

# Los motores de reacción para la aviación comercial: hoy y perspectivas de futuro

MARTIN CUESTA ALVAREZ,  
Ingeniero Aeronáutico

## INTRODUCCION

**E**SCRIBIMOS estas líneas cuando acabamos de cerrar el artículo a modo de reseña histórica con pinceladas técnicas, de cómo fueron los motores de reacción los primeros 6 años de su operación (1939-1945).

Vamos a enumerar, de forma somera, qué parámetros funcionales y de diseño tienen ahora los motores para la aviación comercial, respecto de aquellos iniciales.

- Los empujes han pasado de 350 Kgs. como valor medio a 35.000 como máximo normal.
- La relación de presiones que fuera próxima a 4/1, ha pasado hasta 40/1.
- La relación empuje/peso de motor, que estaba próxima a 1,45/1, ha ascendido en algunos casos a valores próximos a 8/1.

Figura 1

• **GAMAS DE EMPUJE Y POTENCIA DE LOS 120 TIPOS DE MOTORES. QUE APROXIMADAMENTE EXISTEN EN EL MUNDO. PARA UTILIZACION POR LA AVIACION COMERCIAL**

TIPO DE MOTOR	GAMA APROXIMADA DE EMPUJE (LIB.) Y % DE LOS DIVERSOS TIPOS					
<b>CANTIDAD:</b>						
• "TURBOJET"	hasta	2.500	5.000	10.000	20.000	40.000
• "TURBOFAN"	2.500	a 5.000	a 10.000	a 20.000	a 40.000	a 80.000
	30 %	20 %	20 %	20 %	10 %	—
	15 %	15 %	15 %	25 %	25 %	5 %
TIPO DE MOTOR	GAMA APROXIMADA DE POTENCIA (SHP) Y % DE LOS DIVERSOS TIPOS					
<b>CANTIDAD:</b>						
• TURBOHELICE	hasta	1.250	2.500	5.000	10.000	más de 20.000
• TURBOEJE	1.250	a 2.500	a 5.000	a 10.000	a 20.000	
	50 %	20 %	20 %	5 %	5 %	—
	50 %	30 %	10 %	10 %	—	—

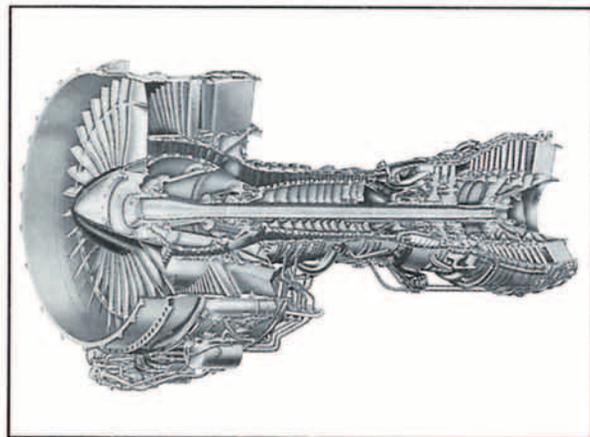


Figura 2. PW 2037, primer motor del Subprograma E<sup>3</sup> integrado en el programa AEEP de la NASA.

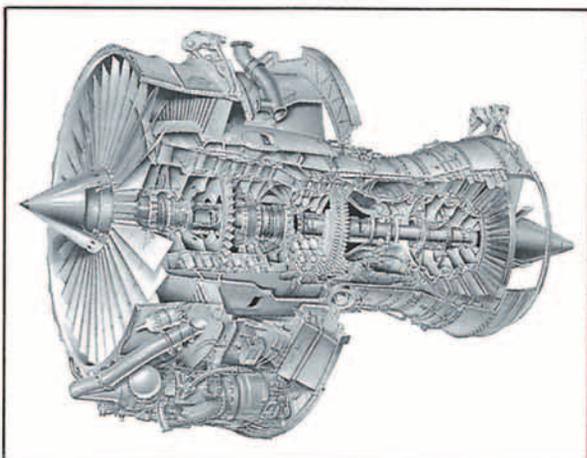


Figura 3. Motor RB 211-535 de Rolls Royce.



Figura 4. El Boeing 757 se oferta para ser propulsado por el PW 2037 (figura 2) o el RB 211-535-E4 (figura 3).

— El consumo específico de combustible que era aproximadamente de 1,55 Kgs. de combustible/hora, ha descendido drásticamente, y ya en algunos motores es de 350 gramos/hora por Kg. de empuje, en regímenes de despegue y de 600 gramos /hora, en vuelo de crucero.

