

Avances tecnológicos en las aeronaves de transporte

ANTONIO GONZALEZ-BETES
Coronel Ingeniero Aeronáutico

La aviación, nacida en el año 1903, ha contribuido más que ninguna otra actividad industrial, a cambiar la sociedad y hoy día el Transporte Aéreo (TA), el más moderno de todos los sistemas, es una actividad de la aviación civil y militar dedicada al transporte de pasajeros y materiales, sin limitaciones fronterizas, uniendo por el aire miles de puntos de la superficie terrestre. Al igual que los caminos terrestres y marítimos, los aéreos constituyen elementos del progreso de la humanidad.

Las comunicaciones aéreas generan un tráfico que puede ser doméstico o internacional. Este tráfico se realiza con aeronaves comerciales en vuelos regulares o a la demanda, o también por otras aeronaves entre las que se incluyen las privadas, milita-

res y de Estado. Si el tiempo es el factor determinante, no tiene competencia con otros modos de transporte, sobre todo a largas distancias y además es sin duda el más fiable.

Ha desarrollado tecnologías aplicables a otros sectores industriales, creando empresas y empleo directo e indirecto, como es el caso del sector automovilístico.

La demanda en el transporte aéreo ha crecido de una forma impresionante y las aeronaves comerciales de las compañías aéreas, en 1999 transportaron 1.770 millones de pasajeros anuales y movieron más de 30 millones de toneladas de mercancías.

En el cuadro 1 aparecen algunas cifras que caracterizan al sector aeronáutico en Europa y España.



Una misión normal puede consistir en el transporte de 50 Tm/día, de las cuales la USAF puede transportar unas 30 y CRAF el resto. En la imagen el robusto carguero de la USAF, el C-17.



La carga aérea crecerá un flota activa, aumentarán 225 que podrá transportar



El tráfico de pasajeros (RPK- Ingresos Pasajeros -km) crecerá un 5,2 por ciento anual. El número de aviones de reacción pasará de 10.000 en 1998 a 19.106 en el 2018, retirándose 4.436 aviones y entregándose 15.518 nuevos aviones, valorados en 1,29 trillones de dólares (Precios de 1999). En la imagen el megatransporte Airbus A380 que entrará en servicio el año 2006.

El cuadro 1 ha dado una visión de la industria del transporte aéreo y a continuación la vamos a completar con las necesidades futuras de aeronaves que puede justificar el desarrollo de nuevas aeronaves civiles y militares y la aplicación de nuevas tecnologías.

DEMANDA –ESTUDIOS DE MERCADO

En el desarrollo futuro de la flota mundial, de pasajeros y mercancías, los expertos están de acuerdo en que se cubrirá con una nueva genera-

ción de aeronaves, más grandes y económicas, diferentes de las actuales y diseñadas para ser compatibles con el tráfico aéreo, los aeropuertos y el medio ambiente .

Resumimos en el cuadro 2. Prognosis del mercado 2000-2020, los estudios realizados por compañías constructoras de aviones y motores, como Boeing, Airbus y Rolls Royce.

Conocemos ahora según los datos del Cuadro II que se van a necesitar 15.518 aeronaves nuevas durante el periodo 2000-2020, valoradas en 1,29 trillones de dólares y que la flota carguera, en nú-



5,9 por ciento anual (Tm-km), que en el 2020 alcanzará unas 180 mil toneladas . Añadiremos que los aviones cargueros, en términos de desde unos 1.510 aparatos en 1999 (45,5 Tm de carga media), a 3.450 en el año 2019 (53,3 Tm de carga media). En la imagen el Antonov-250 toneladas de carga.

SECTOR AERONÁUTICO EUROPEO Y ESPAÑOL

En Europa, la aviación emplea 2 millones de personas en fabricación, operaciones y aeropuertos, en 766 empresas. En 1999 las ventas alcanzaron 65.000 millones de euros. El sector del transporte aéreo, crea 1.000 puestos directos por cada billón de pasajeros/año, que a su vez inducen otros 4.000.

