

La tecnología *stealth* en aviones tripulados

JAVIER SÁNCHEZ-HORNEROS PÉREZ

EL ORIGEN DEL ACTUAL CONCEPTO STEALTH. PYOTR UFIMTSEV Y LOS SKUNK WORKS

El año 1975 marcó un punto de inflexión para Lockheed. Por un lado, el fin de la Guerra de Vietnam, con la derrota de los Estados Unidos, supuso un severo recorte en el presupuesto de defensa. Por otro, la misma Lockheed afrontaba serios problemas: tanto el encontrarse cerca de la bancarrota, tras el intento de volver a introducirse en el mercado de aviación civil desarrollando el Tristar-L1011 en competición directa con el McDonnell Douglas DC-10, así como el enfrentarse a un escándalo

de sobornos a altas personalidades políticas internacionales, que tenían como objetivo animar a la compra de sus aviones. A este cúmulo de circunstancias se le añadió otro factor: “Mr. Lockheed” se jubilaba al cumplir los 65 años.

“Mr. Lockheed” no era otro que Clarence “Kelly” Johnson, cabeza de los Skunk Works desde su creación en 1943, la división secreta por entonces, de investigación y desarrollo de aviones “especiales” tales como el P-80, el U-2 y el SR-71. Como sucesor designó a Ben Rich, ingeniero especializado en termodinámica que se había incorporado a los Skunk Works en 1954 para resolver un problema con las toberas de admisión del U-2. Rich inició su

carrera al frente de los Skunk Works consiguiendo una actualización de los U-2 que suponía incorporar unos reactores de mayor empuje, una actualización de la aviónica (guerra electrónica), y radar de apertura sintética y con ello el cambio de designación oficial a TR-1. Sin embargo, Rich sabía que era necesario algo más, algo que permitiese a los Skunk Works recuperar su prestigio y que, además, obtuviese beneficios para Lockheed, justificando su propia existencia ante esta.

Hacia 1975 el desarrollo de los sistemas de alerta temprana (EW) y de la red de SAMs por parte del bloque soviético había alcanzado un máximo histórico, llegando a contabilizarse hasta 15 tipos diferentes. Los SAM



Arriba: U2 (USAF). Sobre estas líneas: D-21 sobre el Blackbird. (CIA, cerca de 1966).

mostraron su capacidad en 1973, durante la Guerra de Yom Kippur, en la que la IAF perdió 109 aviones en 18 días. Para analistas y miembros de la cúpula militar estadounidense, lo alarmante era que los pilotos israelíes volaban aviones americanos de última generación empleando sus mismas tácticas de evasión frente a un misil, tácticas que se demostraron inútiles. Para minimizar la capacidad de detección de esta red, se recurría a volar lo más bajo y rápido posible, enmascarándose con el terreno, aprovechándose del clutter generado; aviones como el F-111, utilizando un radar con modo TA *Terrain Avoidance* habían empleado esta técnica: des-

graciadamente, la misma emisión electromagnética generada les hacía visibles aproximadamente al doble de distancia que el alcance máximo que utilizaran en el mencionado modo TA.

Con estas perspectivas, un matemático y especialista en radar, Dennys Overholser, se presentó un 1 de abril de 1975 en el despacho de Rich, llevando consigo un documento que había sido recientemente traducido por la División Tecnológica Extranjera de la USAF, llamado “Método de ondas de borde en la teoría física de la difracción”, escrito por Pyotr Ufimtsev nueve años atrás. De un escrito de 40 pá-



DEL SR-71 AL F-117. PARÁMETROS DE DISEÑO

El cálculo de la RCS de un avión era una tarea realmente tediosa y frustrante para los diseñadores de aviones, algo que el propio Rich definió como un arte propio de la alquimia medieval: sólo para iniciados. Por entonces, el avión operativo con menor RCS del mundo era el SR-71 Blackbird, de valor similar a una avioneta Piper Cub, y el D-21, un dron no tripulado que había sido retirado del servicio tras 4 misiones por su baja tasa de éxito. El secreto del SR-71 era tanto su geometría como el ángulo formado por los estabilizadores horizontales. Sin embargo, ambos estaban clasificados como alto secreto: muy pocos conocían de su existencia fuera de la CIA o de la Junta de Jefes de Estado Mayor. Una vez que los Skunk Works, tras diversas reuniones y un concurso en materia de invisibilidad ganado frente a Northrop con un demostrador a escala llamado *Hopeless Diamond*, se hicieron con el contrato de desarrollo de dos aviones de ensayos basados en características stealth, el grado de confidencialidad aumentó hasta el nivel de “Alto Secreto: Necesario Acceso Especial”, clasificación sólo obtenida durante el desarrollo del Proyecto Manhattan.