#### **NUMERO DE MOTORES PARA LA AVIACION COMERCIAL EXISTENTES EN EL MUNDO**

**H**EMOS repasado nuestro fichero sobre los motores de diferente tipo existentes en el mundo, y hemos llegado a la conclusión de que una cifra redondeada es la de 120, que abarcan a turboreactores puros ("turbojets"); turboreactores de doble flujo ("turbofan"); turbopropulsores ("turboprops") y turboejes ("turboshafts") (figura 1).

Un aspecto salta a la vista del cuadro de la figura 1: el 50% de ese conjunto de motores son del tipo "turbofan", y de ellos la mitad están en la gama de 10.000 a 20.000 lib. ( $\approx$  4.500 a 9.000 Kg.), y la otra mitad están entre 20.000 y 40.000 lib. ( $\approx$  9.000 a 18.000 Kg.). Un 5% de la familia "turbofan" tienen empujes espectaculares que ahora están centrados hacia las 77.000 lib. (35.000 Kg.).

Cuando avancemos en esta presentación, veremos ejemplos palpables de motores "turbofan" que propulsan aviones de la más moderna tecnología, y cuando al final presentemos el futuro previsible, ya casi inmediato, llegaremos a la conclusión de que a partir de la técnica "fan", llegarán los "Propfan", los "Un Ducted Fan", y los UHB (Ultra High Bypass), que es una denominación sinónima de "Superfan".

#### **POR QUE, COMO Y CUANDO SE INICIARON LAS MEJORAS, HASTA DISPONER DE LOS MOTORES ACTUALES**

**L**A raíz de este formidable desarrollo hay que buscarla cuando hace ahora poco más de 15 años, recién iniciada la crisis energética del combustible, por elevación de su precio, a finales de 1973, la OACI dictara en 1974, recomendaciones de tipo operativo para disminuir el consumo de combustible, y la

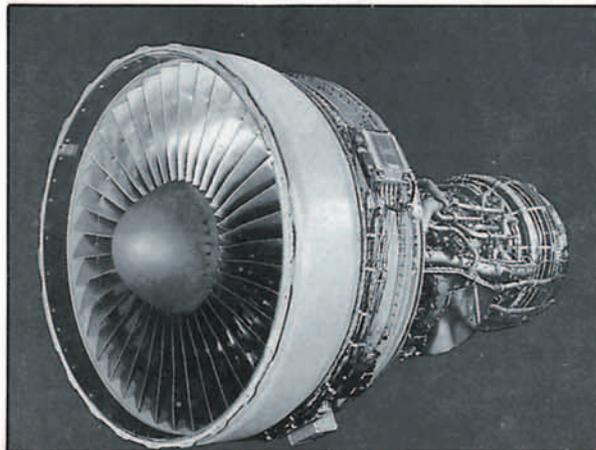


Figura 5. Motor CF8-80 C2 que entró en servicio en octubre de 1985.



Figura 7. El Boeing 747-300 para 400 pasajeros y 6.300 MN. Se oferta con motores GE-CF8-80 C2 (figura 5) y PW 4000 (figura 11).



Figura 6. Airbus A 300-600, con un radio de acción superior a 8.000 Km., que se oferta con dos tipos de motores: el GE-CF8-80 C2 (figura 5) y con el PW 4000 (figura 11).



Figura 8. El Boeing 767, se fabrica en dos versiones: el 767-200 para 174 pasajeros y 7.000 MN y el 767-300 con 210 pasajeros y 6.300 MN. Se oferta con motores GE-CF8-80 C2 (figura 5) y PW 4000 (figura 11).

NASA en 1975 hizo que se pusiera en marcha un complejo programa técnico que tenía como objetivo fundamental, mejorar los rendimientos energéticos del transporte aéreo.

El programa se centró en cuatro áreas integradas: Propulsión, Aerodinámica, Mandos de Vuelo y Estructuras, y que se denominó AEEP (Aircraft Energy Efficiency Program) y aplicado a la Propulsión un subprograma de AEEP, que se llamó E<sup>3</sup> (Energy Efficiency Engine), esto es, elevar el rendimiento energético de los motores, y en el que destacaban como objetivos:

- la reducción del consumo de combustible;
- la reducción de la temperatura de gases a la entrada de la turbina para aumentar su vida en servicio;
- elevación de la relación de presiones entre las de salida y entrada al compresor, consiguiéndose así aumentar la energía del aire, de especial incidencia en el rendimiento mecánico del motor.

Los resultados del subprograma E<sup>3</sup>, no se hicieron esperar:

- El consumo específico de combustible que era del orden de 750 gramos de combustible en los "turbofan" operativos en 1970, ha pasado a esos valores de 350 y 600 gramos de combustible/h., para regímenes de despegue y crucero, respectivamente.

