

Aeronaves de entrenamiento: *consideraciones* operativas y técnicas

MARCOS BAQUERO PARDO
Comandante del Ejército del Aire



T-6B II Texan de la United States Navy en formación. (Imagen: US Navy)

En los últimos años está teniendo lugar en el mundo aeronáutico militar un proceso de reducción de flotas de aeronaves con el fin de mantener los niveles de operatividad de los ejércitos frente a la convergencia de tecnologías cada vez más complejas y una financiación presupuestaria a menudo no creciente. La formación de los pilotos militares requiere de varias flotas de aeronaves, con lo que las posibilidades de optimizar los recursos son mayores.

Desde la perspectiva de los ensayos en vuelo, se va a analizar la experiencia de varios países de nuestro entorno

y la del Ejército del Aire, así como la importancia de dos parámetros representativos de las actuaciones y las cualidades de vuelo en las aeronaves de entrenamiento. Los sistemas a bordo de la aeronave y de simulación, los costes de adquisición y de mantenimiento y los eventuales intereses industriales nacionales quedan fuera de este estudio por razones de extensión, aunque naturalmente son parte fundamental del proceso de decisión. A modo de división de las fases del entrenamiento, se adopta la convención de términos de entrenamiento de vuelo elemental, básico y avanzado.

LA FORMACIÓN EN ENSAYOS EN VUELO

El personal del Grupo de Ensayos en Vuelo del CLAEX se forma en tres centros: EPNER (Ecole du Personnel Navigant d'Essais et de Réception), USNTPS (United States Naval Test Pilot School) y la Universidad Politécnica de Madrid. En estas escuelas de ensayos existen varias modalidades académicas: cursos de aviones y de helicópteros y, dentro de cada una, cursos de piloto e ingeniero. En EPNER, se imparten además los cursos de ensayos de mecánico de vuelo

ELEMENTAL	BÁSICA	AVANZADA-CAZA Y ATAQUE
Transición*	Transición*	Transición*
Formaciones	Formaciones	Formaciones
	Instrumentos básicos	Instrumentos
	Radioayudas	Formaciones tácticas
	Baja cota (aptos Ala 23)	Aire-aire
		Aire-suelo

Fases de entrenamiento aeronáutico militar (*tráficos y acrobacia)

y de controlador, constituyendo ambas especialidades una singularidad francesa. La experiencia en diversas aeronaves de entrenamiento del personal de ensayos es amplia. El Ejército del Aire cuenta además con intercambios internacionales que permiten recabar información sobre otras aeronaves de entrenamiento.

La instrucción en las escuelas de ensayos se estructura en tres bloques: actuaciones o *performances*, cualidades de vuelo y sistemas. Las prácticas de ensayo se desarrollan en el contexto de

una misión principal y, a menudo, de una secundaria; en este caso, un avión de entrenamiento se debe a la instrucción como cometido prioritario y puede contar con otros adicionales.

LAS AERONAVES DE ENTRENAMIENTO EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL

En las últimas décadas se ha producido una mejora de la fiabilidad de los motores que se ha traducido en la adquisición de aeronaves de

entrenamiento monomotor turbohélice por parte de numerosos países. Este ha sido el caso de la Fuerza Aérea y la Marina estadounidenses con el T-6 Texan II y, recientemente, el caso de Francia con el Pilatus PC-21.

El T-6B Texan II de la US Navy es la aeronave Pilatus PC-9 construida en Estados Unidos bajo licencia, con una aviónica mejorada. Este monomotor turbohélice de 1100 hp (*horse power*) dispone de asiento eyectable, presurización, suministro de oxígeno por máscara, sistema anti-g y HUD (*head-up display*). En él se desarrolla la instrucción básica en Estados Unidos, y precede al T-38 en la USAF (birreactor supersónico de entrenamiento similar al AE.9 sin puntos de carga) y al T-45 en la US Navy (monorreactor con capacidad de apontaje). Con el objetivo de evitar la instrucción directamente en un avión de características tan avanzadas como el T-6B, los alumnos estadounidenses realizan unas veinte horas de vuelo en aeronaves ligeras civiles. Debido a la complejidad del T-6B para el alumno debutante, el



