

Innovaciones y logros de la *Tecnología Aeroespacial* en 1993

MARTIN CUESTA ALVAREZ
Ingeniero Aeronáutico

INTRODUCCION

TRAS un año de seguimiento de los programas de Investigación y Desarrollo en el sector aeroespacial a nivel mundial, hemos seleccionado para este resumen cinco programas que por los resultados alcanzados hasta ahora, estimamos como los más destacados con un previsible futuro a corto plazo.

Los cinco programas son éstos:

- Nuevas toberas orientables para aviones de combate.
- Proyectos de aviones militares de combate de características STOL.
- Pruebas en tierra del motor ADP de Pratt Whitney para grandes aerotransportes comerciales y militares.
- Se completa la constelación de 24 satélites del GPS para seguimiento de la Navegación Aérea, y se impulsa el desarrollo del DGPS.
- Se inaugura el túnel aerodinámico transónico más importante del mundo, el ETW de funcionamiento criogénico.

NUEVAS TOBERAS ORIENTABLES PARA AVIONES DE COMBATE. EL PROGRAMA PACIR Y SUS PREDECESORES

El año 1993 ha sido un periodo clave para la preparación del programa PACIR (Propulsion Aerodynamics Control Integrated Research), al que concurrirán a finales de 1995 dos fabricantes de avión; General Dynamics y McDonnell Douglas, cada uno de ellos con un fabricante de motores, que serán, respectivamente, General Electric y Pratt Whitney (fig. 1).

Los objetivos principales del Programa PACIR son:

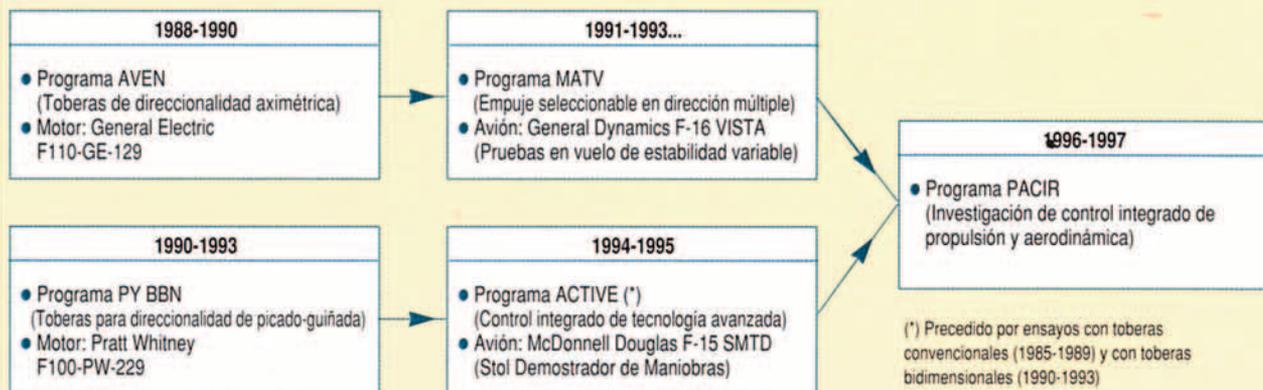
- Demostrar la maniobrabilidad de los aviones provistos de toberas orientables.
- Comprobar el aumento del ángulo de ataque que puede conseguirse con las nuevas toberas.
- Demostrar la efectividad de la segunda generación de sistemas de control de los mandos de vuelo por computadores; sistemas "fly by wire", en aviones con toberas orientables.
- Comprobar la disminución de las carreras de despegue y aterrizaje con las nuevas toberas.

De los resultados de este programa se espera alcanzar conclusiones que permitan aplicar a los nuevos avio-

El T-45 "Goshawk" de la US Navy, avión de entrenamiento, primero en el que se ha instalado un sistema denominado GINA (GPS Inertial Navigation Assembly), que combina la tecnología del GPS con la de la Navegación inercial. Las pruebas sobre avión comenzaron en octubre de 1993.



Figura 1
PROGRAMAS USA PARA EVALUACION DE TOBERAS ORIENTABLES
1993: un año clave



nes, sistemas de control de vuelo solo por motor, eliminándose las actuaciones de timones de dirección y altura, flaps, slats,... que serían redundantes con el motor.

El primer avión de producción que hizo uso del empuje orientable fue el AV-8A "Harrier" en la década de los años 1960's.

En los años 70's comenzaron a desarrollarse las toberas bidimensionales (2D) con las que se consiguieron probar las actuaciones de picado y subida. Ahora desde comienzos de los 90's se están haciendo pruebas funcionales estáticas en banco de pruebas con toberas tridimensionales (3D), cuyo estudio se está completando en los siguientes programas:

- AVEN (Axisymmetric Vectoring Engine Nozzle), por General Electric y MATV (Multi Axis Thrust Vectoring) por General Dynamics. Las pruebas en vuelo se están haciendo con toberas y motores GE sobre un F-16 acondicionado denominado VISTA (Variable Inflight Stability Test Aircraft).