En España la industria aeroespacial ocupa 21.496 personas en puestos directos, de los cuales unos 12 mil se dedican a producción y unos 5 mil a ingeniería. Comprende 173 empresas y su facturación en el año 2000 fue de 2.661 millones de euros. En las cifras anteriores no se incluyen las actividades de transporte aéreo, compañías aéreas, aeroportuarias y de servicios.

Existen 73 compañías de servicios aéreos con 49.000 personas (1999). Por los aeropuertos españoles pasaron en el año 2000, 140 millones de pasajeros en 1,8 millones de operaciones de vuelo.

AENA -Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea- obtuvo unos ingresos de explotación de 240 mil millones de pta. (año 2000), con unos gastos de 206, con 9 mil empleados.

La carga aérea en el sector civil -una industria emergente- comprende todo el tráfico que no sean pasajeros, movió 684 mil toneladas, con 5 aeropuertos que concentran el 82 % de la carga y solo el aeropuerto de Barajas concentra el 49 %.

Las 109 compañías de carga obtuvieron una facturación de 55 mil millones de pta con 16 millones de envíos. Se estima un crecimiento anual de un 6% en España.

En definitiva el sector del transporte aéreo ocupa unos dos millones de personas en Europa, unas ventas de 65.000 millones de euros y unas 75 mil en España, con una facturación de 4.500.

En cuanto al sector de la carga militar es difícil de cuantificar y tiene crecimientos imprevistos, dependiendo de los teatros de operaciones que surgen (Vietnam, Guerra del Golfo y Afganistán). Para atender el despliegue de fuerzas y materiales de Estados Unidos a Afganistán -después del atentado del 11 septiembre- el Mando de Movilidad Aérea (Air Mobility Command) contrató con tres compañías aéreas privadas las necesidades de transporte (por un importe de 618 millones de dólares) y utilizó la Flota Aérea de Reserva Civil de USA (Civil Reserve Air Fleet-CRAFT) con capacidad de despliegue de 700 aviones cargueros procedentes de 36 compañías aéreas.

Una misión normal puede consistir en el transporte de 50 toneladas/día, de las cuales la USAF puede transportar unas 30 y CRAF el resto.

mero de flota activa, crecerá desde 1.510 a 3.450 en 2019. La flota carguera militar utilizará aeronaves civiles transformadas y nuevas específicas para el transporte de carga militar y otras tareas.

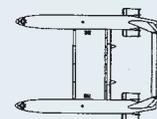
Creemos ahora después de las consideraciones realizadas estar en disposición de comentar cómo serán las aeronaves del mañana y qué previsible avances tecnológicos se aplicarán.

AVANCES TECNOLÓGICOS EN LAS AERONAVES DEL MAÑANA

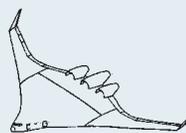
No cabe duda que ha sido un milagro hacer del transporte aéreo una industria eficiente y dinámica a pesar de los altos riesgos. El milagro se ha gestado durante los últimos 60 años y ha creado una nueva forma de diseñar aeronaves usando un campo multidisciplinario y de muy alta tecnología.



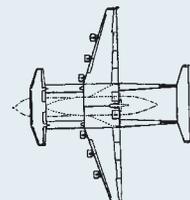
Doble fuselaje



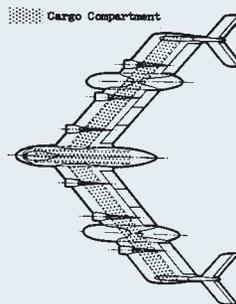
Ala inferior



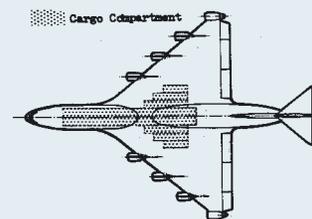
Ala-fuselaje fundido



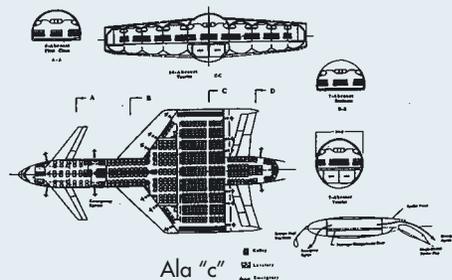
"Pod"