Por definición, un avión de ensayos –entendiendo como tal lo que hoy se conoce como demostrador tecnológico– es un avión incompleto, con falta de empuje, aviónica básica y sistemas en desarrollo, con unos costes de desarrollo iniciales relativamente bajos. *Have Blue*, el embrión del futuro F-117, no fue una excepción: con los actuadores del F-111, el sistema de navegación inercial del B-52, un HUD basado en el del F-18 y el sistema de control de vuelo del F-16 (adaptado a las características del *Have Blue*), realizó su primer vuelo el 1 de diciembre de 1977. El resto es historia: las capacidades del F-117, el avión de serie, se hicieron patentes durante Tormenta del Desierto, en las que se bombardearon objetivos clave iraquíes sin perder ni un solo avión. Como anécdota, cabe destacar que en contra de la extendida corriente de pensamiento sobre la infalible invisibilidad demostrada durante

la guerra de Irak, un F-117 pilotado por el entonces Major Miles Pound sufrió el lanzamiento de un misil al quedar la bodega de armamento parcialmente abierta por un problema en la secuencia de cierre que hubo de solventarse manualmente; en el mismo instante del cierre la reducción instantánea de la RCS o sección transversal de radar provocó la pérdida del bloqueo por parte del misil.

Las características de esta primera generación de aviones stealth son las siguientes:

- Las ecuaciones de Ufimtsev, basadas en las Leyes de Maxwell, permiten calcular la RCS de una forma geométrica dada. Así, la RCS de un avión será la suma total de las RCS's de los diferentes contornos que le dan forma.

- En los años 1970, esta forma geométrica del avión hubo de “discretizarse”, esto es, utilizar formas bidimensionales, basadas en triángulos planos. Para cada punto del total de tres contenidos, se utilizan las ecuaciones de Ufimtsev para el cálculo de su RCS.

- El empleo de esta geometría aumentaba enormemente el valor de la resistencia generada en vuelo. Esta concesión a la aerodinámica hubo de hacerse, dada la imposibilidad de diseñar un avión stealth con formas más redondeadas en la década de 1970, por las limitaciones de cálculo y memoria de los ordenadores de la época.

- Aparición del concepto planform alignment, bajo el que se diseñan diferentes secciones del avión para que, al mirarlas desde una cierta posición, conserven o posean el mismo ángulo, maximizando la deflexión de las ondas radar.

- Los paneles de los que se compone el avión han de fabricarse con muy alta precisión, con tolerancias muy ajustadas, debiendo encajar perfectamente los unos con los otros, sin aristas o elementos sobresalientes. Un tornillo que sobresalía un octavo de pulgada hizo posible, durante uno de los vuelos de ensayo destinado a comprobar la firma radar, detectar el avión a 50 millas de distancia.

- Las toberas de admisión y de escape de los reactores han de tener una cierta geometría que impida la detección por parte del radar enemigo de

ginas definidas como “impenetrables” lo más revelador se encontraba al final del mismo: partiendo de las ecuaciones de John Maxwell Clark y refinadas por Arnold Johannes Sommerfeld, era posible predecir la forma en la que dada una determinada configuración geométrica de un cuerpo, la onda electromagnética que chocara con este sería reflejada en una trayectoria que podría ser prevista. Overholser no tardó mucho en darse cuenta que de esta forma, se podría calcular la sección transversal de radar o RCS de un avión durante el diseño del mismo, y no medirla posteriormente sobre un modelo a escala, desechando el método de ensayo-error que hasta entonces se había aplicado.

elementos tales como los álabes del motor, que aparecerán en pantalla como un contacto.

- El piloto y la cabina es cientos de veces más visible que el avión stealth. Es necesario emplear en la cúpula recubrimientos especiales que sean capaces de absorber o reflejar en todas las direcciones del espacio las emisiones electromagnéticas del enemigo. Estos materiales se denominan RAM Radar Absorbent Materials y se emplean también en aristas mal ajustadas en el fuselaje del avión.

- La disposición y forma de las antenas y sondas del avión han de seguir los mismos principios de diseño mencionados anteriormente.

- Con las consideraciones anteriores, se deduce que la RCS del avión no depende de su tamaño, sino de la propia geometría.