- La temperatura de entrada de gases a la turbina, ha descendido, en los motores para la aviación comercial de 1.350° C como valor tipo, a 900° C para motores del E<sup>3</sup>.

- La relación de presiones que estaba al iniciarse la década de los 70's entre 6/1 a 7/1 para motores pequeños, alcanza ahora valores próximos a 30/1, y para los motores grandes, que estaba entre 12/1 a 25/1, el objetivo es alcanzar 40/1.

Como he dicho en otras ocasiones, ligadas a los rendimientos energéticos de los motores para aviación, tenía muchísima razón Benjamín Franklin, cuando dijera hace ahora 200 años: "La necesidad es la madre de la invención".

Si al problema energético, que diera lugar a la puesta en marcha del E<sup>3</sup>, le sumamos la rigidez de las normas dictadas por la OACI, para la reducción de los niveles de ruido en las zonas de sobrevuelo próximas a los aeropuertos y en los mismos aeropuertos; y la disminución de los índices de contaminación de las

emisiones de los gases de escape de los motores, nos encontramos con que la inclusión de multitud de mejoras ha dado lugar a motores de muy diferente configuración, respecto de los motores considerados hasta ahora como convencionales, siendo de destacar en los nuevos motores su alta fiabilidad funcional y su buen grado de mantenibilidad.

### LA SITUACION ACTUAL DE LOS MOTORES "TURBOFAN"

OCHO años después de iniciarse la puesta en marcha de las directrices de la NASA, dictadas en 1975, esto es en 1983, obtenía el Certificado de Tipo de la FAA, el primer motor derivado del subprograma E<sup>3</sup>: era el PW 2.037 (figura 2) del Consorcio Pratt Whitney/MTU/Fiat Aviazione, con porcentajes de participación respectivos del 84,8/11,2/4,0. El motor tiene 37.200 lib. (16.900 Kg.) de empuje máximo.

— Inglaterra siguió una actitud similar y así el Rolls Royce RB 211-535 de 40.100 lib. de empuje (18.227 Kg.), (figura 3), es tan sólo 1.318 Kg. de empuje más que el PW 2.037, obtenía el Certificado poco antes de finalizar 1982, y por lo tanto disponible para entrar en servicio en 1983.

Los dos motores citados PW 2.037 y RR-RB 211-535, entraron en servicio en 1983, propulsando opcionalmente con uno u otro motor el B 757 (figura 4).

— General Electric optó por aplicar el E<sup>3</sup> a un motor de un empuje sensiblemente mayor que los antes citados: así nació el GE-CF6-80C2 (figura 5) de 60.200 lib. (27.364 Kg.) y con los parámetros de diseño que en esa figura se indican. El GE-CF6-80C2 hizo su primer rodaje en marzo de 1984; el primer vuelo sobre un A 300 en el mes de julio; el programa de vuelos de prueba entre los meses de agosto a diciembre, también de 1984; obtuvo la Certificación en junio de 1985, y entró en servicio con A 300-600 en octubre del 85, y con A 310-300 en la primavera del 86.

Es un motor idóneo para un gran número de aviones comerciales tipos Airbus, Boeing y McDonnell Douglas, como indicamos en dicha figura y completamos con las figuras 6, 7, 8 y 9.

Es un motor elegido para aviones bimotores EROPS (Extended Range Operations), y así es utilizado en vuelos transatlánticos en aviones diseñados para tales operaciones. General Electric manifestaba hace ahora dos años que esperan obtener 64.000 lib. de empuje (29.091 Kg.) partiendo del motor 80C2 básico actual; esto podría alcanzarse en 1993 con la entrada en servicio del Airbus A 330.

Aun cuando es un motor de fabricación General Electric y SNECMA de Francia, tienen una participación menor, MTU de Alemania, Volvo Fligmotor de Suecia y Fiat Aviazione de Italia.



Figura 9. El MD-11 será una familia con 4 tipos de aviones. Se oferta con dos versiones de motor: el GE-CFG-80 C2 (figura 5) y el PW 4000 (figura 11).

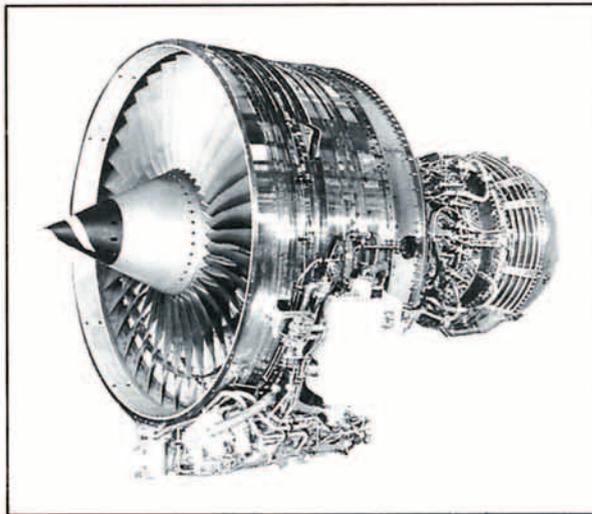


Figura 10. Fabricado por el consorcio General Electric / SNECMA, el CFM-5A1 ha sido seleccionado para el A 320 y el CFM-5 C1, seleccionado para el A 340.