Ala volante



Ala delta



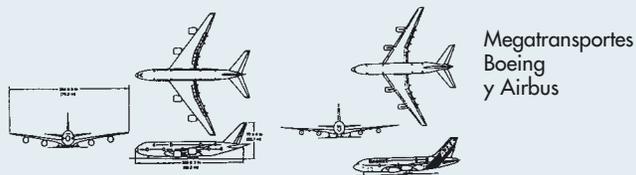
Ala "c"

Puede afirmarse que entre las disciplinas más importantes se encuentra la aerodinámica, unida a estructuras, materiales, aviónica y motores.

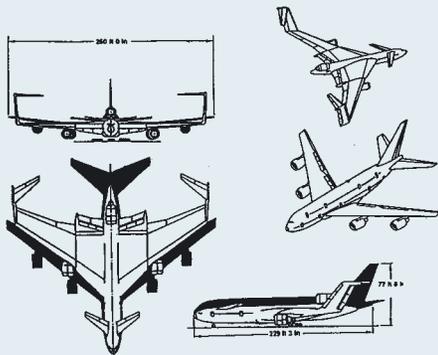
El éxito de una moderna generación de aviones de transporte en el mercado mundial depende de la demanda y después en mucha medida del diseño aerodinámico. Este último tiene una implicación directa en la carga a transportar (pasajeros y mercancías), alcance y consumo de energía, lo que a su vez repercute en los costes directos de operación y en el medio ambiente.

Con la aplicación de nuevas tecnologías se prevé una mejora de un 30% en los costes operativos para el 2020 en las aeronaves comerciales futuras. Esta reducción obedecerá a dos factores, el primero consecuencia de refinamientos aerodinámicos y el segundo por la aplicación de nuevas tecnologías en materiales y motores.

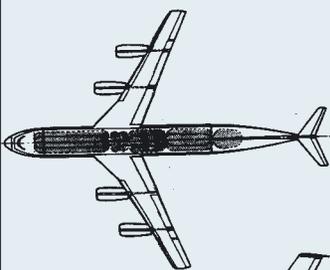
Por ejemplo, las áreas señaladas en el 747 indi-



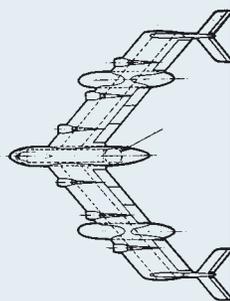
Megatransportes Boeing y Airbus



Comparación ala "C" con convencional



Aeronave con hidrógeno



Aeronave nuclear

Aeronaves futuras.

Un estudio comparó cada configuración:

Doble fuselaje, Ala interior, ala-fuselaje fundidos, alas volante, ala delta, ala en C, convencional, etc..... con el C-5B respecto

a las actuaciones y con el DC-10-30F en relación con el coste operativo. El Carguero Aéreo Mundial para el año 2020, conseguirá una reducción de un décimo en el coste por tonelada-milla, con autonomías de 6.510 a 15.810 kilómetros y cargas hasta 340 toneladas, y podrá utilizar pistas de 8000 pies.

con la comodidad que significa volar a 40.000 pies de altitud.

Este salto tecnológico es un premio al trabajo y dedicación de diseñadores, ingenieros, pilotos y al riesgo financiero e industrial que corrieron dos compañías, la American Airlines en 1936 y la United Airlines en 1990.

Los avances aerodinámicos conseguidos en las aeronaves de transporte ha sido una combinación del ala en flecha con los perfiles, laminares, los de carga retrasada y los supercríticos. Hoy merced a una adecuada distribución de presiones se han domesticado las ondas de choque, se han trasladado hacia el borde de salida del ala, lo que ha traído consigo disminuir la resistencia aerodinámica y mejorar la sustentación en vuelo de crucero.