- Dado que geometría de diseño obliga a tomarse ciertas licencias aerodinámicas, el avión es inestable en los tres ejes. Por ello, se necesita por obligación un sistema *Fly-By-Wire*.

- El avión no puede tener sistemas de emisión activos, que aumentan la posibilidad de detección por parte del enemigo, empleando por ello sistemas de búsqueda y seguimiento de objetivos pasivos; en el caso del F-117, para el bombardeo táctico, este sistema se llama IRADS (*InfraRed Acquisition and Designation System* compuesto por el FLIR (*Forward Looking InfraRed*) y el DLIR (*Down Looking InfraRed*).

- El avión tampoco debe poder detectarse por emisiones infrarrojas, por lo que no cuenta con postquemador ni tiene capacidad supersónica.

- Para evitar ser detectado visualmente, el F-117 tiene especialmente diseñados los tips de las alas, evitando en la medida de lo posible la formación de estelas o contrails.

- Las toberas de escape amortiguan el ruido generado (detección sonora), requisito de diseño impuesto por Ben Rich.

DEL F-117 AL F-35. PARÁMETROS DE DISEÑO

A mediados de los años 1980, la USAF emite dos RFP o *Request For Proposal*: uno de ellos fue el ATF o caza táctico avanzado, que dio lugar



Imagen frontal de un F-117. En líneas discontinuas, se ilustra el concepto *planform alignment* en base a

al F-22, siendo el otro el ATB o bombardero de tecnología avanzada, que originó el B-2. Ambos programas, con objetivos y necesidades operativas completamente diferenciadas, tenían como característica clave y necesaria la aplicación del concepto *stealth* en su diseño. Gracias al aumento de las capacidades de los ordenadores de cálculo experimentado en los años 1980, ambos programas permitieron la incorporación de tecnología *stealth* de segunda generación, en la que los paneles y formas triangulares planas dieron paso a contornos curvos y más suavizados, en definitiva, a formas tridimensionales en donde la aerodinámica no sufriese una severa penalización, especialmente crítico en el caso del Programa ATF, que precisaba de la capacidad de desarrollar supercruceiro, o capacidad supersónica en vuelo recto y nivelado sin el empleo del postquemador.

Así, las características de un avión *stealth* actual pueden resumirse en los

siguientes puntos, que se añaden cuando aplican, a los vistos anteriormente:

- Los diseños se basan en lograr contornos suaves que maximicen las características aerodinámicas, pero con el objetivo de lograr una RCS más reducida que en el F-117, aplicando los mismos principios de diseño, esto es, por citar algunos, empleo del concepto *planform alignment*, verificándose la integración de las antenas y sondas del avión en el propio fuselaje.

- Empleo de materiales RAM de nueva generación en zonas clave del fuselaje, tal que en las zonas en las que se obtenga un valor más elevado de la RCS por motivos de diseño, la aplicación de este material permita reducirla.

- Incorporación de sistemas de diagnóstico propio de características *stealth*: El F-22 incorpora un sistema llamado SAS (*Signature Assessment System*) que monitoriza la cantidad de daños de la cubierta RAM, avisando cuándo el daño de esta se vuelve crítico para la supervivencia del avión.



a la forma geométrica del avión.

- Reducción de la emisión infrarroja (IR): El avance experimentado tanto por los sistemas IRST (*InfraRed Search and Tracking*) como por los sistemas de búsqueda de misiles guiados por infrarrojos durante los años 1980 hasta nuestros días permiten la detección de los “puntos calientes” de un avión (morro del radomo, bordes de ataque, bordes de las toberas de admisión, por citar algunos). Así, el B-2 Spirit utiliza un sistema avanzado de tratamiento de los gases de escape, de forma que se reduce drásticamente tanto la EGT (*Exhaust Gas Temperature*) como el ruido generado durante la normal operación. En el F-22 se disminuye la sección de salida de las toberas de vectorización, “camuflando” la emisión IR según el aspecto angular del atacante respecto del F-22.

- Evolución de la tecnología de búsqueda y seguimiento de objetivos: Para que un avión caza no sea detectado en un teatro hostil, se efectuará el seguimiento de los posibles obje-

vos de forma pasiva, mediante el empleo conjunto del *Datalink* y los sensores de detección pasivos del avión (RWR, IRST, DASS...) y llegado el caso, se encenderá el radar, que habrá de ser del tipo LPI (*Low Probability of Interception*), capaz de saltar rápidamente de frecuencia y de dirigir el haz en cuestión de nanosegundos consiguiendo un bloqueo sobre el/los blancos, preferiblemente en un modo TWS (*Track While Search*) avanzado, que minimice la posibilidad de que sea consciente de que está siendo seguido de forma continua. Este sistema de funcionamiento del radar se fundamenta tanto en el empleo de radares de tipo *doppler* de última generación como principalmente en el empleo de radares AESA, cuya entrada en servicio se hizo de la mano del F-22 y su AN/APG-77.