- PY BBN (Pitch Yaw Balanced Nozzle), por Pratt Whitney y ACTIVE (Advanced Control Technology Integrated Vehicles), con toberas y motores PW sobre un F-15B muy modificado, denominado F-15 SMTD (Stol Maneuver Technology Demonstrator).

LOS PROGRAMAS AVEN Y MATV

General Electric dentro del Programa AVEN, completaba en octubre de 1990 las pruebas en tierra con los

prototipos de las toberas orientables en todas las direcciones, que permiten variar la dirección de la corriente de gases de escape 17° en regímenes de crucero a un régimen de variación de $45^\circ/\text{seg.}$ y 15° cuando se actúa la postcombustión, con el mismo régimen de variación. A finales de 1991 comenzaron las pruebas en vuelo de las toberas de GE sobre motores F 110-GE-129 de 29.000 lib. de empuje (Ref. 1), incluidas en el Programa MATV que se iniciaron sobre un F-16 de las F.A. de Israel, pruebas que después continuarían sobre un F-16 de la USAF a partir de septiembre de 1992 con el avión F-16 VISTA, en la Base de Edwards en California, en donde se hicieron también las pruebas del Programa AVEN.

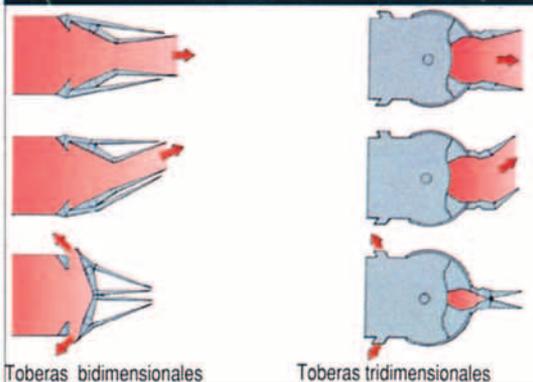


Figura 2. El F-15 SMTD de McDonnell Douglas, avión demostrador de maniobrabilidad de características STOL en el que Pratt Whitney ha hecho durante los últimos 5 años las pruebas con sus toberas bidimensionales y lo hará con tridimensionales a partir de septiembre de 1994.

LOS PROGRAMAS PY BBN Y ACTIVE

Antes de comenzar la fase de desarrollo de estos programas, Pratt Whitney y McDonnell Douglas habían efectuado pruebas en vuelo con toberas convencionales entre 1985 y 1989 para probar la maniobrabilidad del avión F-15 SMTD (fig. 2), dotado con un sistema avanzado "fly by wire" de cuatro canales controlados por computadores digitales. Aquellos vuelos se hicieron con motores F 100-PW-220 de 24.000 lib. de empuje máximo (Ref. 1).

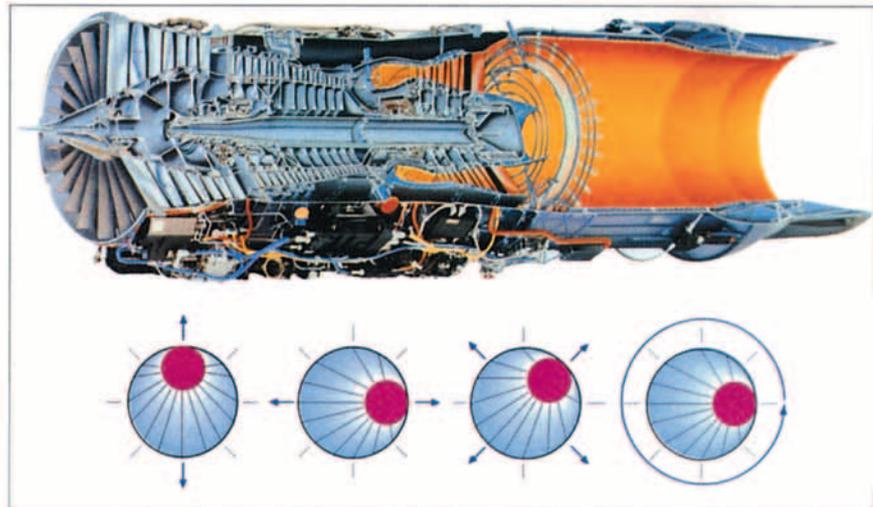


Figura 3. Motor F 100-PW-229 con el que Pratt Whitney está haciendo las pruebas en tierra de sus toberas tridimensionales que serán probadas en vuelo en el Programa ACTIVE candidato para el Programa PACIR. En la parte inferior se muestra la variación de configuración de la tobera que cambia la dirección de la corriente de gases de escape y por lo tanto del empuje del motor, en sentido axial.

A partir de 1990 las pruebas se vienen haciendo con toberas bidimensionales de accionamiento arriba/abajo de $\pm 20^\circ$ sobre el motor F119-PW-100 de 35.000 lib. de empuje, que fue el motor seleccionado para el ATF.

Pratt Whitney dio por finalizadas las pruebas con este motor para el ensayo de toberas 2D el 12 de agosto de 1991.