Pero no acabó aquí la tarea pues un ala tiene que ser eficiente no solo en el vuelo de crucero, debe serlo también en el despegue y el aterrizaje, lo que ha dado lugar al desarrollo de dispositivos hiper-sustentadores, que permiten a las grandes aeronaves velocidades que hacen compatibles las aproximaciones y aterrizajes en las pistas actuales.

Aunque los aviones comerciales se han adaptado a los aeropuertos, el problema de los cargueros militares es diferente, pues deben ser capaces de usar pistas cortas en terrenos no preparados y requieren igualmente velocidades de aproximación que no superen las comerciales, del orden de los 130 nudos.

can los puntos donde se pueden instalar carenajes para aumentar la velocidad de crucero, pues aunque las aeronaves actuales son una maravilla de la ingeniería la aerodinámica tiene mucho que decir y está en pleno desarrollo y cada cierto tiempo aparecen avances tecnológicos consecuencia de las investigaciones permanentes.

En aerodinámica los avances han sido considerables y para entenderlos lo más eficaz es comparar el primer transporte comercial de éxito, el bimotor Douglas DC-3 que entró servicio en junio de 1936, con la última aeronave comercial, el B 777 que realizó el primer vuelo comercial en junio de 1995. Después de 60 años se ha conseguido el desarrollo, fabricación y puesta en servicio del bimotor más grande del mundo.

La brevedad de este artículo no permite más que manifestar que la velocidad de crucero pasó de 250 km/hora a 950 y de 21 pasajeros a 450

Cuadro 2

PROGNOSIS DEL MERCADO 2000-2020

Según los estudios mencionados el tráfico aéreo se triplicará en los próximos 20 años (2000-2020).

El tráfico de pasajeros (RPK- Ingresos Pasajeros -km) crecerá un 5,2 por ciento anual. El número de aviones de reacción pasará de 10.000 en 1998 a 19.106 en el 2018, retirándose 4.436 aviones y entregándose 15.518 nuevos aviones, valorados en 1,29 trillones de dólares (Precios de 1999).

La carga aérea crecerá un 5,9 por ciento anual (Tm-km) , que en el 2020 alcanzará unas 180 mil toneladas. Añadiremos que los aviones cargueros, en términos de flota activa, crecerán desde unos 1.510 aparatos en 1999 (45,5 Tm de carga media), a 3.450 en el año 2019 (53,3 Tm de carga media).

Los datos anteriores son aplicables en el campo militar ya que en el futuro una parte de los aviones cargueros militares procederán del campo civil, por contratación y adaptación de ellos a las necesidades militares y un porcentaje pequeño se cubrirá con aviones específicos, cargueros y otros, dedicados a tareas estratégicas (vigilancia, abastecimiento en vuelo ,...).



Las áreas señaladas en el avión 747, indican los refinamientos y los puntos donde se pueden instalar carenajes para aumentar la velocidad de crucero. Parte superior de la cabina, morro, unión estabilizador vertical-fuselaje, unión ala-fuselaje y alas-motores.

A este tenor hay que poner de manifiesto que dispositivos hipersustentadores mejorados se han puesto en servicio en los cargueros C-17, al domesticar el comportamiento de la capa límite por "soplado" en el borde de ataque del ala, con el flujo proveniente de los motores. Esta tecnología se está aplicando ya en otras aeronaves con el objetivo de conseguir aeronaves grandes con actuaciones STOL.

Los avances tecnológicos en experimentación, se centran en mejorar el comportamiento de los perfiles con control activo y pasivo de la capa límite, alas de curvatura variable con perfiles controlables y optimizables en vuelo y dispositivos de hipersustentación con soplado en los bordes de ataque y salida.

En definitiva, se pretende domesticar aún más la capa límite y controlar los regímenes laminar y turbulento. No olvidemos que las configuraciones geométricas de las aeronaves comerciales de transporte son muy complejas y tiene numerosos "añadidos" como: góndolas y pilones de motores, estabilizadores y timones horizontales y vertical, "flaps" y railes, "slats", antenas y sensores, entre otros. Dichas configuraciones producen flujos aerodinámicos muy complicados que pueden incluir: ondas de choque, interacciones diversas, expansiones y zonas turbulentas en los bordes de ataque del ala y zonas de transición y separación de las capas límites.