— Un motor de empuje intermedio entre los hasta ahora citados es el CFM 56-5 (figura 10), del Consorcio General Electric/SNECMA. Se presenta en dos versiones, la —A1 de 25.000 lib. de empuje (11.364 Kg.) y la C-1 de 30.600 lib. de empuje (13.909 Kg.). La —A1 está ya en servicio con A 320-100 desde el 28 de julio del 88 (figura 15) y la —C1 cuyo primer rodaje se espera para finales de este año 89 ha sido seleccionada para el A 340 (figura 16) y para el MD-90X, avión éste, cuya relación consumo de combustible/ asiento, es ligeramente superior al B 757 y se aproxima a la del A 320.

CFM, informaba en Farnborough 88 que la versión A1 alcanzará 27.500 lib. de empuje (12.500 Kg.) y se denominará CFM-56-5B, y estará disponible para 1992.

La familia de motores CFM 56 es muy amplia y el número total de motores vendidos hasta ahora se aproxima a los 6.000, entre todos los tipos.

— Llegamos ahora a comentar el PW 4.000 (figura 11), que se oferta en muy diversas versiones, entre 52.000 y 60.000 lib. de empuje, como mostramos en el anexo a dicha figura 11.

El PW 4.000 es un fuerte competidor del GE-CF6-50C2, ya comentado, en aviones tales como el A 300-600 (figura 6); el B 747-300 (figura 7); el B 767 (figura 8); el MD-11 (figura 9); el A 310-300 (figura 15); y el futuro A 330 (figura 16).

El V 2500 del Consorcio IAE (figura 12) es un motor fuerte competidor para propulsar aviones como el A 320 (figura 15), el B 737-300 y derivados de él (figura 13), y el MD 90X, derivado de los aviones MD 80's (figura 14).

Este motor estaba en período de pruebas en vuelo con un A 320 cuando se celebró el pasado Farnborough 88, e hizo una demostración allí el día 7 de septiembre, como ya informamos a nuestros lectores en el comentario sobre el pasado Farnborough, regresando directamente a Toulouse tras la exhibición.

Cuando salgan estas líneas quizá esté ya en servicio, pues la Certificación estaba prevista para el pasado mes de mayo.

— Un motor que a buen seguro tendrá mucha aceptación, es el PW 300 (figuras 17 y 18), muy adecuado para aviones del tipo "ejecutivo", pues su sencillez de diseño le hace que tenga un alto índice de mantenibilidad, característica ésta muy importante cuando se va a elegir un avión pequeño, cuyo mantenimiento ha de ser fácil.

## LOS "PROPFAN"

**E**NTRAMOS ya en lo que podemos llamar próximo futuro. Los "Propfan" son unos grupos motopropulsores de la familia de los turbohélices, que desarrollan una elevada tracción, con 6, 8 y, hasta 10 palas. Pueden alcanzarse con ellos velocidades próximas a 0,76 de Mach, para alturas de vuelo de 30.000 pies, con alto rendimiento propulsivo. El consumo relativo de combustible respecto a aviones propulsados por "turbofans" incluso de índice de derivación 5, es casi la mitad.

En la figura 19, mostramos las configuraciones de "Propfan", en la actualidad en pruebas en vuelo.

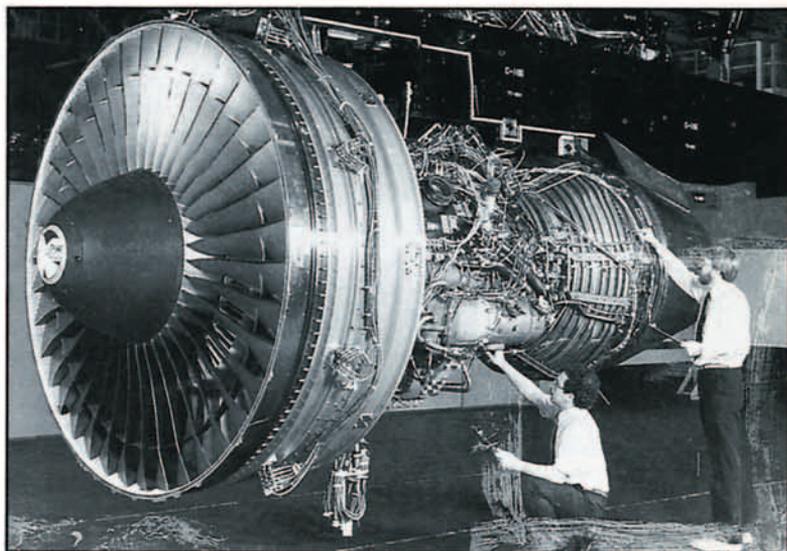


Figura 11. Motor PW 4000.