Con toberas 2D y sistema de reversa se ha conseguido reducir la carrera de despegue en un 38% respecto de los F-15A y la de aterrizaje en un 63% y puede activarse la reversa en vuelo a números de Mach tan altos como entre 1'2 y 1'6, obteniendo una deceleración del 35% mayor que con los aviones F-15B de producción. El empuje reversible combinado con el sistema antiskid permite carreras de aterrizaje un 75% más cortas que con el F-15 standard.

A altos ángulos de ataque ($\approx 30^\circ$), cuando los mandos de vuelo comienzan a ser menos efectivos, las toberas orientables 2D mejoran la controlabilidad del avión en un 110%.

El F-15 SMTD fué concebido para demostrar tecnologías que permitan aterrizar en pistas de 50 pies de an-

cho por 1.500 pies de largo, con techo de nubes de 200 pies y media milla de visibilidad, con viento cruzado de 30 nudos, portando las cargas de armamento standard de los aviones F-15.

Las primeras pruebas de capacidad de aterrizaje autónomo se hicieron con el F-15 SMTD en diciembre de 1989 con un sistema de navegación inercial y radar Hughes AW-APG-70 que identificó el campo de vuelos de la Base de Edwards a 70 MN; el radar generó la imagen del mapa y a 200 pies del suelo fue activado el sistema LANTRIN (Low Altitude Navigation and Targeting System for Night), para

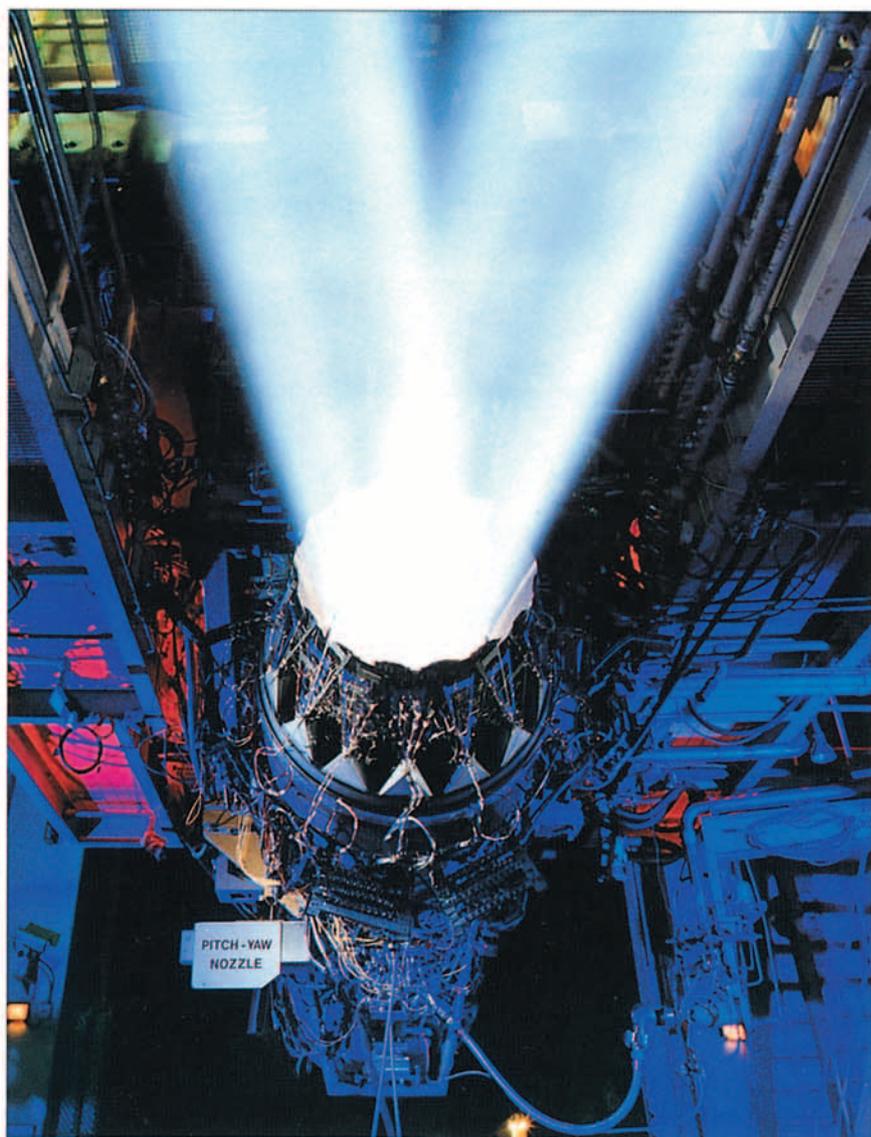


Figura 4. Fotografía captada por doble exposición de la corriente de gases de escape a través de la tobera tridimensional que Pratt Whitney ha continuado ensayando en tierra en el banco de pruebas de Palm Beach, Florida Foto PW por Greg Roberts.

referencia visual y así continuó hasta tomar tierra. En estas pruebas se hizo uso por primera vez de la reversa de empuje de 45° hacia adelante con toberas bidimensionales.

El F-15 SMTD ha sido el primer avión con las alas fabricadas totalmente de Aluminio-Litio con planos "canard" móviles en vuelo.

ras bidimensionales; esto justifica las actuaciones que se esperan con las toberas tridimensionales.