Para resolver todo el conjunto de problemas actuales y futuros se utilizan y desarrollan herramientas de cálculo muy perfeccionadas.

¿QUÉ HERRAMIENTAS DE CALCULO HAY QUE MEJORAR?

Las herramientas desarrolladas en el sector aeroespacial, para atacar estos problemas están comprendidas en la Dinámica Computacional de Fluidos (CFD) que ha significado una gran revolución en la forma de obtener los datos de los flujos aerodinámicos tanto externos como internos. Esta





disciplina combinada con el desarrollo de eficientes túneles digitales aerodinámicos –aplicación de la criogenia– y mejora de las pruebas en vuelo son factores que van a hacer del aeroplano una herramienta casi perfecta en el campo militar y civil.

Diremos que la CFD es una metodología que incluye el uso de ordenadores para resolver numéricamente las ecuaciones no lineales, como las de

Navier Stokes y sus derivadas, que establecen el movimiento del fluido aerodinámico. Esto no era posible hace dos décadas.

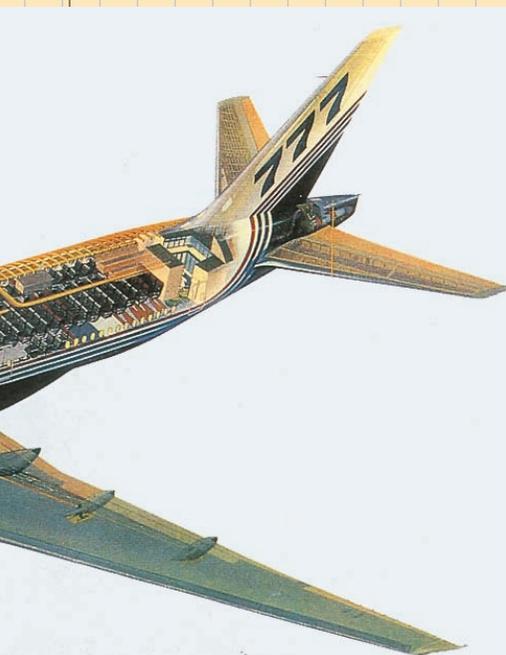
¿QUÉ NOS OFRECE EL FUTURO?

Vamos a mencionar en primer lugar los estudios para el desarrollo de aeronaves de transporte y los nuevos métodos de una revolución digital, en diseño, fabricación virtual y puesta a punto de una aeronave moderna.

Son interesantes en cuanto a diseño de aeronaves futuras los estudios realizados para el campo militar y civil. En uno de ellos se investigan los vehículos cargueros aéreos para el año 2020. Analiza el estudio dos conceptos, el de aeronaves cargueras adecuadas para 6 tipos de carga y el de aviones transformados de pasajeros a cargueros. Los resultados del estudio apuntan a que se puede triplicar la carga, aumentar el alcance por un factor de 2.5 respecto al C-5B y a un 75% de reducción del coste con respecto al DC-10-30F.

El estudio compara cada configuración: Doble fuselaje, Ala interior, ala-fuselaje fundidos, diversas alas volantes, ala delta, ala en C, convencional, ect..... con el C-5B respecto a las actuaciones y con el DC-10-30F en relación con el coste operativo.

El estudio concluye que el Carguero Aéreo Mundial será uno de los vehículos para el año 2020. Con él se conseguirá una reducción de un décimo



En aerodinámica los avances han sido considerables y para entenderlos lo más eficaz es comparar el primer transporte comercial de éxito, el bimotor Douglas DC-3 con la última aeronave comercial el 777. Después de 60 años se ha conseguido la puesta en servicio del bimotor más grande del mundo en junio de 1995.

en el coste por tonelada-milla. Será un vehículo intra e intercontinental con autonomías de 6.510 a 15.810 kilómetros, con cargas hasta 340 toneladas, que pueda utilizar pistas de 8000 pies.

