

La génesis de la tecnología stealth: *El F-117A*



JAVIER SÁNCHEZ-HORNEROS PÉREZ
Ingeniero de análisis de ensayos en vuelo

F-117A. Imagen de la USAF.

En la mañana del 17 de enero de 1975, Benjamin Rich se dirigía hacia su trabajo en Burbank, California, tal y como había venido haciendo desde hacía 25 años, solo que esta vez las circunstancias habían cambiando. Al margen de un nerviosismo poco habitual en él, esa fue la primera vez que aparcó en la plaza reservada al máximo responsable de un conjunto de profesionales realmente excepcionales cuya labor se desarrollaba en un edificio de dos plantas sin ventanas, sin ninguna denominación o indentificación en particular. Pero ni el edificio ni Ben ni mucho menos su antecesor eran normales. Ese día, Benjamin Robert Rich había asumido las funciones del legendario Clarence «Kelly» Johnson al mando de los Skunk Works, la división de proyectos especiales de Lockheed, contando entre sus creaciones aviones como el P-80 Shooting Star, el F-104 Starfighter y los soberbios U-2, A-12 Oxcart y SR-71 Blackbird entre otros.

Lo cierto es que, en el momento de tomar el cargo, las perspectivas no eran muy halagüeñas para Ben Rich: la guerra de Vietnam estaba llegando a su fin, con resultados claramente desfavorables para Estados Unidos, se habían producido fuertes recortes en el presupuesto de Defensa bajo la Administración Ford, y, lo que era aún peor, Lockheed afrontaba dos problemas realmente graves. El primero, verse envuelta en 1974 en un escándalo de sobornos internacionales a altas personalidades de al menos seis Gobiernos extranjeros y el segundo, encontrarse cerca de la bancarrota, al haber invertido gran parte de sus recursos en el infructuoso intento de volver al mercado de la aviación civil a comienzos de la década de 1970; ambas circunstancias originaron que Textron Corporation adquiriese la práctica totalidad de los bienes de Lockheed por un precio de 85 millones de dólares de la época.

EL HOPELESS DIAMOND

Era urgente, por tanto, despertar el interés de sus clientes habituales, la USAF y la CIA. Pese a haber sido concebido para esta última en la década de 1950 por petición directa del presidente Eisenhower, era la USAF quien operaba los U-2 por aquellas fechas, por lo que una primera medida fue convencer al jefe de Estado Mayor del Aire, general David Jones, de reactivar la línea de producción del U-2 añadiéndole a las nuevas entregas las últimas mejoras disponibles y una nueva planta de empuje, recibiendo con agrado la propuesta y aprovechando las circunstancias para cambiar la designación original a TR-1 (*tactical reconnaissance*).

Esta medida, retrasada por causas burocráticas dos años, no era más que un mero paliativo. Rich necesitaba encontrar, y rápido, un nuevo diseño preparado para contrarrestar de forma

A-12 con el dron D-21 en su espina dorsal.
Imagen pública de la CIA



efectiva las amenazas del momento. La solución para Rich llegó de la mano del matemático Denys Overholser, quien una tarde de abril se presentó en su despacho llevando consigo una publicación técnica cuyo autor, Pyotr Ufimtsev, había escrito nueve años antes y que había sido traducida recientemente. El contenido del documento, de título «Método de las ondas de borde en la teoría física de la difracción», consistía en una revisión de las ecuaciones de Maxwell y Sommerfeld, tan obtuso y técnico que requería un más que considerable nivel en la materia para poder entenderlo; lo más interesante, no obstante, estaba al final de sus 40 páginas, en las que, profundizando y puliendo aún más dichas ecuaciones, Ufimtsev era capaz de preveer la forma en la cual una configuración geométrica dada sería capaz de reflejar radiación electromagnética incidente,

o lo que es lo mismo: gracias a ellas, sería posible crear un *software* de cálculo específico para estimar la sección transversal de radar (RCS, *radar cross section*) de un avión siempre y cuando su superficie fuera bidimensional, dadas las limitaciones computacionales de la época. Por ello, Overholser propuso calcular la RCS de un avión dividiendo su estructura en paneles planos con forma triangular, aplicando las ecuaciones de Ufimtsev a cada una de sus tres aristas. Al resultado de esta aproximación práctica lo denominaron *faceting*, es decir, crear un avión tridimensional partiendo de paneles planos estratégicamente colocados y alineados. Ante la pregunta de cuánto tiempo tardaría en desarrollar el *software* de cálculo, Overholser estimó unos seis meses; Rich le dio tres, denominando al proyecto ECHO I. El legendario y ya retirado matemático de los Skunk