### Anexo a la Figura 11

#### • DIFERENTES VERSIONES DEL MOTOR PW 4000 (denominación genérica)

• VERSION	PW 4152	PW 4056 PW 4256 PW 4156	PW 4358	PW 4360
• CARACTERISTICAS	—	—	—	—
— EMPUJE (LIB.)	52.000	56.750	58.000	60.000
— DERIVACION	5.00/1	4.80/1	4.75/1	4.70/1
— COMPRESION	27.50/1	29.70/1	30.60/1	31.50/1
— EMPUJE/PESO	5.66	6.18	6.32	6.54
• PARA AVIONES	A 310-300	B 767 B 747 A 300-600	A 300-600R	MD-11

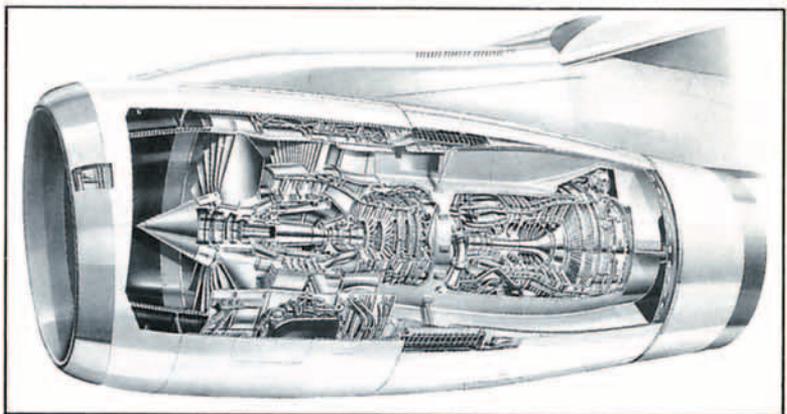


Figura 12. En el V 2500 de International Aero Engines participan PW (30%), Rolls Royce (30%), JAEC (23%), MTU (11%) y FIAT AVIAZIONE (6%).



Figura 13. El Boeing 737-300 con 128 pasajeros puede alcanzar prácticamente 3.000 MN (5.415 Km.); hizo el "roll out" el 17 de enero de 1984 y el primer vuelo el 24 de febrero del mismo año. Fue certificado por la FAA en noviembre de 1984 con motores CFM 56-3 de 20.000 lib. de empuje. Se oferta también con el V 2500 de IAE (figura 12).



Figura 14. El MD-80, avión básico del cual se han derivado las series 81, 82, 83, 87, 88, e incluye el 90-X, los primeros propulsados por motores PW JT8 de diversos tipos; el 90-X se oferta para ser propulsado por motores CFM 56-5 (figura 10) y V 2500 de IAE (figura 12).



Figura 15a. El avión Airbus A 310, en la serie 200 ó 300 puede ser propulsado por los motores GE-CFG-80 A1/A3/C2 (figura 5), por el PW-JT9D-7R4D1/E1/E3 y el PW-4000 (figura 11).



Figura 15b. El Airbus A 320, las series 100 y 200 pueden ser propulsados por los motores CFM 56-5, por el V 2500-A1 y por el V 2500-A2 (utilización para el A 320-100).



Figura 16a. El avión A 330, con capacidad para 328 pasajeros y un radio de acción de 5.200 MN, estará disponible para el verano de 1993, propulsado por el GE CFG C2 (figura 5), el PW 4000 (figura 11) o el RR-RB 211-700.



Figura 16b. El 340-200 y el 340-300 estarán disponibles a mediados de 1992 propulsados por el motor CFM 56-C1. El programa conjunto A 330/A 340 fue lanzado el 5 de junio de 1987.

El programa PTA (Prop Test Assesment) está haciendo sus pruebas con rotor simple (SR), sobre un Gulfstream modificado (figura 20).

El programa CRP (Counter Rotating Propfan Demonstrator) se está haciendo con un motor básico de Allison, el 578 DX, con el cual se supera el año y medio desde que se iniciaron las pruebas en vuelo en un MD 80 modificado.

Con el CR podrán obtenerse velocidades hasta de 0,89 de Mach, y con el SR de 0,85 de Mach a alturas próximas a los 30.000 pies.

