

DESARROLLO Y PRODUCCION DE MOTORES DE REACCION. PERSPECTIVAS NACIONALES

Carlos Sánchez Tarifa

1. Introducción

El motor de reacción o turbina de gas de aviación, en su sentido más amplio (turborreactores, turbohélices y turboejes) constituye un producto industrial cuyo desarrollo y producción presentan problemas técnico-económicos muy específicos, que no se encuentran en conjunto en ningún otro producto industrial de alta tecnología. Son los siguientes:

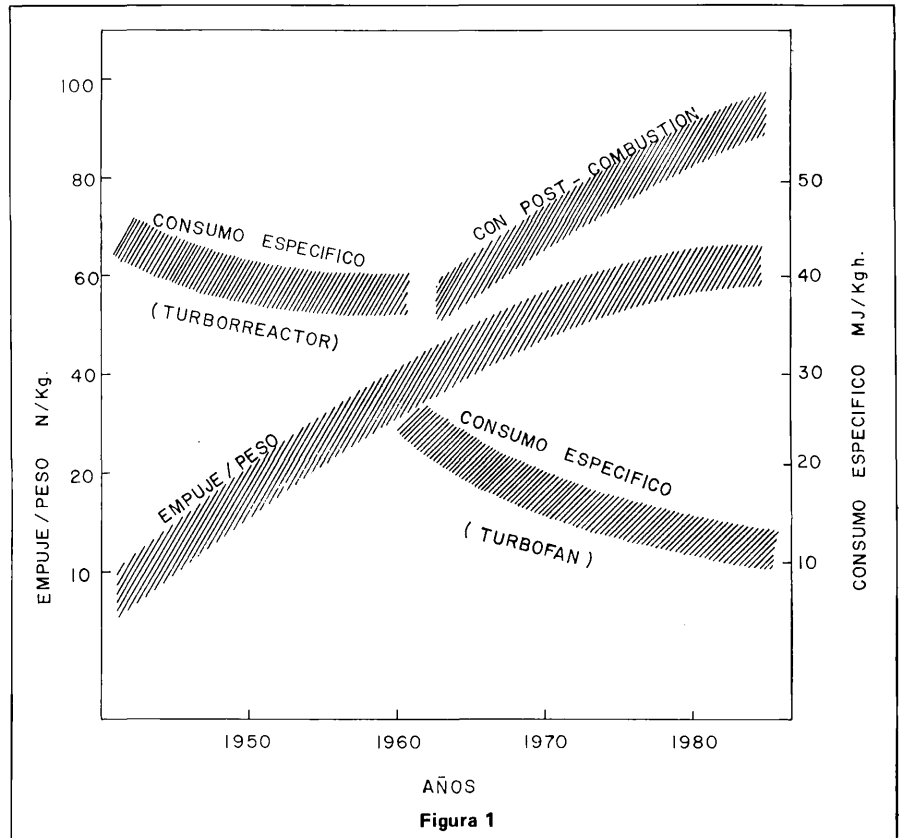
- Muy elevado costo del desarrollo en relación con el producto de serie, y largo tiempo para su realización.
- Series relativamente reducidas en número.
- Utilización de tecnologías avanzadas.
- Muy elevado costo del producto, sobre todo por unidad de peso.

Se tratarán de analizar, brevemente, los orígenes de estas especiales características.

2. Coste y tiempo de desarrollo

Desde su nacimiento, hace ya más de cuarenta años, el motor de reacción fue siempre un producto de alta tecnología, de difícil cálculo y proyecto. Sus proyectistas y fabricantes han impulsado en forma continua la mejora de las dos variables más importantes del motor: El empuje por unidad de peso y el consumo específico (Fig. 1). Ello ha sido conseguido, principalmente, mediante los siguientes desarrollos (Fig. 2):

- Aumentos de la relación de compresión por escalón de los compresores axiales.
- Aumentos de las temperaturas de fin de combustión.
- Mejoras de los rendimientos de todos los órganos componentes del motor.
- Utilización de materiales de alta re-



lación resistencia/peso, especialmente en compresores.

- Aumentos de la intensidad de combustión.
- Utilización de cárteres delgados con elementos de refuerzos, y álabes delgados de gran alargamiento.