En febrero de 1992 comenzaron las pruebas de las toberas orientables tridimensionales del Programa PY BBN de Pratt Whitney. Las pruebas se están haciendo en las instalaciones de PW en Palm Beach, Florida, con

tras la decisión de cual de los dos es el elegido, los vuelos por la USAF del PACIR podrían iniciarse en 1995/1997, dependiendo de los presupuestos y durarán entre 12 y 18 meses.

AVIONES DE COMBATE DE NUEVO DISEÑO

La Agencia Gubernamental de Estados Unidos, ARPA (Advanced Research Projects Agency's), seleccionaba en marzo de 1993 a Lockheed (LADC) y a McDonnell Douglas (MDD), como principales contratistas para el concurso del avión demostrador ASTOVL (Advanced Short Take Off and Landing), cuyo objetivo es demostrar la factibilidad para desarrollar un avión pequeño de combate, monomotor y supersónico.

El avión que se derive de esta investigación podría reemplazar a tres aviones tácticos USA: los F-18 de la US Navy, los AV-8B "Harrier" de la US Marine Corps, y posiblemente al carismático F-16 de la US Air Force.

El Programa completo en cuanto a planificación de actividades y programación de fechas para su desarrollo se ha estructurado así:

Fase I.

- Fijación de las especificaciones tras los ensayos con maqueta a escala 1/10 en el túnel aerodinámico de la NASA-Lewis (año 1993).

- Fabricación por ARPA de dos estructuras de avión para pruebas estáticas (año 1993).

- Selección de las propuestas tecnológicas elegidas en marzo de 1993, Lockheed (LADC) y McDonnell Douglas (MDD).

Fase II.

- Desarrollo por LADC y MDD de los sistemas propuestos, que fabricarán sendas maquetas a tamaño natural de un avión con el sistema propuesto para ser probadas en el túnel aerodinámico de la NASA - Ames en 1995.

- Solución al concurso: abril de 1996

Fase III.

- Comienzo de las pruebas en vuelo con el avión y sistema propulsivo seleccionado (año 2000).

Fase IV.

- Fase potencial de Producción.

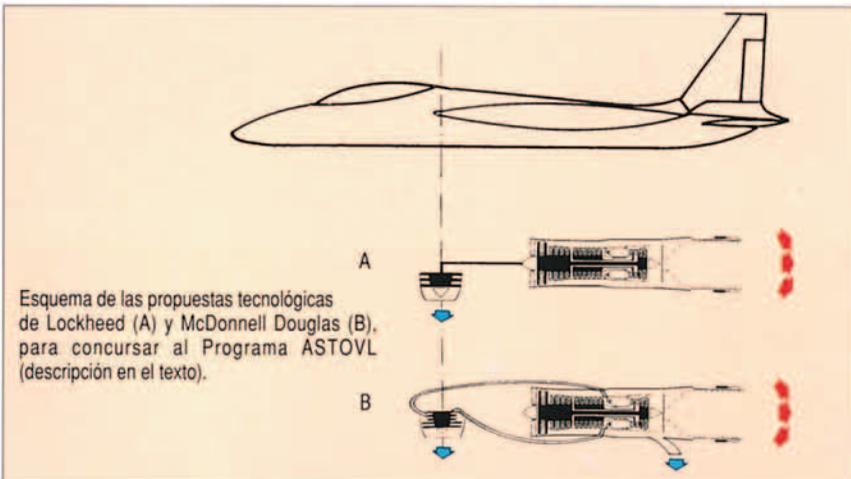


Figura 5.

Figura 6. Motor ADP (Advanced Ducted Prop), en el banco de pruebas de Pratt Whitney en Palm Beach, Florida. Desde mediados de 1993 las pruebas se están haciendo en el túnel aerodinámico de baja velocidad de la NASA-Ames en Moffet, California.



En noviembre de 1990 el F-15 SMTD hizo una serie de vuelos, no previstos inicialmente, para medir la imagen infrarroja con toberas bidimensionales; los resultados fueron calificados como secretos.

El F-15 SMTD ha estado aparcado 22 meses, de agosto de 1991 a junio de 1993 y a poco de reanudar sus vuelos realizaba en agosto de 1993 un aterrizaje de noche, sin luces de balizaje, solo controlado por las tobe-

ras bidimensionales; esto justifica las actuaciones que se esperan con las toberas tridimensionales.

Con las toberas 3D ahora en pruebas en tierra por PW se iniciará el Programa ACTIVE mediado el mes de septiembre de 1994 y se harán las pruebas en vuelo en la Base de la NASA-Drisden.