La configuración más prometedora es la de doble fuselaje, pero otros estudios nos muestran una gran variedad de soluciones para aeronaves futuras. Entre ellas una aeronave militar para el 2020 con una capacidad de carga de 100 Tm, que pueda dar la vuelta al mundo con dos o tres reabastecimientos

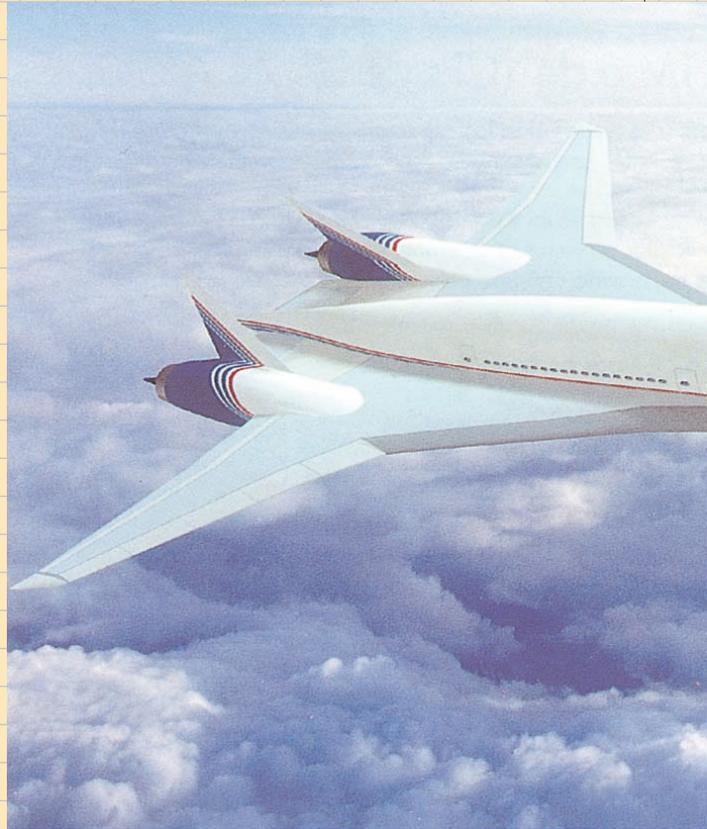
No hay duda que entre las soluciones propuestas está ganando terreno el ala volante, que es la configuración más simple y elegante para un diseñador que prefiere que cualquier cosa relacionada con la sustentación esté en el ala, como pasajeros, combustible y carga, sin olvidar los dispositivos de control de vuelo de la aeronave. Es posible con el ala volante obtener una menor resistencia aerodinámica y lo que es más importante, una reducción de peso. Ambas conducen, por supuesto, a un menor coste directo de operación.

Actualmente estamos asistiendo en el proyecto y desarrollo de aeronaves comerciales a un enfrentamiento Airbus /Boeing sobre como deben ser las aeronaves futuras. De una forma simple Airbus ha optado por aeronaves más grandes y Boeing por las más rápidas.

El Airbus A380 es representativo del megatransporte de pasajeros (A380) y carga (A380-800F). Aeronave de geometría convencional, cuatrimotor con capacidad de transportar 555 pasajeros en las dos cubiertas, a 15.177 km de distancia. Su peso máximo de despegue ronda las 560 Tm. Airbus prevé un mercado de 1250 aeronaves hasta el 2020. Los costes directos de operación serán inferiores al 17% respecto al 747-400, y su versión carguera A380-800F podrá transportar cargas en sus dos cubiertas de 5130 metros cúbicos y que una aeronave transportará la misma carga que dos MD-11.