Todo ello ha implicado que el cálculo y proyecto de estos motores haya ido siendo cada vez más difícil, encontrándose el ingeniero proyectista con situaciones fluidodinámicas y mecánicas de una complejidad extrema.

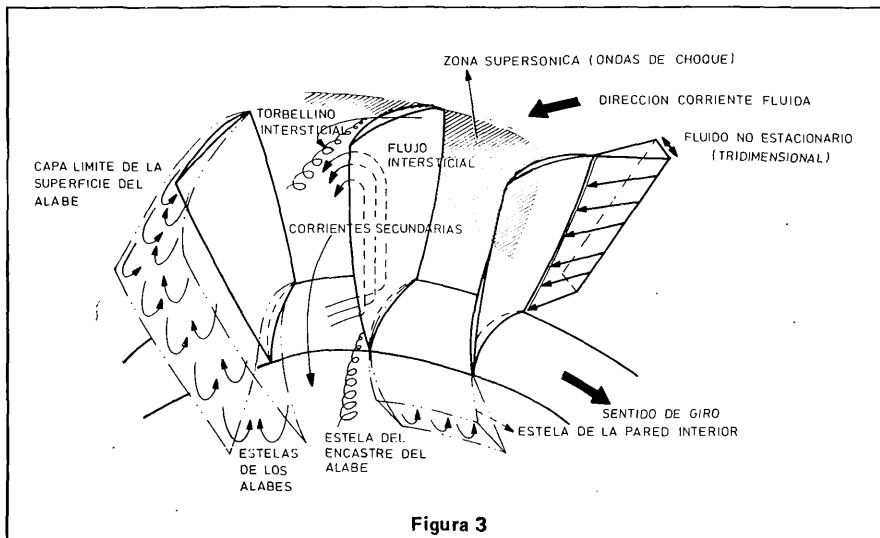
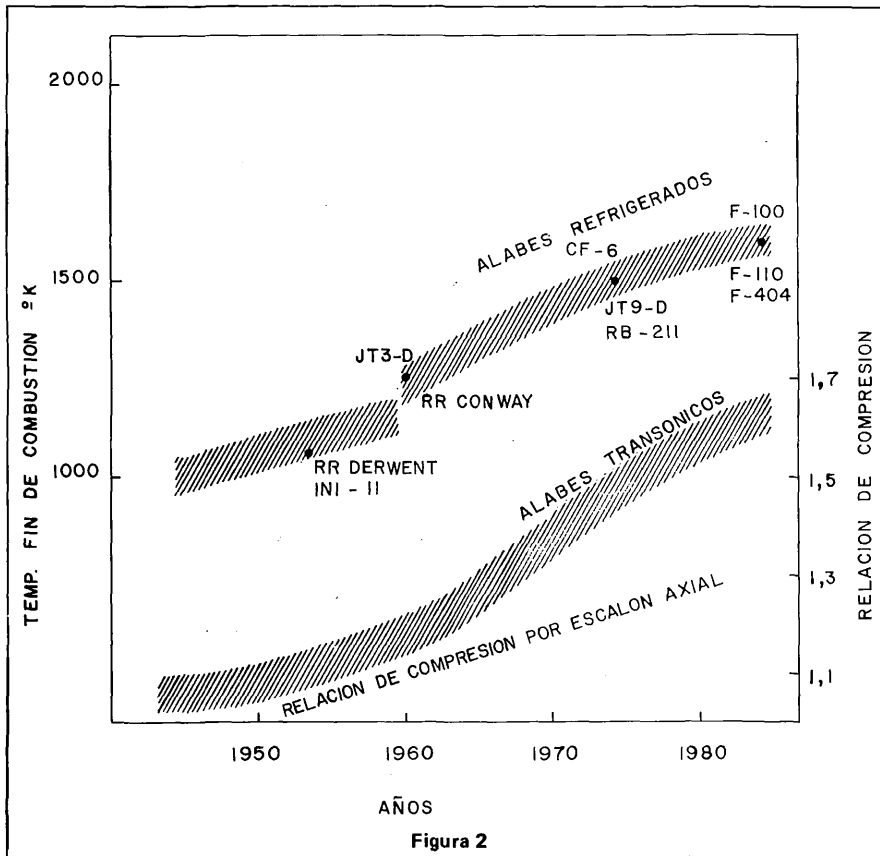
El aumento de la relación de compresión por escalón se ha conseguido, principalmente, mediante el funcionamiento de los álabes en gran parte de su envergadura en corriente supersó-

nica. Con ello, el cálculo aerodinámico de los álabes se ha complicado aún más, encontrándose el proyectista con que ha de diseñar álabes de alto rendimiento en un campo fluidodinámico tridimensional, supersónico en unas zonas y subsónico en otras, con importantes fenómenos de viscosidad y fuertemente turbulento (Fig. 3).*