Al programa PACIR concurrirán los programas MATV y ACTIVE y

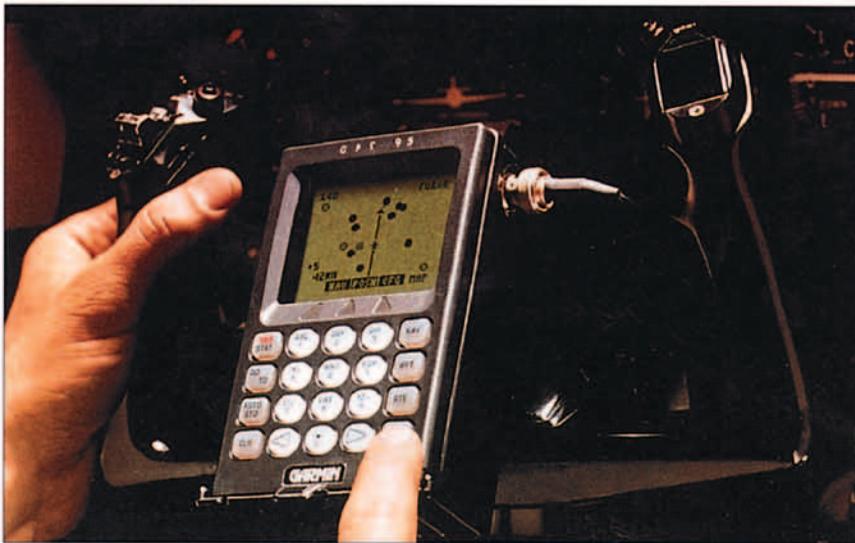


Figura 7. Más de 160 fabricantes de todo el mundo se han lanzado a la fabricación de receptores del GPS, no solo para utilización por la aviación sino por todos los modos de transporte. En la fotografía sobre el volante de un avión el receptor-indicador portátil GPS 95 que Garmin International lanzó al mercado en Le Bourget en junio de 1993. Foto Garmin International.

Las pruebas en el tunel aerodinámico de la NASA-Lewis se han hecho entre los meses de julio y octubre de 1993, y en ellas se han obtenido una amplia colección de datos sobre temperaturas, presiones y parámetros acústicos, que serán entregados a LADC y MDD para ser tenidos en cuenta en la Fase II. En el túnel de la NASA-Lewis se puede operar hasta temperaturas de 1000°F (537°C), y los ensayos con la maqueta modelo se han hecho variando el ángulo de ataque $\pm 30^\circ$, el de guiñada $\pm 15^\circ$ y el de alabeo también $\pm 15^\circ$. Los ensayos se han hecho a una altura de la maqueta de 60 cm. sobre el suelo con lo que se han simulado el efecto suelo.

Por primera vez se ha utilizado una nueva instrumentación basada en las técnicas de visualización de Rayleigh que permiten registrar un campo tridimensional de temperaturas y obtener en función de ellas las tres componentes de la velocidad alrededor de la maqueta modelo.

Un vídeo de alta capacidad de captación de imágenes registra éstas a un régimen de 1000 imágenes/segundo.

En la fig. 5 mostramos de forma esquemática las soluciones tecnológicas presentadas por Lockheed y McDonnell Douglas que les ha valido para ser seleccionadas para concurrir al Programa ASTOVL.

Ambas propuestas serán aplicadas

a un avión monoplaza monomotor con ala en delta, con o sin planos "canard" y empenaje bideriva.

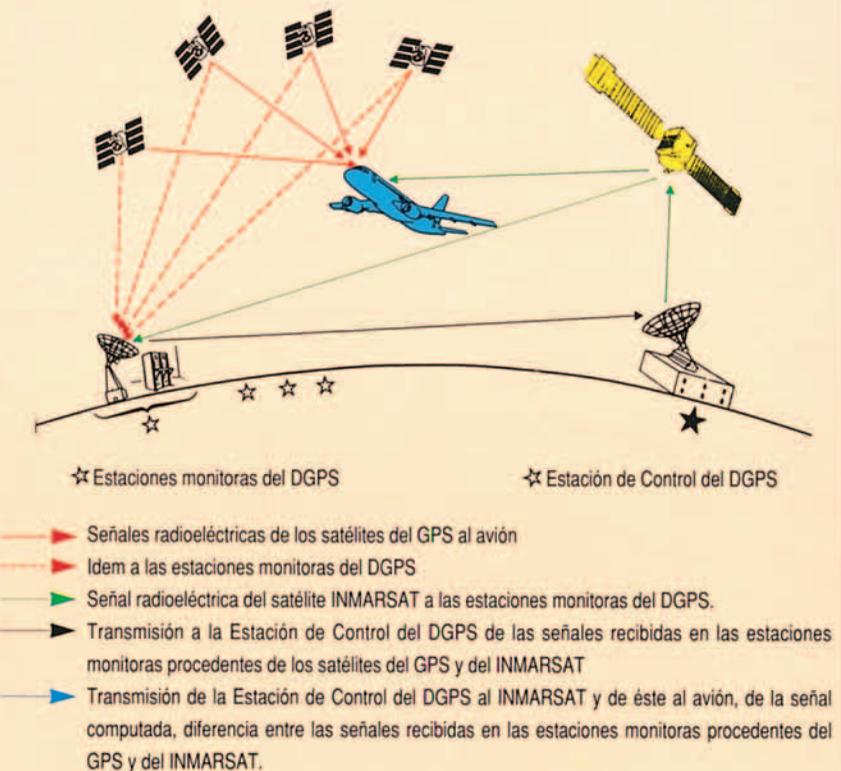
Lockheed propone un pequeño "fan" arrastrado mecánicamente por el arbol del "fan" del motor principal, lo que proporciona una sustentación adicional cuyo centro de presión está inmediatamente detrás del "cockpit", además de una tobera orientable del tipo de las ensayadas y probar su efectividad en vuelo en el F-15 SMTV a que hemos hecho referencia.