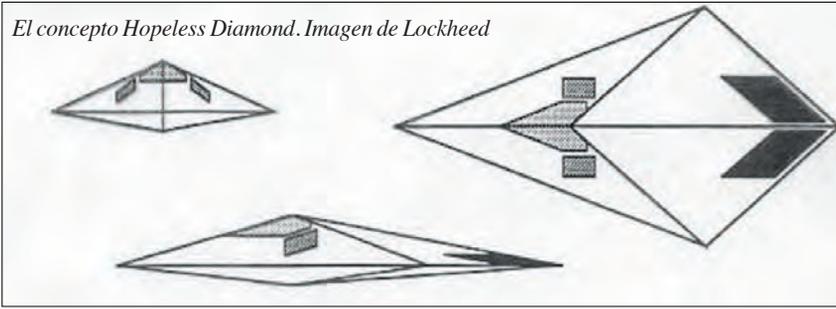


Recreación contemporánea del F-117A

CRONOLOGÍA DEL F-117A

- **Enero 1975:** Ben Rich asume el cargo de Clarence «Kelly» Johnson como director de los Skunk Works.
- **Abril 1975:** Denys Overholser analiza el «Método de las ondas de borde en la teoría física de la difracción». Ben Rich toma conciencia de las implicaciones del estudio tras reunión con Overholser. Comienza el desarrollo del software ECHO I.
- **Julio 1975:** se lleva a cabo en el Pentágono un *briefing* sobre el estado de la red de defensa aérea rusa. Se evalúan las consecuencias en la reciente guerra de Yom Kippur. Se estima que cualquier avión americano con intenciones de penetrar en el espacio aéreo soviético y realizar ataques a blancos prioritarios no sobreviviría. Se inicia por parte de la DARPA, el concurso Experimental Survivable Testbed (XST).
- **Octubre 1975:** durante las pruebas realizadas sobre el Hopeless Diamond, diseñado en el marco del Project Harvey y en base al ECHO I de Overholser en el área de pruebas radar en Palmdale, el operador no es capaz de detectarlo.
- **Marzo 1976:** en el campo de pruebas de White Sands (USAF), se llevan a cabo los tests finales sobre el modelo de los Skunk Works y de Northrop, finalistas del XST. Los resultados son reveladores: el mástil sobre el que se situó el *Hopeless Diamond* es varias veces más visible que este, al igual que el modelo de Northrop, 10 veces más.
- **Abril 1976:** los Skunk Works ganan el concurso XST. Comienza el desarrollo del Have Blue. Ed Baldwin, ingeniero estructural, se convierte en jefe de esta fase del proyecto.
- **Julio 1976:** comienza la fase de fabricación y pruebas de los dos demostradores Have Blue, HB1001 y HB1002. Alan Brown es designado como jefe de proyecto, manteniéndose en el puesto durante el posterior desarrollo del F-117.
- **Diciembre 1976:** primer vuelo del HB1001, con Bill Park a los mandos.
- **Mayo 1978:** se pierde el HB1001 durante un vuelo de ensayos.
- **Noviembre 1978:** la USAF inicia oficialmente la fase FSD (*full scale development*) sin haber esperado a que finalizase la fase de pruebas en vuelo.
- **Julio 1979:** se pierde el HB1002, con Ken Dyson a los mandos.
- **Junio 1981:** primer vuelo del F-117A (designado como YF-117).
- **Octubre 1983:** comienzan a implementarse cambios menores en la configuración del avión. Un número de ellos son desplazados a la base de Myrtle Beach en preparación a un ataque a las instalaciones de la Organización para la Liberación Palestina (PLO) en el sur del

El concepto Hopeless Diamond. Imagen de Lockheed



Works, Bill Schroeder, regresó de su jubilación para ayudar a Overholser. Entre ambos, tuvieron listo el programa en cinco semanas. En mayo de ese año, Ovelhorser se presentó de nuevo en el despacho de Rich con un diseño preliminar de la forma calculada dibujado por Dick Scherrer. La forma de diamante con aristas en cuatro direcciones llamó rápidamente la atención de Rich, pero aún más el saber que sería miles de veces más invisible que el dron D-21, hasta ese momento el cénit de la furtividad, y que su firma radar sería similar al ojo de un águila.

El destino jugó a favor de Rich no mucho después: en julio de 1975, durante uno de los *briefings* de inteligencia periódicos dados por el Pentágono a todos aquellos con «necesidad de

conocer», se discutieron los avances soviéticos alcanzados en su red de defensa aérea, enfocándose tanto en la madurez alcanzada en el desarrollo de los radares de sus interceptores con capacidad *look down-shoot down* como en el nivel alcanzado en materia de desarrollo de SAM (*surface to air missiles*), enfocándose en uno de los más temidos, el SA-5; según los datos de inteligencia disponibles, sus misiles eran capaces de alcanzar altitudes de 125 000 pies, pudiendo equiparse con una pequeña cabeza nuclear capaz de derribar a una formación de bombarderos a unas cien millas de distancia, dada la potencia de la detonación y la onda de choque generada. El más vivo ejemplo de efectividad analizado durante la sesión fue la guerra de