Asimismo, el aumento de las temperaturas en la turbina se consiguió, además de por sus espectaculares avances en sus materiales, mediante la introducción de refrigeración pelicular en los álabes. Con ello, la distribución de temperaturas en estos álabes, cuyo conocimiento

* De: "Perspectives in Airbreathing Propulsion", *Astronautics and Aeronautics*, 1980.

DESARROLLO Y PRODUCCION DE MOTORES DE REACCION. PERSPECTIVAS NACIONALES



es esencial para cálculos de termofluencia, resulta de complejos fenómenos de transporte de calor por convección en condiciones de refrigeración pelicular, junto con fenómenos de disipación térmica a través del disco al aire y aceite lubricante, también por convección.

Como es sabido, estas complejas situaciones fluidodinámicas y aerotermodinámicas, no son asequibles más que aproximadamente al cálculo, y aún así, estos cálculos son en extremo largos y complejos.

Citando un último ejemplo, al aligerar los motores los cálculos de sus procesos vibratorios, ya complejos, aumentaron en dificultad por vibrar en conjunto órganos completos del motor, como el rotor de un "fan". Actualmente, modernos métodos de cálculo permiten determinar las frecuencias propias de una estructura compleja, como el citado rotor, pero no los esfuerzos, cuyo valor depende de fenómenos de disipación de energía, aerodinámicos y mecánicos.

El diseño preciso de elementos sometidos a estas complicadas situaciones fluidodinámicas y mecánicas, obliga ineludiblemente a la realización de largos programas de experimentación, que son en extremo costosos por los siguientes motivos:

En primer lugar, las instalaciones de ensayo son de muy elevado coste. Bancos de ensayo de compresores y turbinas requieren potencias que puedan superar los 100.000 kW; y los bancos de ensayo climatizados de motores, han de acondicionar caudales de aire de entrada que pueden alcanzar valores nominales superiores a los 200 kg/s, a las temperaturas y densidades correspondientes a todos los regímenes de vuelo, desde números de Mach de 0 a 2 ó 3, y desde el nivel del mar hasta alturas de unos 18.000 m.

El acondicionamiento de los caudales de aire de entrada a estas condiciones

DESARROLLO Y PRODUCCION DE MOTORES DE REACCION. PERSPECTIVAS NACIONALES

requiere instalaciones de decenas de miles de kW de potencia de enorme costo. Las instalaciones mencionadas no son más que unos ejemplos, a los que hay que añadir bancos de cámaras de combustión, laboratorios de ensayos mecánicos, laboratorios de ruido y contaminación, y otros varios.

Por otra parte, la fabricación de componentes y motores prototipo es muy cara al no poderse aplicar métodos de fabricación típicos de los elementos de serie, constituyendo un ejemplo representativo la fabricación de álabes prototipo de compresores y turbinas, que resulta enormemente costosa.

Por último, ya se comentó el largo tiempo necesario para el desarrollo de un motor que puede ser del orden de unos ocho años, requiriéndose de 6.000 a 10.000 horas de costosos ensayos que se realizan con varios motores prototipo completos (diez o doce habitualmente), en tierra y en vuelo.

A este tiempo hay que añadir las horas empleadas en ensayos de componentes. Todos los factores en conjunto que se han comentado, hacen que el coste del desarrollo de un moderno turborreactor civil o militar llegue a superar la ingente cifra de 1.000 millones de dólares.

3. Coste del producto de serie

De acuerdo con la demanda la fabricación de motores de aviación se realiza siempre mediante series de relativamente, corto número de motores, de tal manera que una producción de 300-400 motores anuales, que ya puede considerarse altamente satisfactoria, constituiría, por ejemplo, una modesta producción diaria de motores de automoción.