La presentación conjunta de datos de forma clara y ordenada para el piloto de objetivos detectados por los diferentes sensores tanto del avión propio

como de sus aliados es posible gracias a la aplicación del concepto “fusión de sistemas”, evolución del “sistema integrado” presente este último en el EF-18, siendo en cambio el Eurofighter el exponente actual del concepto “fusión de sistemas”. El misil, si es de última generación y sea del tipo que sea, recibe todos los datos tanto a través de las conexiones de los umbilicales del pílón como a través del *Datalink* una vez que ha abandonado este, complementando estos datos con su propio sistema de guiado.

- Sistema de guerra electrónica: una vez que el avión *stealth* ha sido detectado, es necesario el empleo de sistemas de guerra electrónica de última generación, necesarios para engañar a los radares doppler de última generación y a los radares AESA, empleando métodos tales como el *cross eye jamming* o similares, que hagan creer que el avión iluminado está en una posición diferente en el espacio a la que realmente está, siendo necesaria una gran capacidad de análisis y cálculo de la onda radar recibida (PRF, longitud, etc) y emisión a través del *jammer* propio de la onda señuelo.

- Empleo del radar AESA de forma conjunta con el sistema de guerra electrónica: El concepto de fusión de sistemas permite que un radar AESA trabaje de forma conjunta y complementaria con el sistema de guerra electrónica, de forma que de los miles de módulos de transmisión-recepción de los que consta un radar, un cierto número de ellos pueda utilizarse como apoyo al sistema de guerra electrónica.

- Incorporación al sistema de armas de un modo EMCON (*EMission CONTROL*): este modo ya es familiar en los EF-18, en tanto se disminuyen las emisiones electromagnéticas del avión, en forma de puesta tanto del radar como del sistema de guerra electrónica en standby. El sistema EMCON tiene mayores capacidades y responsabilidades en aviones *stealth* y se encuentra completamente automatizado según el concepto de fusión de sistemas, de forma que las emisiones generadas sean

Valor RCS (m ²)	F-117	F-22	F-35
Frontal	0,001-0,01	0,0001	0,001
Lateral y trasero	0,01	0,001-0,01	0,01



El B-2 Spirit en su primer vuelo. (USAF).



Prototipo de F-35A en pleno vuelo. (USAF).



Vista frontal de las toberas de escape del F-22. (USAF).

directamente proporcionales al nivel de amenaza.

CONCLUSIONES

En la tabla se puede comparar el salto cuantitativo experimentado en el transcurso de tres generaciones de aviones stealth, con datos basados en estimaciones de diversos analistas y fuentes. En ningún caso, están confirmados por el fabricante ni fuentes oficiales.

Dejando de lado al F-117, retirado del servicio en la década de 2000, el F-22 es el avión más “invisible” de los tres que componen la comparativa. No obstante, el F-35 ha sido diseñado con vistas al mercado de exportación, con costes previstos de mantenimiento de flota asequibles para sus clientes, sacrificando por tanto unas mínimas características operativas sin comprometer su eficacia global en materia de invisibilidad. En el peor escenario posible, en el que el contrincante dispone de sistemas de búsqueda y seguimiento de última generación, el tener una baja RCS no garantiza la “invisibilidad” de un avión. Y es que si bien en cuanto a detección activa, todo depende de la capacidad y resolución del radar con el que se le esté iluminando (dejando de lado otros factores como el aspecto angular del blanco por citar un ejemplo), la detección pasiva siempre está presente, en especial, las nuevas capacidades de los IRST, en los que destaca una tecnología emergente: fotodetectores de imágenes basados en pozos cuánticos (QWIP), capaces de operar en hasta cuatro bandas de infrarrojos y detectar objetivos incluso en la banda de 15 micrones, esto es, objetivos que hasta ese momento eran considerados muy “fríos”, fuera de los espectros de búsqueda más tradicionales, limitados por la tecnología existente. La capacidad de búsqueda y seguimiento de objetivos de un avión con estos medios de detección pasiva ya fue estudiada por la Corporación RAND en el 2008 y la conclusión obtenida, muy clara: con la tecnología disponible en ese momento, se estimaba que podría detectarse con plenas garantías a un avión de combate de última generación, en base a sus

emisiones infrarrojas, a una distancia de aproximadamente 50 kilómetros.