PC-21 de l'Armée de l'Air. (Imagen: Pilatus Aircraft Limited)

HUD está dejando de ser mantenido y la aviónica se encuentra infrautilizada por su exceso de información. El Texan II sustituyó hace más de diez años al T-34C (monomotor a pistón) de la US Navy y al T-37B de la USAF

paulatinamente debido a las limitaciones del PC-21 como entrenador de caza y ataque, y se prevé mantener una flota reducida de Alphajet para una fase final avanzada hasta finales de la próxima década, reduciendo así el sal-

tentativa norteamericana ha derivado hacia la formación elemental inicial en un avión ligero con instrucción externalizada, un turbohélice para el entrenamiento elemental y básico y un avión monorreactor para el entrenamiento de combate. En el caso francés, la instrucción en el vuelo sin motor resulta interesante, teniendo en cuenta que el EA abandonó esta actividad previa en el año 2004. El PC-21 no proporciona el entrenamiento adecuado a los pilotos de caza a alta velocidad y alta cota, razón por la cual una flota de Alphajet deberá preservarse para la etapa final de la formación, sin que exista un sustituto previsto. No obstante, el elemento común a Francia, Estados Unidos y Reino Unido es que existen actualmente dos flotas de aviones de hélice –motores de pistón y turbohélice– y, en la especialidad de caza y ataque, una última flota de aviones a reacción, ya sea monomotor o bimotor. El entrenador básico italiano cuenta con motor a reacción.

Tras el análisis de todas las opciones, debe instruirse a los pilotos mili-



Imagen conceptual del FCAS. (Imagen: Airbus)

(bimotor a reacción). Por otro lado, el T-38 de la USAF será reemplazado en un lustro por el T-X, que es un caza monorreactor con actuaciones, cualidades de vuelo (mandos *flight by wire*) y sistemas superiores, capaz de asumir algunas misiones operativas.

En l'Armée de l'Air de Francia, el entrenamiento de los pilotos oficiales de carrera comienza en su Academia del Aire con planeadores y el SR-22 Cirrus. La instrucción en planeador permite adquirir los fundamentos de vuelo de manera progresiva al evitar la gestión del motor; el SR-22 es un monomotor a pistón con palanca de mandos lateral y asientos lado a lado, que podría acabar siendo sustituida a corto plazo por una aeronave similar. Posteriormente, todos los pilotos, excepto los de helicópteros, reciben la formación instrumental en el monomotor Grob G120A. A continuación, aquellos que cursan la especialidad de caza y ataque son instruidos en el TB-30 Epsilon, que asumió con limitaciones los cometidos del Tucano. Finalmente, realizan la fase avanzada en Alphajet. Con la llegada del PC-21 se van a retirar el Grob G120A y el TB-30. Inicialmente, se había planteado sustituir también el Alphajet para mantener solamente dos flotas (SR-22 y PC-21). Sin embargo, la posición del Ejército del Aire francés ha cambiado

to existente entre el PC-21 y el Rafale o el Mirage 2000. Como se observa, el sistema francés de instrucción ha cambiado sus flotas frecuentemente.



E.25 del Ejército del Aire. (Imagen: Javier Bravo Muñoz)

En la Royal Air Force, los pilotos realizan su formación en Grob G115, Tucano y Hawk. En cuanto a los pilotos de la Aeronautica Militare, una parte importante se forma en Estados Unidos, y aquellos que la cursan en Italia se sirven de SF-260, MB339 CD y M346.

De acuerdo con la experiencia de Francia y Estados Unidos, la tendencia internacional a reducir la instrucción de vuelo de los pilotos de caza a dos flotas de aeronaves se revela complicada de implementar. Por un lado, la

tares en, al menos, un avión de hélice monomotor antes de ser enviados a la fase de especialización. Sin embargo, en el caso de tratarse de un turbohélice, resulta deseable que sus *performances* no sean muy elevadas o que sea precedido de una aeronave ligera de motor a pistón, puesto que sus actuaciones se adaptan mejor al alumno debutante. En cuanto a la especialización, un monomotor es capaz de reemplazar a un bimotor por su mejora tecnológica y por su coste.