A estos motores de serie hay que cargar los costes de desarrollo, así como los de

amortización de instalaciones.

Por otra parte, ya se ha indicado que el motor de reacción utiliza con profusión materiales especiales de alto costo, y técnicas muy especializadas de fabricación de alta tecnología, que se reseñarán más adelante.

Todos estos factores sumados originan que el coste de un potente turborreactor civil o militar pueda llegar a superar los 2 ó 3 millones de dólares; y el del coste por unidad de peso los 2.000 dólares/kg. Este coste por unidad de peso es muy superior al correspondiente coste de la célula del avión y no es superado por el de casi ningún otro producto industrial.

4. Consecuencias. Formación de consorcios

Todo lo anteriormente expuesto, lleva a la conclusión de que el desarrollo de motores de reacción es una operación que puede ser de alto riesgo.

Existen muy pocas empresas de motores en el mundo occidental con el potencial técnico-económico suficiente para desarrollar motores de primera fila utilizando solamente recursos propios*, y aún estas empresas desarrollan sus motores civiles, cuando les resulta posible, como derivados de motores militares, desarrollos de estos últimos que, como es sabido, costean las Fuerzas Armadas.

Tal fue el caso, por ejemplo, de la familia de motores General Electric CF-6, para cuyo desarrollo se utilizó el generador de gas** del motor TF-39 proyectado y fabricado para el transporte militar C-5 "Galaxy". Compitiendo con este motor para el atractivo mercado de los grandes aviones de fuselaje ancho; Pratt and Whitney y Rolls-Royce desarrollaron motores totalmente de nuevo diseño: el JT9-D y el RB-211. Precisa-

mente, el desarrollo de este excelente turbofán trije le costó a la Rolls-Royce su nacionalización en 1971.

A partir de la década de los 70, existe una fuerte tendencia de desarrollar motores civiles y militares mediante la formación de consorcios multinacionales. Estos consorcios funcionan mediante programas cooperativos que, además de distribuir el riesgo, aseguran el mercado. En el Cuadro 1 se indican algunos de los principales programas cooperativos existentes en la actualidad.

5. El mercado de motores. Situación europea

Hasta ahora se han comentado las dificultades y el elevado coste que implican el desarrollo y la producción de motores, pero ningún país con importantes flotas aéreas, civiles y militares, y con significativa capacidad industrial prescinde de fabricar, al menos parcialmente, sus motores de aviación.

Ello se debe, obviamente, al elevado coste de este producto, con un mercado mundial que alcanza cifras extraordinariamente elevadas (Cuadro 2). Además, aunque el coste de los motores suele ser del orden del 25% del coste del avión, sus revisiones son más frecuentes, y en ellas el coste de las piezas es más elevado que la mano de obra, contrariamente a lo que acontece en un avión. Por ello, al cabo de los 20 ó 30 años de vida de un avión, el coste de sus motores y repuestos puede llegar a alcanzar cifras que, en algunos casos, se aproximan al costo del avión.

Por otra parte, aunque la fabricación de

* General Electric, Pratt and Whitney y Rolls-Royce.

** Grupo compresor-turbina de alta y cámara de combustión. Para los motores CF-6 este generador de gas fue ligeramente modificado.

DESARROLLO Y PRODUCCION DE MOTORES DE REACCION. PERSPECTIVAS NACIONALES

CUADRO 1
PROGRAMAS COOPERATIVOS MULTINACIONALES

Empresas y países	Motores
Rolls-Royce (UK), MTU (Alemania), Fiat (Italia).	RB-199
General Electric (USA), SNECMA (Francia).	CFM-56
Rolls-Royce, IHI (Japón), Kawasaki (Japón), Mitsubishi (Japón).	RJ-500
MTU, Turbomeca (Francia).	MTM-380-385
Rolls-Royce, Allison (USA).	TF-41 (Spey RB-168-62)
Rolls-Royce, Turbomeca	Adour MK (Varias versiones) Adour RTM.
Pratt and Whitney (USA), MTU, Fiat.	PW 2037
SNECMA, MTU, Turbomeca, KHD (Holanda).	Larzac 04
Garret (USA), Volvo Flygmotor (Suecia).	TFE-1042 (Varias versiones).
FN Herstal (Belgica), Philips (Holanda) Kongsberg (Noruega).	PW-F-100
Pratt and Whitney, Rolls-Royce, MTU, Fiat y JAE (Japan Aeroengines Group).	V-2500