La filosofía de Boeing, por el contrario, se centra en una aeronave más rápida del orden de Mach 0.95. Se puede disminuir el tiempo de vuelo y aumentar la utilización diaria de la aeronave. Hablamos del "Crucero Sónico" ahora en la etapa de diseño y que no parece pueda tener problemas aerodinámicos pues en principio han elegido un diseño de ala en triple delta, con perfiles supercríticos y espesores comparables a los que tiene el ala del 777. Las superficies de mando y control horizontales y verticales, bigotes en el morro y motores embebidos en el ala son otros aspectos de su configuración. El Crucero Sónico podrá transportar pasajeros y carga similares a los de un 767 pero a Mach 0.95.

Trataremos ahora la segunda parte, que se refiere a unos avances tecnológicos relacionados con la Ingeniería Concurrente.



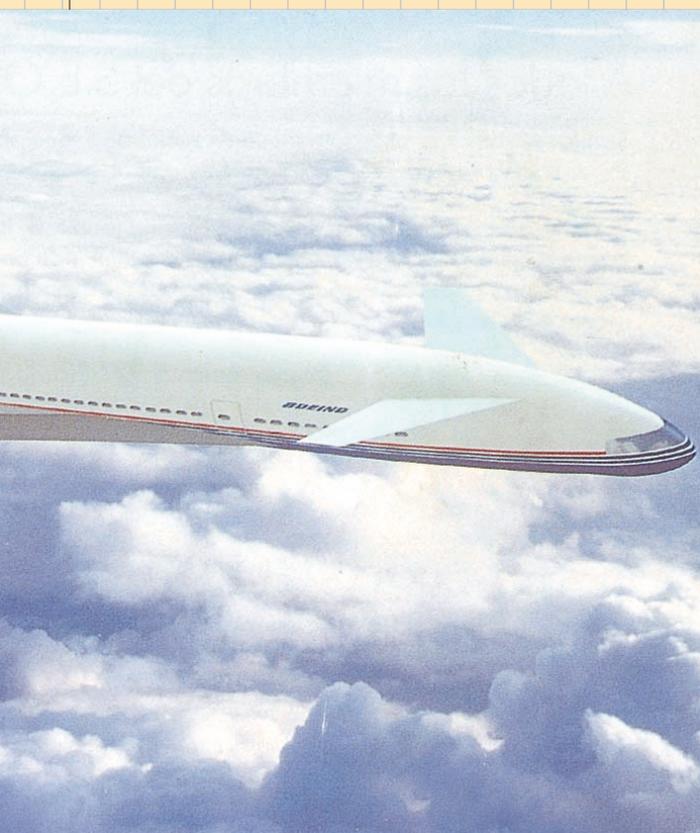
INGENIERIA CONCURRENTE

Consiste la ingeniería concurrente en una fundación organizativa para el desarrollo de un producto aeronáutico. Ha sido el principio de una revolución en la forma de diseñar, fabricar, probar y poner a punto un avión nuevo, que en definitiva se reduce a una simple filosofía: la de "Trabajar Juntos", todos los departamentos relacionados con las actividades mencionadas.

Lo verdaderamente importante del nuevo proceso, ya aplicado en varios proyectos de aviones, Falcon 50, Rafale y 777, y por tanto el gran avance tecnológico, es a nuestro entender, la *nueva organización y la mejorada gestión*, que hace posible que desde la etapa inicial se trabaje como un gran equipo. Dentro de ese equipo tiene gran importancia la creación de "*Grupos de Diseño y Construcción*" (*Design Built Teams- DBT*).

Estos grupos multidisciplinares, formados por representantes de ingeniería, fabricación, control de calidad, servicios del cliente, suministradores y operaciones, entre otros, conducen a un concurrente diseño y proceso de desarrollo.

La sinergia de un objetivo común es lo que hace funcionar a los DBT. El proceso de decisión es mucho más rápido, según han manifestado todos los ingenieros, que intervienen en los proyectos. Este proceso que tuvo su gran espaldarazo, en el desarrollo del 777 se está aplicando en los desarrollos del A380 y del 20 XX "Crucero Sónico".