### LOS UDF (UN DUCTED FAN)

**E**L UDF (figura 21) es un fuerte competidor de los "Propfan". Los estudios del UDF se iniciaron en 1983, y tras las fases de producción y pruebas en tierra, en febrero del 87 concluían con éxito las pruebas en vuelo de un UDF de General Electric sobre un B 727 (figura 22), y en la primavera de aquel año se iniciaron sobre un MD 80 modificado (figura 23 A). Si todo resultara satisfactorio podría obtener

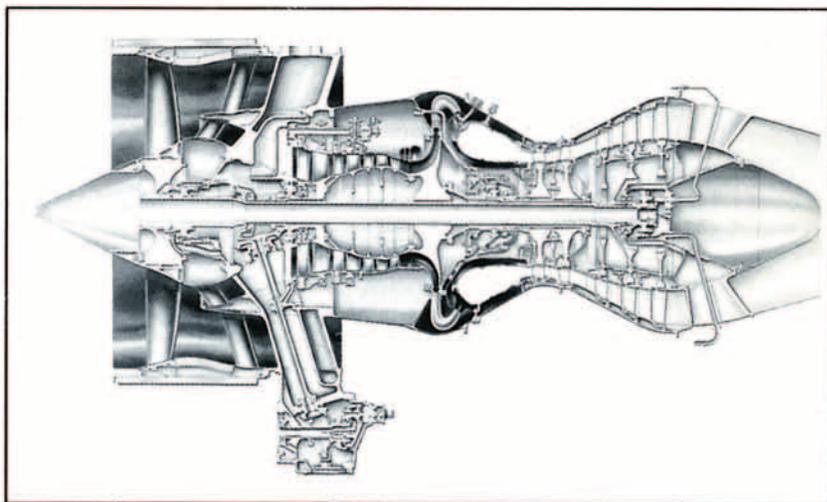


Figura 17. El PW 300 es una coproducción entre PW (75%) y MTU (25%). Con un empuje de 4.650 lib, ha comenzado su producción a comienzos de 1989. Su aplicación será a aviones de tipo "negocios/ejecutivo" de 11 a 15 Tm., como el Cessna Citation III (figura 18), el BAE HS 125 o el Dassault Falcon F.XXX.



Figura 18. Cessna Citation III. que será propulsado por motores PW 300 (figura 17) a partir de 1990.

En principio los UDF tenían solamente 8 palas; el 18 de mayo del 87 se empezó a probar con 10 palas y así está volando sobre un MD 80 modificado, desde el 15 de agosto de ese año.

Considerado como un "Turbofan" de alto índice de derivación, el UDF tiene un valor de 40/1 y su consumo específico del orden del 40% del de los "Turbofan" actuales.

#### LA FAMILIA DE MOTORES UHB (ULTRA HIGH BYPASS)

**B**AJO esta denominación genérica de UHB (figura 24), se están diseñando e incluso fabricando, motores prototipo que hasta ahora son: el ADP, el "Contra Fan", el CRISP; y el "Super Fan", cuya configuración esquemática mostramos en dicha figura. A continuación hacemos una reseña sobre estos cuatro tipos de motores denominados también DF (Ducted Fan), dado que las palas del "fan" están carenadas y de esta forma se canaliza mejor la corriente de aire que pasa a través de las palas del "fan", desde la entrada a la salida.

#### EL ADP (ADVANCED DUCTED FAN)

**E**STE nuevo motor (figura 24) actualmente en diversos programas de prueba, presenta la característica de que tiene un solo rotor de "fan", movido a través de una caja de engranajes. Los álabes del "fan" son muy delgados.

El motor tiene un índice de derivación del doble flujo de 20/1 y su consumo de combustible se espera

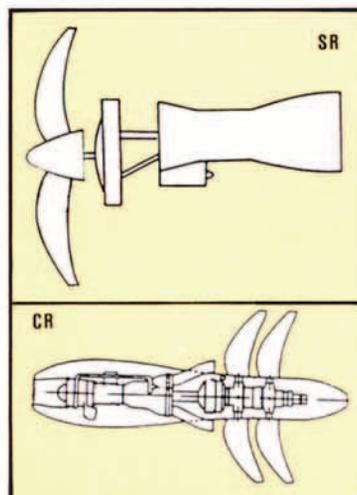


Figura 19. Propfan. SR = Rotor simple. CR = Dos rotores contrarrotatorios.



Figura 20. Avión Gulfstream, modificado para pruebas de Propfan (SR) de NASA. Hamilton Std. United Technologies. El motor está montado en el ala izquierda y la dirección del programa de pruebas es de Lockheed-Georgia.

la Certificación dentro de este año 1989, para entrar en servicio en 1992.