CUADRO 2
VENTAS DE MOTORES DE REACCION (USA Y EUROPA OCCIDENTAL)

	Ventas, \$ USA x 10⁶		
	1960	1970	1982
Aviación general	60	120	650
Aviación comercial	260	550	3.550
Aviación militar	1.700	2.500	4.050
TOTALES	2.020	3.170	8.250

motores de reacción utiliza métodos de las más avanzadas tecnologías para su fabricación tales como la pulvimetalurgia bajo hiperpresión o la fundición de álabes de turbina monocristales en instalaciones robóticas, por citar unos

ejemplos, una gran parte de la fabricación del motor se limita a operaciones de mecanizado, soldadura, acabado, montaje y pruebas que, en conjunto, pueden representar del 30 al 40% del coste del motor, incluyendo en este úl-

timo la amortización de los costes de desarrollo, costes generales de la empresa diseñadora del mismo, y gastos de licencia.

Ello hace posible que junto a las empresas de motores de primera fila, coexistan otras más modestas, pero que contribuyen sustancialmente a la fabricación y desarrollo de motores.

Algunas de estas empresas simplemente fabrican componentes bajo licencia como, por ejemplo, el consorcio que fabrica el F-100 para los aviones de la NATO F-16 (Cuadro 1). Otras empresas participan también en el desarrollo de motores, no solamente las más importantes como SNECMA o MTU, que incluso realizan diseños propios*, sino otras con medios más reducidos, como la FIAT y VOLVO Flygmotor, generalmente participando en programas cooperativos.

Se muestra en el Cuadro 3, que aún sin contar los cuatro principales países europeos en industria aeronáutica, (la URSS, Reino Unido, Francia y Alemania), que en conjunto cuentan con 13 fábricas de motores de reacción, los demás países europeos disponen de 19 empresas que realizan importantes contribuciones en el diseño y fabricación de motores de aviación.

Puede también comprobarse que la casi totalidad de los países europeos fabrican motores de aviación, con la excepción de países de escaso nivel industrial, o países muy pequeños o con reducidas flotas aéreas.

6. Situación española

España cuenta con una importante flota aérea en relación con su Producto

* En este sentido destaca la empresa **TURBOMECA**, que se ha especializado en el desarrollo de motores pequeños.

**DESARROLLO Y PRODUCCION DE
MOTORES DE REACCION.
PERSPECTIVAS NACIONALES**

**CUADRO 3
EMPRESAS DE PAISES EUROPEOS (NO SE INCLUYEN LA URRS, UK,
FRANCIA Y ALEMANIA), QUE PRODUCEN MOTORES DE AVIACION***

País	Empresa	Motores**
ITALIA	FIAT	RB-199 (TR, 1, 2, 3); PW-2037 (TR, 1, 2, 3); GE-CF6 (TR-3); GE-T64 P4D (TH, 3); GE-J79-19 (TR, 3); PR-VIPER 600 (TR, 3) GE-J85-13 (TR, 3) (Colaboración ALFA ROMEO)
ITALIA	ALFA ROMEO	GE-J85-13 (TR, 3); RB-318 (pequeña turbina de gas, diseño propio); GE-J79, 19, 11B, 17 y 1K (TR, 3); GE-CF6 (TR, 3); GE-T64-P4D (TH, 3); RB-199 (TR, 3); RR-GNOME H-1010, 1200 y 1400 (TE,3); RR GEME (TE, 3) PW JT8-D (TR, 3); PW PT6-T (TH) montaje.
ITALIA	PIAGGIO	RR VIPER 11,526,540 y 623-43 (TR-3); AVCO LYCOMING T53-L-13 y T55-L-11 (TE, 3); RR GEME (TE,3); RR SPEY 807 (TR, 3)
BELGICA	FN HERSTAL	PW F-100 (TR, 1, 3); RR TYNE (TH, 3); SNECMA ATAR (TR, 3); GE-J79 (TR, 3); GE-J79 (TR, 3); CFM-56 (TR, 3); PW JT8-D (TR, 3); FN-BOEING (Turbina de gas para carros de combate 1, 2, 3).
SUECIA	VOLVO-FLYGMOTOR	TFE 731-5 (TR, 1, 2, 3); TPE 331-14,15 (TH, 1, 2, 3); CF6-80 (TR, 3); F-404J
HOLANDA	KHD	Larzac 04 (TR, 3)
HOLANDA	PHILIPS	PW F-100 (TR, 3)
NORUEGA	KONSBERG	PW F-100 (TR, 3)
FINLANDIA	VALMET	RR-Spey (TR, 3); M-601 (MA, 2, 3)
GRECIA	HELLENIC AEROSPACE	SNECMA ATAR (TR, 3), montaje y mantenimiento varios motores). (Componentes electrónicos del PW F-100)
DINAMARCA		
POLONIA	BORZECKI	JB-2 (MA, diseño propio)
POLONIA	INSTITUT LOTWICTNA	IL SO-1 y SO-3 (MA, diseños propios)
POLONIA	JANOWSKI	Saturh 500 (MA, diseño propio)
POLONIA	WSK-DZL-KALISZ	PZL, A-1 14R, 14RD y 14RL (MA, licencias soviéticas); PZL- 10W (TR,3); PZL GTD (TR, 3); ASZ y PZL (MA, seis tipos).