La filosofía de Boeing, al contrario que la de Airbus con el mega transporte, se centra en una aeronave más rápida del orden de Mach 0.95. Se puede disminuir el tiempo de vuelo y aumentar la utilización diaria de la aeronave. El "Crucero Sónico" ahora en la etapa de diseño no parece pueda tener problemas aerodinámicos pues en principio han elegido un diseño de ala en triple delta, con perfiles supercríticos y espesores comparables a los que tiene el ala del 777. Las superficies de mando y control horizontales y verticales, bigotes en el morro y motores embebidos en el ala son otros aspectos de su configuración. El Crucero Sónico podrá transportar pasajeros y carga iguales a los de un 767 pero a Mach 0.95.

y los ordenadores de los componentes de los grupos de trabajo (DBT) están unidos a grandes ordenadores centrales con los 2500 puestos de todas las actividades del proyecto.

Este sistema informático pone en comunicación a todos los participantes del proyecto sin necesidad de desplazamientos a lugares a veces muy remotos. Todas las consultas tienen a su favor la inmediatez.

Así como el campo militar ha sido muy innovador para el campo civil, actualmente ha vuelto la vista hacia el diseño y desarrollo de aviones cargueros militares con la organización IC con el objetivo de conseguir aeronaves con costes fijados de antemano.

RECOMENDACIONES FINALES

Los avances tecnológicos deben proporcionar que los métodos CFD vayan suplantando a las pruebas en túnel que son costosas y no obtienen siempre los datos necesarios al diseñador.

Se abre una gran oportunidad para el desarrollo y aplicación de técnicas y métodos de cálculo y así lo han comprendido las naciones más avanzadas y la Comunidad Europea, con los programas de investigación de la NASA en Estados Unidos y en Europa con el proyecto AVTAC (Advanced Viscous Flow Simulación Tools for Complete Transport Aircraft Design) lanzado en 1997 a los que se unen el EUROLIFT (diseño de dispositivos hipersustentadores) y HiReTT (Herramientas de alto Número de Reynolds para el diseño de aeronaves de transporte).

Los futuros desarrollos para obviar las limitaciones en el diseño aerodinámico apuntan a varias direcciones, de las que citamos:

- Aumentar la capacidad de los ordenadores; actualmente nos aproximamos con los procesadores en paralelo a los 2.000 millones de operaciones de punto flotante por segundo.

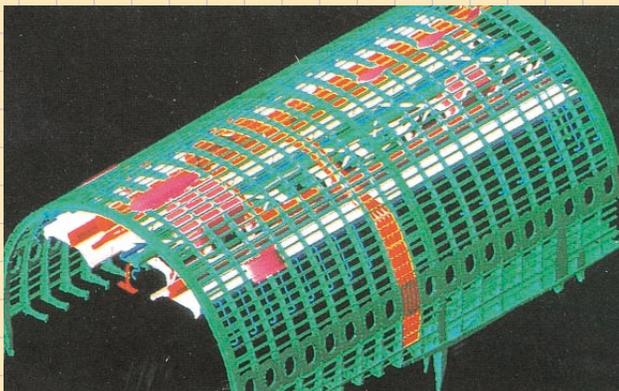
- Integración más profunda de las simulaciones con CFD y la visualización de los parámetros – exigencias de la ingeniería concurrente.

- Trabajo en grupos, utilizando programas de uso común y por último:

- Cooperación internacional. ■

Los resultados más importantes de la ingeniería concurrente es que reduce los costes de fabricación, cambios y el del producto final. El coste de los cambios fue especialmente alto en los anteriores programas y se ha reducido ahora con la IC en un 60 por ciento.

El sistema CATIA CAD/CAM junto con programas desarrollados por los fabricantes de aeronaves han creado un mundo digital donde no existen maquetas físicas del avión. Todo es prácticamente virtual



El sistema CATIA CAD/CAM junto con programas desarrollados por los fabricantes de aeronaves ha creado un mundo digital donde no existen maquetas del avión. Los ordenadores de los componentes de los grupos de trabajo están unidos por grandes ordenadores centrales con los 2500 puestos (DBT) –ver diagrama- y controlan todas las actividades del proyecto. Todos los problemas y consultas tienen a su favor la inmediatez.