El UDF recibe esta denominación, porque es la equivalente a "no carenado de las palas del fan". El núcleo básico del UDF de General Electric es el del motor GE-F404, que propulsa el F-18A "Hornet" de McDonnell Douglas.

Con el generador de gas de ese motor, el GE 36-22A, el UDF produce 24.000 lib. de empuje (10.909 Kg.), idóneo para aviones de 150 plazas, como el B 7J7 (figura 23B); y con generador de gas GE 36-B/4 produce 14.000 lib. de empuje (6.634 Kg.), idóneo para bimotores de 100-120 plazas, como el MD-91X.

sea un 20% que los de los "turbofans" actuales, de valores de empuje próximos a las 55.000 a 60.000 libras (25.000 a 27.273 Kg.).

Aun cuando PW es el fabricante, ha contratado programas de pruebas en las que intervendrán, además de PW, British Aerospace, MTU y MBB.

Las pruebas a baja velocidad (despegue) serán hechas por MBB de Alemania; las de alta velocidad por la Asociación de Investigación de Aviones de Inglaterra; las pruebas de comportamiento actuando el flujo reversible, por el Centro de Investigación de United Technologies en, Hartford, Connecticut, USA. Una serie de componentes críticos del motor están siendo desarrollados por Hamilton Standard, MTU y Fiat Aviazione.

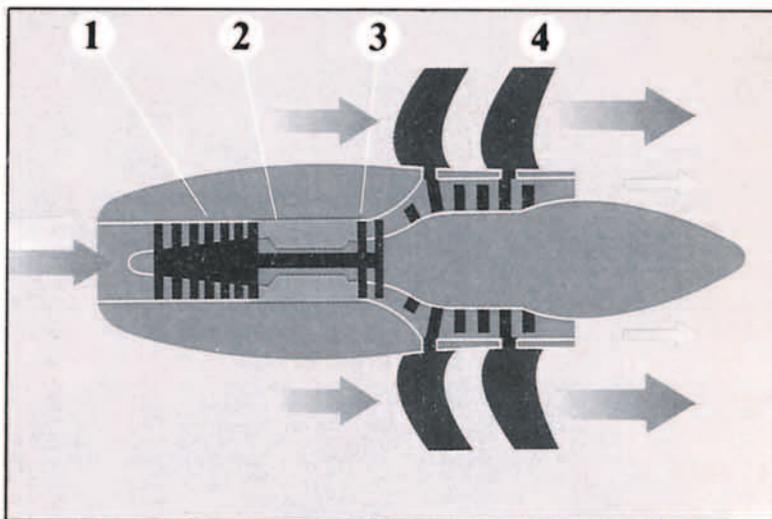


Figura 21. (1) Compresor. (2) Cámara de combustión. (3) Turbina. (4) "Palas" del "fan".

### EL CRISP (COUNTER ROTATING INTEGRATED SHROUDED PROPELLER)

**E**STE motor (figura 24), del que ya se presentó en el número de enero de R.A.A. una fotografía de una maqueta a escala 1/5 del original, y que había expuesto MTU en Le Bourget 87 y Farnborough 88, es quizá el motor más avanzado en cuanto a estado de desarrollo se refiere, dado que ya están fijadas las especificaciones: empuje máximo: 12.372 Kg.; empuje de crucero: 2.286 Kg.; índice de derivación 26/1; relación de presiones del "fan": 1,24/1; relación de presiones total: 38/1; relación empuje/peso: 4,51/1.

El "Crisp", que será desarrollado por MTU, Pratt Whitney y Fiat Aviazione, es un motor idóneo para aviones como los A 320, MD-89 y B 747.

### EL "SUPERFAN"

**E**L Grupo IAE formado por PW, RR, JAEC, MTU y FIAT AVIAZIONE, ha entrado en la escena de los UHB, bastante después que lo hicieran los participantes en el ADP y en el "Crisp" que hemos reseñado, y después de hacer una encuesta a los fabricantes Airbus, Boeing y Douglas.

Los objetivos del grupo IAE; se podrían enumerar así: mantener como núcleo básico el del V 2500 (figura 12): aumento del índice de actuaciones/costes directos operativos; adecuar el motor a una amplia gama de aviones de capacidad entre 150 a 180 pasajeros (B 7J7, MD-90X, MD-94 y A 320), y competitivo con los UDF en aviones como los citados, y en general con aviones bimotores de esa capacidad.

El "Superfan" desarrollará empujes entre 28.000 y 32.000 lib. (12.727 a 14.545 Kg.); y la reducción del consumo de combustible será de un 20% respecto de "turbofans" actuales, con un índice de derivación de 20/1.

El desarrollo del motor estaba condicionado a la certificación del V 2500. Esta certificación la obtuvo en junio del 88 y, un mes después, concretamente el 28 de julio, hacia su primer vuelo sobre un A 320.