El sistema completo se montará en el prototipo YF-22 que ganó el concurso para el ATF, y el motor será un F119-PW-100, igual al de aquel prototipo. McDonnell Douglas propone un sistema soplante adicional ubicado como el de LADC, que tiene la diferencia fundamental de proporcionar

Figura 8
ESQUEMA DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA GPS DIFERENCIAL (DGPS) CUYO DESARROLLO HA RECIBIDO UN FUERTE IMPULSO EN 1993

4 satélites de la constelación de 24 del GPS (los de señales óptimas entre los captados).

Un satélite INMARSAT en órbita geoestacionaria, el más próximo de la constelación de estos satélites a la región de operación del Avión



aire a alta presión que mueve una turbina que arrastra el "fan" adicional; el motor de los ensayos será un F 100-GE-120 de 28.000 lib. de empuje máximo. También se completa el sistema con una tobera ventral antes de la salida de gases del motor, tobera que se cierra en las fases de vuelo de crucero.

MDD hará las pruebas del sistema en un F-15 al que acoplará elementos recuperados del YF-23 con el que compitió frente a LADC y Boeing para el programa del ATF.

EL ADP (ADVANCED DUCTED PROP) DE PRATT WHITNEY

De los motores con la denominación genérica de UHB (Ultra High Bypass), que estuvieron en fase de desarrollo de sus prototipos a finales de la década de los 80's, solamente el ADP ha seguido adelante en firme y de forma destacada.

En efecto han quedado atrás, por ahora, el CRISP (Counter Rotating Integral Shrouded Propfan) de MTU de Alemania (Refs. 2 y 3); el CPR (Counter Propfan Rotating) de PW-Allison-Hamilton Standard (Ref. 4), por problemas de fatiga sónica inducida en la estructura del MD-80 en que fue ensayado, y los UDF (Un Ducted Propfan) de General Electric (Ref. 5) que fueron probados en vuelo sobre un B 727.

En noviembre de 1992 Pratt Whitney completaba las pruebas en tierra efectuadas en sus instalaciones de West Palm Beach del motor demos-

trador ADP (fig. 6) basado en el núcleo de los motores PW 2000 con el que ha alcanzado hasta ahora un empuje máximo de 53.000 lib.

El "fan" del ADP tiene 3 m. de diámetro, es movido por un sistema de engranajes de relación de velocidad 4/1 fabricado por Fiat Avio, y tiene un índice de derivación de 15/1, notablemente más alto que el de los turbofans convencionales más modernos que están próximos a 6/1.

MTU ha hecho el compresor de baja presión, y Hamilton Standar las palas del "fan".

El ADP es un descendiente directo del Superfan cuyo concepto fue iniciado en 1986 por el consorcio IAE (International Aero Engines).

La tecnología del ADP ofrece las ventajas de bajo consumo específico y muy reducidos los niveles de ruido y contaminación. Se espera alcanzar hasta 100.000 lib. de empuje con motores derivados del ADP.

Fabricantes de avión y Líneas Aéreas manifestaron un interés especial por el ADP en una Reunión celebrada en septiembre de 1992 en Palm Beach.

Actualmente el ADP está en fase de demostraciones operativas que se han iniciado mediado 1993 en el Centro de Investigación de la NASA-Ames en Moffet cerca de San José en California; se están simulando aterrizajes en un túnel de baja velocidad con actuación del paso reversible y medición de los niveles de ruido y contaminación. En el ADP se elimina la reversa convencional del turboreactor.

En el motor demostrador se utiliza un 15% de su peso en materiales compuestos y se espera alcanzar el 40%.

Dado que el ADP puede ser aplicado a muchos tipos de aviones, se ofertará con índices de derivación de 11/1 a 16/1 para que sea compatible con la distancia del ala al suelo.

Los vuelos de prueba comenzarán en 1996/1997 y Pratt Whitney manifiesta que será un firme candidato para propulsar aviones B747.

LA NAVEGACION AEREA VIA SATELITE: GPS Y DGPS

Sin lugar a dudas, el haberse completado la constelación de 24 satélites del sistema de navegación aérea GPS (Global Positioning System), es el hecho tecnológico más destacado del año 1993, no solo por la universalidad de su aplicación sino porque es el sistema de navegación más completo aplicable al control de todas las fases del vuelo.