Tucano de la Royal Air Force. (Imagen: Jetphotos)

EL CASO ESPAÑOL PARTICULARIZADO A LA ESPECIALIZACIÓN DE CAZA Y ATAQUE

El Ejército del Aire instruye a sus tripulaciones en T-35 Pillán (E.26) y C-101 (E.25) en las escuelas Elemental y Básica. La fase avanzada se desarrolla en F-5M (AE.9), CN-235 (T.19B) y EC-120 (HE.25) y S-76 (HE.24) en las escuelas respectivas. Ante la necesidad a corto plazo de sustituir el E.25 en el Ejército del Aire, y a medio plazo el AE.9, las aeronaves que los sustituyan deberán reunir una serie de características para mejorar el sistema de formación de los pilotos. A la vista de los más de 30 años de servicio de los entrenadores actuales, las futuras aeronaves podrían estar en servicio durante la vida operativa completa del C.16 (Eurofighter) y probablemente del segmento pilotado del FCAS (Future Combat Air System).

Actualmente, el Ejército del Aire cuenta con un sistema de tres flotas con numerosas virtudes pero también con algunas áreas de mejora. El E.26 es un monomotor a pistón con una potencia de 300 hp que lo sitúa entre las aeronaves ligeras civiles y las aeronaves turbohélice actuales, lo que le permite abordar la instrucción en vuelo acrobático y en formación cerrada; sin embargo, sus cualidades de vuelo dificultan el aprendizaje inicial: el par motor de la hélice genera movimientos no deseados en los tres ejes, y la

utilización de los pedales es constante, lo que detrae la atención de otros parámetros de vuelo.

El E.25 es una aeronave mono reactor de *performances* no muy elevadas y unas cualidades de vuelo sin defectos destacables, lo que permite un salto gradual desde el E.26 a una aeronave que requiere de pantalón anti-g y máscara de oxígeno. Sin embargo, cuenta



Hispano Aviación HA-1112 (Messerschmitt Bf-109) del Museo del Aire de Cuatro Vientos

con una aviónica obsoleta, su motor a reacción no está adaptado a las necesidades de los futuros pilotos de transporte y helicópteros, y esas mismas *performances* reducidas lo penalizan en sus cometidos secundarios: Patrulla Águila, GRUEMA y CLAEX.

Por último, el AE.9 cuenta con dos motores con postcombustión que le permiten moverse con agilidad a alta

cota y alta velocidad, lo que da lugar a una transición adecuada al C.15 y al C.16. Por el contrario, requiere de velocidades de combate y de aterrizaje elevadas que son consecuencia principalmente de sus cualidades de vuelo, y el tiempo de misión es limitado debido al combustible disponible a bordo en configuraciones de combate.

DOS PARÁMETROS REPRESENTATIVOS DE PERFORMANCES Y DE CUALIDADES DE VUELO

A continuación, se propone un ejercicio comparativo que podría ayudar a abordar una solución genérica para las aeronaves de entrenamiento. Retomando los tres bloques enunciados sobre la instrucción en los ensayos en vuelo del primer epígrafe, se han elegido dos parámetros cuantificables ligados que permiten evaluar las actuaciones y las cualidades de vuelo de una aeronave: el viraje sostenido y el viraje instantáneo. Gráficamente se traduce en el diagrama de energía-maniobra que suele estar presente en los capítulos de *performances* de las aeronaves de gran envolvente.

ronaves de gran envolvente.