Interior Bruto. Iberia es una gran compañía aérea a nivel europeo; la segunda** algunos años en número de pasajeros y la cuarta o quinta en pasajeros/km. A su vez, las flotas aéreas de los tres Ejércitos ocupan, en conjunto, un lugar no secundario entre las de los países de la NATO; con un valor total conjunto de las flotas, comercial y militar que supera el billón de pesetas.

Como consecuencia de ello, el mercado aeronáutico es de una gran importancia en nuestro país, con unas cifras anuales medias de compras del orden de los 150.000-200.000 millones de pesetas.

La mayor parte de estas compras son de importación. El Cuadro 4 muestra que según datos de ATECMA, la facturación nacional de productos aeronáuticos ascendió en 1981 a unos 27.000 millones de pesetas, de la que el 63% se dedicó a la exportación. Esta cifra se debió fundamentalmente a las exportaciones de los aviones diseñados y fabricados por CASA, y es digna de todo encomio e inusitada en el contexto de los productos nacionales de alta tecnología.

En dicho Cuadro 4 puede también comprobarse que la producción aeronáutica española es muy baja en relación con su Producto Interior Bruto, en comparación con la media de los Países del Mercado Común.

En el campo de los motores la situación española es muchísimo peor y por completo anómala en el contexto europeo, ya que se reduce al mantenimiento de los motores civiles y militares, y aun esto no totalmente.

Las cifras medias de compras de motores de aviación y repuestos en los próximos años, se estima que serán próximas a los 50.000 millones de pesetas anuales, que habrá que importar en su total.

** No se incluye Aeroflot.

DESARROLLO Y PRODUCCION DE MOTORES DE REACCION. PERSPECTIVAS NACIONALES

EMPRESAS DE PAISES EUROPEOS (NO SE INCLUYEN LA URRS, UK, FRANCIA Y ALEMANIA), QUE PRODUCEN MOTORES DE AVIACION*

País	Empresa	Motores**
CHECOSLOVAQUIA	AVIA NARODNI PODNIK	AVIA M-137 y M-337 (MA, diseños propios)
CHECOSLOVAQUIA	MOTORLET	RD-45 (TR, 3 soviético); WALTER M-601 B (MA, diseño propio)
RUMANIA	TURBOMECA-ICA	RR-Spey (TR, 3); RR, Viper (TR, 3 Turbomeca TURMO IVC (TH-3))
YUGOSLAVIA		RR Spey (TR, 3)

* 1 Programa Cooperativo; 2 Participación en diseño; 3 Fabricación.