El día 26 de junio de 1993 era lanzado al espacio el satélite que completaba la constelación del GPS, concretamente este satélite hacía el nº 12 del bloque IIA, que junto con los 9 del bloque II y los 3 del bloque I, formaron a partir de aquel día la constelación de los 24 satélites necesarios para la operatividad completa del sistema. Después de aquella fecha han sido lanzados otros dos satélites del bloque IIA, uno el 30 de agosto y otro el 28 de octubre, que han reemplazado a los dos más antiguos del

Figura 9
PLANIFICACION DE LA FAA PARA IMPLANTACION DE LA OPERACION CON GPS Y DGPS

AÑO DE IMPLANTACION PARA OPERACION		1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
FASE DE VUELO	EN RUTA OCEANICA	✱			▲											
	EN RUTA DOMESTICA	✱			▲		—				☆					
	EN AREA TERMINAL		✱		▲						☆					
APROXIMACION	SIN PRECISION		✱		▲						☆					
	CATEGORIA I					*										☆
	CATEGORIA II y III						◆									

CATEGORIA	ALTURA DE DECISION	ALCANCE VISUAL
I	200 pies	2600 pies
II	100 pies	1200 pies
IIIa	0 pies	700 pies
IIIb	0 pies	150 pies
IIIc	0 pies	0 pies

- ✱ Experimental
- ▲ Ayuda a la Navegación
- * DGPS con precisión máxima
- ◆ Estudio de factibilidad
- ☆ DGPS (sistema autónomo)



Figura 10. Maqueta-modelo en la cámara de ensayos del túnel aerodinámico criogénico ETW (European Transonic Windtunnel), inaugurado el 8 de junio de 1993, ubicado en Portz en las inmediaciones del aeropuerto de Colonia-Bonn. La sección transversal de la cámara de ensayos tiene unas dimensiones de 2'4 m x 2'0 m. y una longitud de 9 m.; pueden hacerse pruebas a temperaturas entre 40°C y -183°C a números de Mach de 0'5 a 1'3. Foto ETW: Atelier Schaler (Peter/Steinhausen/Pick).

bloque I que estaban en órbita desde junio y septiembre de 1984, respectivamente.

Debería quedar pues, un solo satélite del bloque I, si bien a buen seguro que cuando salgan estas líneas habrá sido sustituido ya por otro del bloque IIA que estaba previsto lanzar antes de finalizar 1993.

Los satélites del bloque I emiten solamente con 400 W de potencia y tienen una autonomía de 18 días sin necesidad de recibir señales correctoras del Segmento Tierra; los satélites de los bloques II y IIA emiten con 700 W y tienen una autonomía de 45 días.

A partir de ahora cuando sean situados en órbita satélites que reemplacen a los operativos en la actualidad, serán del tipo Bloque IIR que tendrán una autonomía de 180 días sin recibir señales correctoras desde el Segmento Tierra. Los satélites ac-

tualmente en órbita son portadores de propulsante para correcciones orbitales durante 10 años, aun cuando la vida activa prevista sea entre siete y ocho años.

La complejidad del GPS (Ref. 6) no ha supuesto restricción de innovaciones a incorporar, de las que puede decirse son la aplicación más directa habida en todos los tiempos, de la investigación aeroespacial a la tecnología.

A modo de ejemplo entre la ligazón de la investigación y la tecnología aplicada al GPS, digamos que cuando a comienzos de la década de los 80 un grupo de científicos manifestó que no se estaban teniendo en cuenta las correcciones de la frecuencia de los relojes atómicos de los satélites del Bloque I, entonces en fase experimental, por no considerarse los efectos relativísticos, se levantó una fuerte polémica, y a partir de 1985/86

comenzaron a lanzarse con una frecuencia de funcionamiento de 10.222.999'9545 Hz en vez de 10'23 MHz que era la nominal sin efectos relativísticos.

Esta corrección de la frecuencia supuso eliminar el adelanto de los relojes al alcanzar su órbita por el efecto combinado de la Relatividad Especial de Einstein y la acción de la gravedad, esto es por la teoría de la Relatividad General de Einstein. Lanzar los satélites con aquella menor frecuencia eliminó el adelanto de los relojes en 38'44 microsegundos por día, que hubiera dado lugar a errores mayores de 11 km. en la determinación de las distancias satélites-avión, que son la base de cálculo de la longitud y latitud geográficas, altitud de vuelo y tiempo horario, para lo cual se exigen las señales radioeléctricas de cuatro satélites "visibles" en línea con el avión.

Como dijéramos en nuestra reseña sobre el Espacio en Le Bourget'93 (Ref. 7), este año ha sido el "boom" comercial de receptores del GPS (fig. 7), beneficiada por el anuncio de que la FAA había aprobado el pasado mes de junio la utilización del GPS como medio secundario de aproximación instrumental apoyada por VOR y DME. La US Air Force había pedido en abril de 1993, casi 14.000 receptores portátiles.

El GPS, con ser muy preciso, requiere eliminación de errores inherentes al Segmento Espacio (los satélites) principalmente inducidos por la ionosfera; al Segmento Tierra (el Centro de Control en Colorado Springs y las Estaciones monitoras en Colorado Springs y las islas Hawai, Ascensión, Diego García y Kwjalein) y al usuario (el avión en nuestro caso), por lo que han comenzado a desarrollarse sistemas complementarios al básico GPS, entre los que destaca el denominado genéricamente GPS Diferencial (DGPS) basado en las técnicas de medición del error de las señales radioeléctricas recibidas por estaciones fijas y por lo tanto de coordenadas geográficas determinadas y tiempo real conocido. Aún cuando hay ya en el mundo varios centenares de estaciones monitoras (independientes de las estaciones de seguimiento del GPS citadas) a buen seguro que el sistema Diferencial de mayor porvenir, al menos para la Navegación Aérea será el DGPS/INMARSAT (fig. 8), basado en la experiencia que desde agosto de 1990 se tiene con el sistema Skyfix formado por cuatro satélites Inmarsat 2 en órbita geostacionaria sobre el Pacífico, Brasil, Atlántico e Indico, 24 estaciones monitoras, la mayor parte en la Europa Occidental, y dos Estaciones de Control, una en Aberdeen, Escocia, y otra en Singapur.