Viraje sostenido: es el régimen de viraje constante ($^{\circ}/s$) que una aeronave es capaz de proporcionar a una altitud y temperatura determinadas en una configuración dada (limpio, con tanques, bombas, misiles, régimen de motor, etc.). El régimen de viraje estará asociado a un factor de carga (múltiplos de g) y a un radio de

viraje. A cada velocidad en las citadas condiciones corresponderá un régimen de viraje, que será máximo en algún punto o área de la envolvente. El factor determinante de la aeronave será la motorización, de tal modo que una potencia elevada dará lugar a un factor de carga superior que, a su vez generará un régimen de viraje más rápido y, con una aerodinámica adaptada, virará

en un radio menor. Un régimen de viraje elevado permite maniobrar más rápidamente la aeronave durante los virajes a baja o media cota en aire-suelo y en virajes a alta cota en aire-aire. En el caso de aeronaves de transporte, permitirá definir los virajes de las rutas tácticas de lanzamiento. A un régimen de viraje nulo (vuelo rectilíneo a nivel), se podrá leer la velocidad máxi-

superficie alar, *flaps* de combate, *slats*, etc.), aunque debe decirse que en el caso de ángulos de ataque elevados ($>20^\circ$), la contribución de los motores puede ser superior al 10 % del factor de carga máximo. El interés del viraje instantáneo se basa en las reacciones defensivas en combate de cualquier tipo de aeronave de ala fija, pues debería permitir aumentar notablemente

general, el piloto deberá volar a una velocidad superior o próxima a la de *corner speed* para poder explotar el viraje máximo instantáneo en caso de necesidad. Por consiguiente, virajes sostenido e instantáneo se encuentran inevitablemente vinculados debido a sus implicaciones para la misión y a la conjunción entre aerodinámica y motorización.



Dos T-X de Saab-Boeing. (Imagen: Boeing)

ma de la aeronave. A baja velocidad (pérdida), una aerodinámica sin la adecuada hipersustentación para el aterrizaje aumentará el régimen de viraje y la velocidad de aproximación y, por consiguiente, la distancia en la toma.

Viraje instantáneo: es el régimen de viraje puntual más rápido que se puede alcanzar a una velocidad con una aeronave a una altitud y en una configuración dada. El factor determinante es la aerodinámica de la aeronave (forma y

el régimen de viraje sostenido. El viraje instantáneo máximo se denomina también *corner speed* o velocidad de esquina, pues es la intersección de las curvas de velocidad de pérdida y de factor de carga máximo en viraje (límite estructural). Con el fin de no alcanzar la pérdida o sobrepasar el factor de carga máximo, el piloto tendrá en cuenta el aviso de pérdida, de factor de carga y, en ciertos casos, el *buffeting* natural de la aeronave. De manera

Los diagramas de energía-maniobra varían sustancialmente entre las aeronaves de hélice y las de reacción. En el primer gráfico se observa el diagrama del emblemático Messerschmitt Bf-109, que es homologable al de un entrenador turbohélice genérico actual. A 140 kt se genera su viraje máximo sostenido de 15 %/s, que da lugar a un viraje a 2 g y 700 pies (*feet*, ft) de radio. Las aeronaves de hélice tienden a proporcionar el máximo régimen de viraje a baja velocidad dado que la entrega de potencia es casi constante. Las consecuencias son las siguientes:

- El factor de carga sostenido es relativamente bajo ($< 3 g$), lo que permite prescindir de pantalón anti-g y, por tanto, del sistema neumático asociado a bordo.

- El radio de viraje suele ser inferior a 1000 ft, lo que atenta contra la regla de la burbuja de seguridad de 1000 ft (500 ft de radio o 160 m) en el entrenamiento de combate aire-aire visual. Otra limitación de seguridad adoptada es el mantenimiento de una altura de al menos 10000 ft.



AE.9 del Ejército del Aire. (Imagen: Ejército del Aire)



Alphajet de l'Armée de l'Air. (Imagen: Dassault Aviation)

– En cuanto a las cualidades de vuelo, las aeronaves están diseñadas estructuralmente para soportar alrededor de 6 g, lo que se encuentra muy alejado de los 2-3 g sostenidos.

– A la velocidad de viraje máximo sostenido, la aeronave se encuentra próxima al límite de la pérdida, por lo que aparecen fenómenos aerodinámicos no deseables que se agravan por el par giroscópico de la hélice: *buffeting*, sacudidas en los tres ejes aerodinámicos, gestión imprecisa de la trayectoria y proximidad a la barrena con motor.