** TR, Turborreactor; TH, Turboélice; TE, Turboeje; MA, motor alternativo.

CUADRO 4

FACTURACION NACIONAL DE PRODUCTOS AERONAUTICOS*

FACTURACION TOTAL (millones de pesetas)	26.938,6
MERCADO NACIONAL (millones de pesetas)	10.010,3
EXPORTACIONES (millones de pesetas)	16.928,3
% PRODUCTO INTERIOR BRUTO	0,15
% PRODUCTO INTERIOR BRUTO (MEDIA DE LOS PAISES DEL MERCADO COMUN).	0,87

* Datos de ATECMA, 1981.

lidad. Esta situación no solamente es perjudicial bajo el punto de vista económico, sino que también estratégicamente es desventajosa al tener que depender totalmente del extranjero para la adquisición de repuestos para los motores militares.

De acuerdo con lo expuesto, esta situación no tiene parangón en Europa, y no parece justificada técnica ni económicamente, y más aún en un país que ha mostrado en el campo de la aeronáutica una capacidad poco común de diseño y hasta de exportación, y que incluso tiene una excelente historia en el campo de los motores de aviación.

En efecto, en la España de los años 50 se volaba con motores alternativos diseñados y fabricados totalmente en España, en una época en la que la fabricación de motores de automoción aún no se había iniciado. A finales de dicha década, se llegó a nacionalizar hasta cerca del 50% de la fabricación de los turborreactores Turbomeca Marboré II, y se llegaron a proyectar, fabricar y ensayar en banco dos turborreactores INI-11 de 15.000 N de empuje. Diversas circunstancias y una posible falta de previsión llevaron a abandonar todos estos logros y reducir la industria del motor a su mínimo actual.

Ha existido una cierta creencia de que el motor es un producto de alta tecnología reservado para países industriales de primera fila. Se ha procurado en estas líneas demostrar lo contrario, siempre que no se aspire a desarrollar por completo motores de primera fila, sino participar en su desarrollo, o simplemente en su fabricación. También se ha argumentado que nuestro mercado es disperso, con muchos tipos de aeronaves y motores, lo que dificulta nacionalizar su fabricación. Es cierto que si se compran 8 ó 10 aviones o helicópteros, por ejemplo, sería por completo antieconómico tratar de fabricar el 50% de sus motores; pero lo que sí resulta factible es fabricar un 50% del coste de dichos motores fabricando un reducido número de piezas para un número considerablemente mayor de motores; lo que es práctica usual y puede conseguirse utilizando la competencia que siempre existe.

En el momento actual existen una serie de circunstancias que pueden considerarse excepcionales para el desarrollo de una empresa nacional de motores.

Por un lado quedan aún pendientes compensaciones del programa FACA; y se está iniciando el programa de European Fighter Aircraft (EFA), avión de combate que proyectan desarrollar un consorcio de países*, en el que participa España con un 10%. Este programa incluye también el desarrollo de los motores del avión, de tipo turbofan con post-combustión, de avanzada tecnología. Esta es una circunstancia única de participar en el desarrollo de un motor desde sus comienzos, que permitirá

* Inglaterra, Francia, Alemania, Italia, España y posiblemente Holanda. Se ha formado también recientemente el Consorcio multinacional Internacional Aeroengines, para el desarrollo del turborreactor V-2500 (Cuadro 1) para aviones de 150 asientos, y en el que España podría participar.

Reacción para los motores

DESARROLLO Y PRODUCCION DE MOTORES DE REACCION. PERSPECTIVAS NACIONALES

el desarrollo gradual de tecnología y la formación simultánea de técnicos especializados; junto con un mercado garantizado para nuestro país de participar en la fabricación de posiblemente más de dos mil motores.

A las anteriores circunstancias hay que añadir la próxima renovación de las flotas de Iberia y Aviaco y de parte de la

de las Fuerzas Aéreas, con un total de compras que se estiman en unos seiscientos mil millones de pesetas. Con todo ello resulta que el mercado nacional de motores previsto para los próximos años se estima en la citada cifra de unos 50 mil millones de pesetas anuales.

Se insiste en que las circunstancias actuales son excepcionalmente propicias

para la creación de una empresa de motores de aviación. Esta empresa llenaría el más importante hueco que presenta en la actualidad la industria aeronáutica española; reduciendo la fuerte sangría en divisas que cuestan los motores de aviación y reduciendo la dependencia tecnológica de nuestro país en un área tan vital para la industria y para la Defensa.



*Carlos Sánchez Tarifa
Catedrático de Propulsión por
Reacción Aérea y Espacial.
Director de la E. T.S.
Ing. Aeronáuticos*

