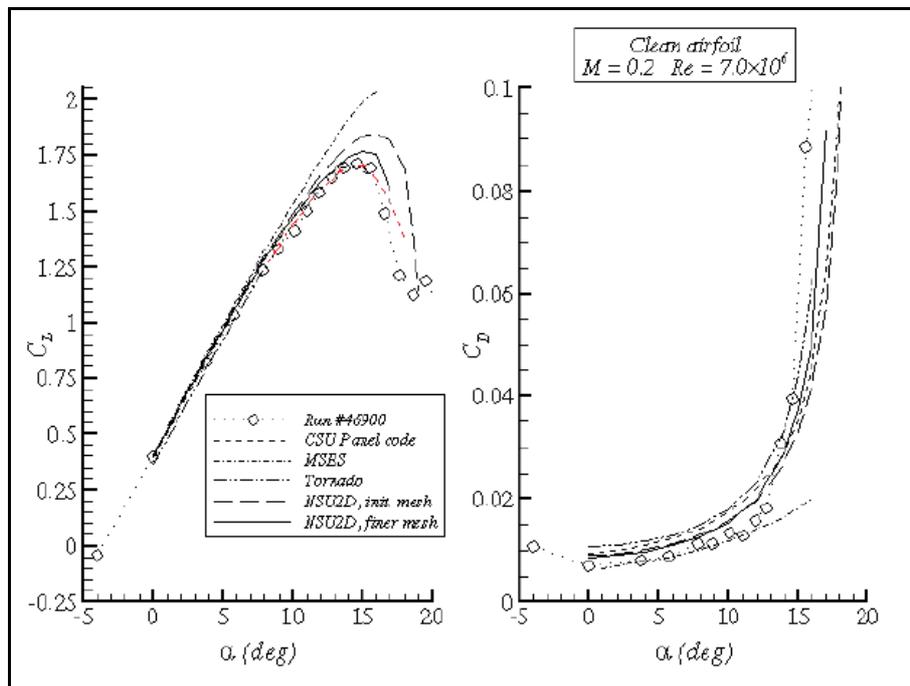
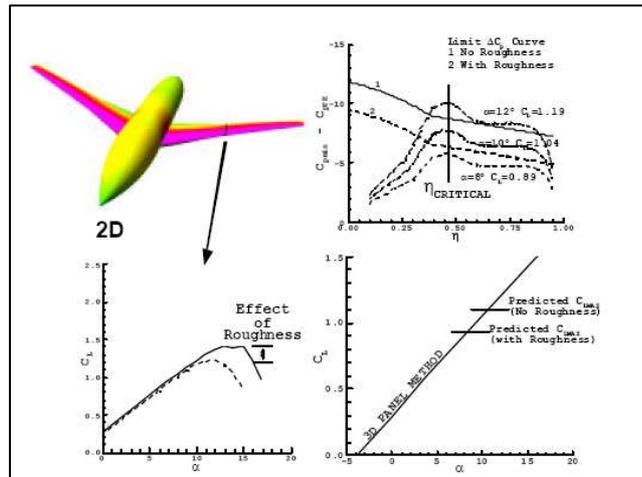


Ilustración 1: Comparación entre distintos métodos CFD (Método de paneles destacado en rojo) (véase [16])

Se puede observar como la precisión del método de paneles es muy alta y sigue casi perfectamente a los resultados experimentales a diferencia por ejemplo del código “Tornado” (Navier-Stokes).

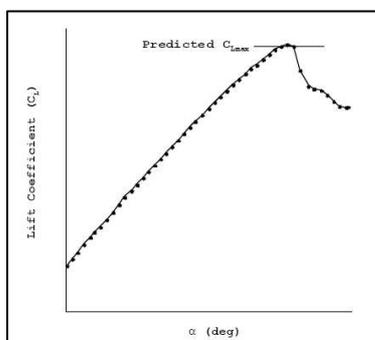
Los principales objetos de la aerodinámica de desarrollo de sistemas hipersustentadores son: la predicción del $C_{L,max}$ y las características de entrada en pérdida para configuraciones completas con alas en flecha; la predicción del efecto de la rugosidad en el $C_{L,max}$ de estas alas y la predicción de polares en configuraciones de despegue.

Para el caso de configuraciones completas, el método más empleado es el comentado anteriormente. Se usa un método de paneles para el cálculo de la distribución de presiones “exterior” a la capa límite y

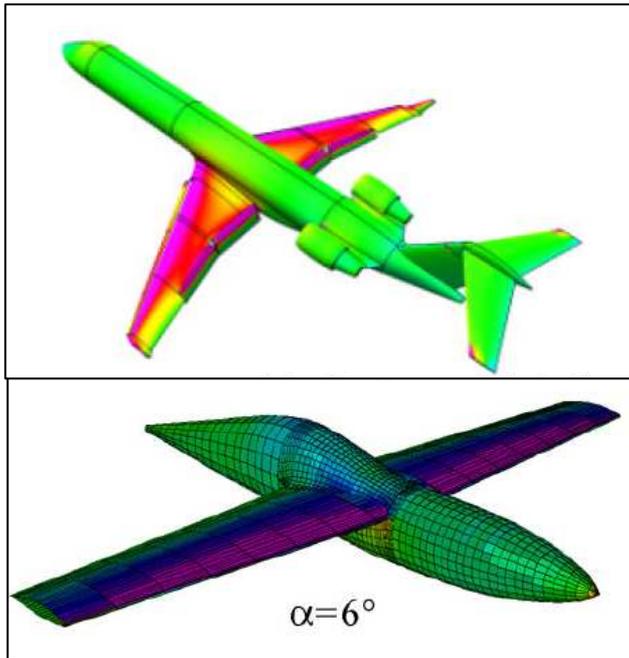


ésta se calcula con métodos semiempíricos que estiman el punto de transición laminar-turbulento, punto de desprendimiento de la corriente, efecto de la rugosidad, hielo, etc.

En la mayoría de las aplicaciones prácticas actuales el software comercial VSAERO [2] de analytical methods es el más usado (Honda Jet, Bombardier, etc). Aunque la aplicación más importante de los métodos de paneles sea



obtener el $C_{L,max}$, se deduce de sus buenos resultados y rendimiento computacional, que es el mejor método a la hora de obtener las curvas de sustentación para configuraciones que involucren configuraciones de despegue, aterrizaje y aproximación.



Por lo tanto el método de paneles tiene una gran aplicabilidad actualmente y aunque su función más competitiva recaiga en el diseño de superficies hipersustentadoras, sigue aplicándose extensivamente para aplicaciones como la aviación deportiva. No obstante, si salimos del ámbito aeronáutico, la aplicabilidad del método de paneles se multiplica, ya que su principal

debilidad, la compresibilidad del fluido, se reduce tanto en aplicaciones náuticas como propulsión marina.