– La velocidad de esquina es 250 kt a 6,5 g; al ser un muy superior a la velocidad de viraje máximo sostenido, esta velocidad de esquina se convierte en inutilizable en la práctica.

Por todo ello, las aeronaves de hélice, incluso con una motorización elevada o una aerodinámica más adaptada, no están adaptadas para la misión de entrenamiento de caza y ataque, lo que constata la experiencia francesa con el PC-21. Además, podría afirmarse que un turbohélice podría no ser la aeronave idónea para comenzar la instrucción de vuelo, puesto que una potencia elevada podrá dar lugar a variaciones rápidas de la actitud, velocidad y factor de carga del avión que sobrepasen la capacidad de adaptación inicial del alumno, lo que explica la experiencia estadounidense con el T-6 Texan II. Sin embargo, un turbohélice se adapta perfectamente al vuelo acrobático y al vuelo militar en

formación. Con los sistemas a bordo adecuados, también podría realizar el vuelo instrumental y algunas misiones de entrenamiento caza y ataque de manera limitada.

A continuación, se propone el diagrama del MiG-21, que podría ser homologable al de un avión de entrenamiento moderno de caza, y la primera característica a destacar es su mayor envolvente (alta cota y alta velocidad), pudiendo alcanzar el régimen

supersónico. Su viraje máximo sostenido es de 12,5 °/s a 5000 ft, 0,8 mach y 6,5 g, y su radio de viraje es de 3000 ft, adecuado para el mantenimiento del contacto visual. La velocidad de esquina es 0,6 mach –inferior a la de viraje máximo sostenido–, generando 20 °/s y apenas 7 g. El empuje de los motores suele estar optimizado a las velocidades operativas de las aeronaves en su cometido principal. Una entrada de aire amplia, una posición baja respecto al fuselaje y ciertas superficies móviles ayudan particularmente en baja velocidad. En el extremo opuesto, la tobera de geometría variable es eficaz en los cambios de régimen de motor y especialmente en postcombustión, permitiendo en este caso evolucionar en el plano vertical.

El E.25 genera 9 °/s a 220 kt y 2,3 g, y su viraje máximo instantáneo es de apenas 10 °/s a 300 kt, es decir, la plataforma no está adaptada en ningún caso para el entrenamiento avanzado. El AE.9, como el F-5A, vira también a unos 10 °/s pero a unos 400 kt y 4 g en configuraciones ligeras, con un radio de viraje superior a los 3000 ft, lo que lo convierte en un avión poco adaptado para el combate visual aire-aire. En esta misión específica, el Alphajet genera regímenes de viraje similares, aunque a velocidades más próximas a

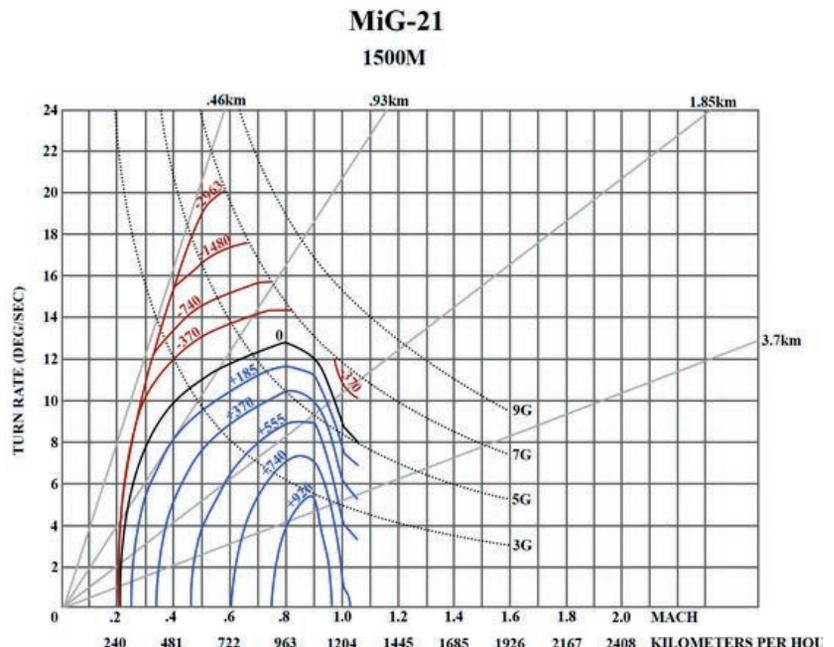


Diagrama de energía-maniobra del MiG-21 a 5000 ft

los 300 kt y por tanto a un radio menor, lo cual es más apropiado para el combate; por contra, la velocidad de esquina es superior, lo que revela una aerodinámica no adaptada a una motorización elevada.