La certificación del "SuperFan" se espera para 1992 y, su entrada en servicio, para 1994.

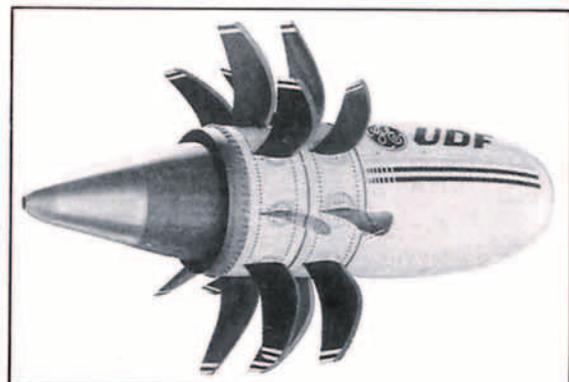


Figura 22A. Configuración exterior del UDF de General Electric con supervisión de la NASA.



Figura 22B. Vista posterior de un B 727 con un motor UDF en la posición número 3, en pruebas.



Figura 23A. MD-80, avión demostrador del UDF de General Electric.



Figura 23B. Visión del nuevo proyecto de avión B 7J7 que será propulsado por el mismo tipo de motor UDF.

El "ContraFan" tendrá dos rotores contrarrotatorios, un índice de derivación de 15,6/1 y el consumo específico de combustible se espera resulte un 24% menor que el de los "turbofan" actuales.

\*\*\*\*\*

Como final de nuestra exposición sobre los UHB, incluimos en la figura 25, la elevación de los rendimientos propulsivo y térmico y la disminución del consumo específico de combustible, función del índice de derivación de doble flujo. Las ventajas de los UHB son evidentes. ■

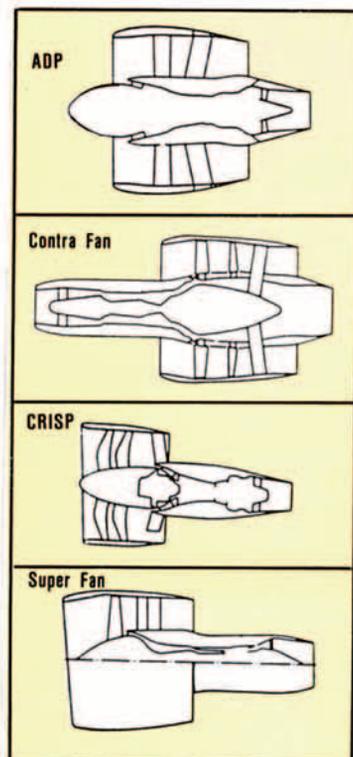


Figura 24. UHB (ultra high bypass).

## EL "CONTRA FAN"

**R**OLLS Royce ha despertado sorpresa con el "Contra Fan" como motor incluido en la familia de los UHB, dado que Rolls Royce ha hecho reiteradas manifestaciones de no ser partidario de los "Propfan" y UDF que son los predecesores de los UHB, aun cuando tenga un índice de participación del 30% en el desarrollo del "SuperFan" de IAE, por ser este porcentaje con el que interviene en el V 2500.

Quiero recordar que fue en Le Bourget 87 en donde en una rueda de prensa ante periodistas técnicos, un directivo de RR decía: "no somos partidarios de los UDF, porque no nos imaginamos unos grandes plátanos haciendo de palas de hélice en un motor".

Ahora, estas ideas han sido cambiadas por Rolls, pues su proyecto "Contra Fan", si no estuviera carenado, es el más parecido al UDF.

Figura 25

• COMPARACION DE LOS RENDIMIENTOS, PROPULSIVO ( $\eta_p$ ) Y TERMICO ( $\eta_T$ ) Y DEL CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE ( $C_e$ ), SEGUN EL MOTOR

• DECADA • TIPO DE MOTOR • DERIVACION	ESQUEMA DE MOTOR	aumento $\Delta \eta_p$	aumento $\Delta \eta_T$	disminución $\Delta C_e$ *
1970's TURBOFAN DERIVACION: 1 a 3		BASE	BASE	BASE
1980's TURBOFAN DERIVACION ALTA: 4 a 6		+ 20%	+ 10%	- 24%
1990's UHB DERIVACION: 40 a 80		+ 40%	+ 20%	- 40%

• Rendimiento global:  $\eta_G = \eta_p \eta_T$

$$* \Delta C_e = \left[ \left( \frac{1}{(1 + \eta_p)(1 + \eta_T)} \right) - 1 \right] \times 100$$

• Para operaciones de vuelo  $\approx 35.000$  pies y números de Mach  $\approx 0.8$