El sistema Skyfix fue evaluado con las señales recibidas sobre el área de Madrid, y la fiabilidad de los equipos fue del 99'95% que espera mejorarse con satélites Inmarsat 3 que comenzarán a lanzarse en 1994/95.

Como es sabido en el consorcio Inmarsat están integrados 67 países desde hace más de una década, para suministrar comunicaciones via satélite a barcos y aviones.

Es de hacer destacar la utilización de un sistema mixto GPS-Inercial por la US Navy .

En la fig. 9 mostramos la planificación y programación de fechas de la implantación paulatina del GPS y DGPS a la Navegación Aérea.

Los requisitos de la FAA para certificar los equipos que operen en las distintas categorías de aproximación son:

Categoría I con precisión deberán detectar en menos de 6 segundos la alarma de que falla un satélite, dentro de 2 segundos para la Categoría II y no más de 1 segundo para la Categoría III.

Desde julio de 1992 se están haciendo en el aeropuerto de Chicago O'Hare análisis con un sistema DGPS para control de movimientos de aviones en la superficie y en la Universidad de Stanford se está desarrollando un sistema denominado KGPS (K.-Kinematic) con el que se espera alcanzar precisiones aproximadas a 1 pie en la determinación de la altitud.

EL TUNEL AERODINAMICO ETW

El 8 de junio de 1993 era inaugurado el túnel aerodinámico transónico ETW (fig. 10), considerado como el más importante del mundo que funciona a temperaturas muy bajas, incluidas dentro de la gama del dominio de las técnicas de la criogenia, que se extienden desde temperaturas próximas a -173°C hasta las proximidades del cero absoluto, lo que beneficia especialmente hacer ensayos aerodinámicos a altos Números de Reynolds y simular así el comportamiento laminar o turbulento de la corriente de aire en el que incide de forma destacada la viscosidad del aire.

El ETW es producto de un acuerdo entre Francia, Alemania, Gran Bretaña y Holanda iniciado con la firma de un memorandun hace ahora 15 años para estudiar la fase de diseño previo. En marzo de 1984 se hacía una prueba piloto en Amsterdam en un túnel a escala 1/8'8 del real actual con resultados satisfactorios, y ese mismo año se firmaba el acuerdo definitivo para ser desarrollado por los Centros de Investigación Aeroespacial más cua-

lificados de aquellos países. En diciembre de 1992 se hacía la primera prueba.

En el ETW pueden hacerse ensayos a Número de Reynolds entre 1'6 millones y 50 millones, tiene 1.400 inyectores de descarga de nitrógeno líquido, la potencia máxima del motor eléctrico de régimen variable para arrastre del compresor es de 50 Mw (67.935 HP), el más potente de este tipo en el mundo, la presión en la cámara de ensayos es aproximadamente de 4'5 Kg/cm²; tiene una alta estabilidad de presiones ($\pm 0'002$ Kg/cm²) y de temperaturas ($\pm 0'25^\circ\text{K}$) y gran uniformidad del Número de Mach ($\pm 0'001$ en régimen subsónico y $\pm 0'008$ en régimen supersónico).

A partir de 1994 en que entre en funcionamiento regular, se harán 5.000 ensayos ("polares") al año.

En resumen un logro destacado de la Investigación Aeronáutica de Europa que pone a disposición de la Industria Aeronáutica mundial la que se considera como la herramienta más importante para ser utilizada en la fase de diseño de un avión

Bibliografía

- IAA. Ingeniería Aeronáutica y Astronáutica
- Revista de la Asociación de Ingenieros Aeronáuticos de España
- . Ref. 1. nº 323, marzo-abril 1990
- Los turboreactores para la Aviación de Combate.
- Revista de Aeronáutica y Astronáutica
- . Ref. 2. nº 561, septiembre 1987.
- Le Bourget 87: los motores
- . Ref. 3. nº 577, enero 1989
- Novedades tecnológicas en 1988.
- . Ref. 4. nº 590, enero 1990
- La Investigación y Desarrollo de la Tecnología Aeronáutica al iniciarse la década de los 90's.
- . Ref. 5. nº 565, enero 1988
- Los motores en 1987.
- . Ref. 7. nº 625, julio-agosto 1993
- El Espacio en Le Bourget 93.
- EMPUJE.- Revista del Sindicato Español de Oficiales Técnicos de Vuelo.
- . Ref. 6. nº 42, marzo 1993
- La navegación aérea guiada por una constelación de satélites. El GPS: Global Positioning System
- . Ref. 8. nº 44, septiembre 1993
- Túneles aerodinámicos: fundamentos de los ensayos.