Tampoco hay que dejar de lado otros conceptos y medios tan importantes como el Datalink de última generación, el llamado Datalink 16, que permite por sus características que el avión que lo equie entre dentro del concepto Network Centric, en el cual todos los aparatos desplegados (entendiendo como tales vehículos aéreos, terrestres y marítimos) en un mismo teatro de operaciones “comparten” entre sí información recogida por sus sensores, no sólo de búsqueda y seguimiento de objetivos de cualquier tipo (radar,IRST, etc), sino también de detección pasiva (DASS, ESM, etc), con un alto grado de precisión y seguridad en la transmisión. Así, con el empleo de sistemas de transmisión de datos bidireccionales, se logra por tanto no depender de sensores de búsqueda activos que aumenten las posibilidades de ser detectados.

veces más caro el mantenimiento por hora de vuelo de un F-22 que el de un F-16).

No hay que olvidar el hecho, cada vez más presente, de que esta tecnología está dejando de ser patrimonio exclusivo de occidente: tanto Rusia como algunos países orientales han mostrado que también ellos son capaces de diseñar aviones de la llamada 5ª generación, si bien es cierto que no se esperan, estén tan refinados como los diseños occidentales, en parte por la experiencia atesorada por estos en materia *stealth*. Uno de los casos más conocidos es el caza PAK-FA, diseñado por Rusia e India conjuntamente para competir directamente con el F-22 Raptor. Al igual que este último, hace gala de sistemas de última generación y de la capacidad de supercruceiro, aunque con una RCS mayor que la estimada del F-22: algunas fuentes citan una RCS de 0.01 m², mientras que otras más recientes hablan de 0.1-

experimentando China, junto con la corriente yihadista aparecida en tiempo reciente en la forma del ISIS, sería adoptar una postura similar a la del Reino Unido, que combinará los escuadrones de Eurofighter con los del F-35. Se obvia y elimina de esta ecuación al F-22 por la discreta capacidad aire-suelo (principalmente basada en armamento JDAM) y principalmente, por la inaccesibilidad a esta tecnología impuesta por Estados Unidos. De esta forma, el F-35 se desplegaría en un teatro de operaciones en donde la invisibilidad fuese crucial para el éxito de la misión y la supervivencia de la tripulación, no ya tanto una agilidad o capacidad de combate aire-aire de gran importancia. En cambio, en un escenario en donde una mayor agilidad y capacidad de carga fuesen demandadas, y en donde la invisibilidad no fuera crítica, pudiendo ser en cierta forma sustituida por un sistema altamente capaz de guerra electrónica, un



F-22 Raptor en pleno vuelo (USAF).

A día de hoy, la tecnología *stealth*, representa en todos los sentidos el *state of art* de la aviación militar; no obstante, el alto coste de adquisición por aparato, así como el mantenimiento necesario, costoso y exhaustivo, hacen que en la adquisición de esta tecnología, prácticamente emergente y que hasta la llegada del F-35 haya tenido durante aproximadamente 30 años a Estados Unidos como único usuario, haya que contrastar al menos las necesidades operativas reales con el coste de mantenimiento del avión por hora de vuelo (por citar un ejemplo, es tres

1 m². No obstante, es necesario hacer hincapié en que son cifras basadas en conjeturas, posibles filtraciones, estimaciones con base científica pero sin datos reales. Nada definitivo por tanto.

Considerando un posible escenario bélico en el conviviesen las llamadas generaciones 4ª, 4.5 y 5ª de aviones caza, una solución relativamente viable para una fuerza aérea europea, en los actuales momentos de crisis tanto económica como política, destacando la situación de algunos países del antiguo Bloque Soviético, Oriente Medio, Corea y la escalada militar que está

Eurofighter, avión que pese a no ser *stealth* presenta un muy reducido valor de RCS, y a plena capacidad sería el elegido. •

Bibliografía

- Rich, Ben. Janos, Leo. Skunkworks. 1994.
- Koop, Carlo. Goon, Peter. Russia's PAK-FA versus the F-22 and F-35. Marzo 2009.
- Butowski, Piotr. PAK FA stealth features patent published. IHS Jane's 360, enero 2014.