Algunos aviones entrenadores modernos aseguran proporcionar más de 5 g sostenidos; a velocidades próximas a los 350 kt, los regímenes de viraje sostenido e instantáneo deberían estar

La necesidad de una aeronave supersónica de entrenamiento es cuestionable, pues este adiestramiento corresponde a las unidades de caza.

Como resumen, las aeronaves turbohélice no se encuentran completamente adaptadas al entrenamiento de caza y ataque ni al inicio de la instrucción de vuelo si cuentan con *performances* elevadas. Sin embargo, un turbohélice con los sistemas a bordo puede abarcar

de viraje próximos a 10 %/s sostenidos y a 15 %/s instantáneos a velocidades en torno a 350 kt. Cualquiera que sea la solución adoptada requerirá de una revisión de los planes de instrucción de las tres fases de instrucción.

CONCLUSIONES

La tentativa internacional de reducir la instrucción de vuelo militar a dos flotas de aeronaves se revela complicada de implementar. El elemento común en Francia, Estados Unidos o Reino Unido es que existen dos flotas de aviones de hélice y, en la especialidad de caza y ataque, una tercera flota de aviones a reacción. En el caso de España, es deseable que la instrucción elemental inicial sea desarrollada fundamentalmente en una aeronave ligera con *performances* no muy elevadas, para facilitar la adaptación del alumno debutante. Seguidamente, un monomotor turbohélice podría abarcar desde la fase elemental de formaciones a la mayor parte de la fase básica, no siendo idóneo para comenzar la instrucción elemental de vuelo ni para el entrenamiento completo de caza y ataque. En la especialidad de caza y ataque, un entrenador avanzado debería permitir una transición más rápida hacia los aviones de combate actuales y del futuro. Tras el análisis de los diagramas de energía-maniobra, un elevado régimen de viraje sostenido a velocidades no muy elevadas unido a un viraje máximo instantáneo cercano a la velocidad del sostenido son características representativas de un buen entrenador avanzado de caza. Su utilización adicional en alguna de las fases del entrenamiento básico podría mejorar la calidad de la instrucción. Por último, se recomienda que las soluciones adoptadas mantengan las virtudes del sistema actual de instrucción de pilotos del Ejército del Aire, compensen algunas de sus deficiencias y permitan asumir algunos cometidos secundarios de los entrenadores básicos y avanzados actuales: GRUEMA, Patrulla Águila, CLAEX y apoyo a las alas de combate. En cualquier caso será necesaria una revisión de los planes de instrucción elemental, básico y avanzado para optimizar el empleo de las nuevas aeronaves. ■



Hawk de la Royal Air Force. (Imagen: Tim Felce (Airwolfhound))



MB-339 de la Aeronautica Militare. (Imagen: Avionslegendaires.net)

adaptados para una transición sencilla hacia los aviones de combate del EA, e incluso servir para asumir algunos cometidos secundarios: Patrulla Águila, fase final del entrenamiento básico para ciertos alumnos, policía aérea en tiempo de paz, aire-suelo con munición guiada, ciertas misiones con escuadrones operativos, oponente para entrenamiento, aeronave de apoyo, etc.

una parte del entrenamiento elemental y fundamentalmente el básico. Un entrenador de caza avanzado podría abarcar una parte del entrenamiento básico para mejorar la instrucción, pero esencialmente el entrenamiento avanzado y potencialmente algunas misiones operativas. Un buen entrenador de caza y ataque debería proporcionar a 10000 ft unos regímenes