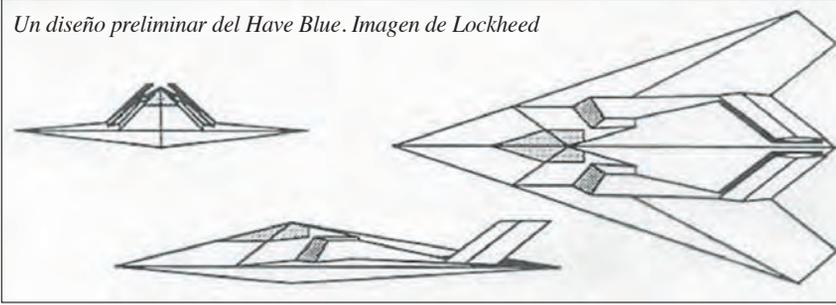
Yom Kippur; Israel, utilizando equipo norteamericano y con tácticas de combate similares a las de estos, perdió 109 aviones en 18 días, siendo la mayoría de las bajas causadas por los SAM de las fuerzas árabes, comprados directamente a la Unión Soviética. Extrapolando el resultado a un hipotético conflicto en Europa del Este entre los Estados Unidos y la Unión Soviética, se estimó que la USAF se vería completamente diezmada en aproximadamente unos 17 días. Hasta la fecha, cualquier estudio asociado al desarrollo de capacidades furtivas había visto en la propia USAF a su peor enemigo, considerando hasta la fecha que los avances en diseño de radares habían superado cualquier posibilidad de ser contrarrestados; para ellos, la solución pasaba por desarrollar e impulsar la implementación de drones hipersónicos avanzados en forma de cazas y bombarderos.

Poco después del mencionado *briefing*, la Agencia de Investigación de Proyectos Avanzados (DARPA) invitó a McDonell Douglas, Northrop y a otros tres contratistas de defensa a la presentación de propuestas con vistas al diseño de un futuro avión *stealth* en

S-200 Angara (SA-5). Imagen de Vitaly V. Kuzmin



Un diseño preliminar del Have Blue. Imagen de Lockheed



el marco del concurso Experimental Survivable Testbed (XST), obteniendo el ganador presupuesto para fabricar dos demostradores. Lockheed no estuvo invitado a este concurso por dos motivos: no había construido un caza desde el F-104 Starfighter y, además, los valores de RCS del A-12, SR-71 Blackbird y del dron D-21 eran tan secretos que muy pocos eran conocedores de los enormes avances de los Skunk Works en este campo. Nuevamente, el destino jugó a su favor, en tanto, contra todo pronóstico, la CIA dio luz verde a la emisión de las especificaciones de la RCS de los mencionados aviones a la DARPA, concretamente, a su máximo responsable, el doctor George Heilmeier, quien, tras ver los prometedoros resultados y tras algunas discusiones previas, dio el visto bueno a que los Skunk Works entrasen en la competición a pesar de que estaban fuera de plazo. No se arrepentiría: los test definitivos, llevados a cabo con un modelo fabricado en madera y pintado de negro del Hopeless Diamond, la propuesta de los Skunk Works diseñada bajo la designación Project Harvey en base a los cálculos realizados por el ECHO I, en la zona de pruebas de radar, cerca de Palmdale, en el desierto Mojave (propiedad de McDonell Douglas, al no disponer Lockheed de una propia, viéndose obligada a alquilarla durante los tests), revelaron resultados sorprendentes. El modelo fue colocado en lo alto del mástil de pruebas, de 12 pies de altura (3,6 metros), siendo iluminado constantemente por un radar situado a 1500 pies (460 metros). Pasado un tiempo prudencial, el operador le comunicó a Ben Rich, presente, que el modelo debía haberse caído del mástil, al no conseguir ningún contacto. La respuesta de Rich fue de sorpresa inicial, seguida de una negación, en tanto

podía visualizar el modelo perfectamente, posándose instantes después un cuervo sobre el mismo, momento en el cual, el operador le comunicó que por fin había logrado verlo en la pantalla. Rich llamó por una parte, mientras que por otra, fue plenamente consciente del grado de perfección que habían logrado en la materia en un espacio de tiempo de pocos meses, y lo que ello implicaba.

Los finalistas del concurso fueron Northrop y Lockheed, quienes, durante el mes de marzo de 1976, tuvieron que demostrar en el campo de pruebas de White Sands, propiedad de la USAF, las capacidades de sus modelos, en un entorno más demandante que el anterior: sobre el mástil de pruebas, dotado de capacidad de rotación, montaron un modelo del Hopeless Diamond de mayores dimensiones que la vez anterior. Cinco antenas de radar, cada una de ellas emitiendo en series de frecuencias diferentes, apuntaban directamente al modelo. El primer día de pruebas, el mástil, con una medición de -20dB, fue varias veces más visible que el modelo por vez primera en su historia. Al finalizar la fase de pruebas, se demostró que el modelo de los Skunk Works era diez veces menos visible que el modelo de Northrop; durante la misma, incluso se pidió a Lockheed que diseñara un mástil de antena basado en los mismos principios de diseño del Hopeless Diamond...

HAVE BLUE

Un mes después, en abril de 1976, se comunicó oficialmente que la propuesta de los Skunk Works había ganado el concurso, disponiendo de 20 millones de dólares para la fabricación de dos demostradores en un máximo de 14 meses de tiempo y redesignando oficialmente el programa como Have

Líbano. El despliegue se anula 45 minutos antes del slot de vuelo.

■ **Noviembre 1983:** los F-117 alcanzan la capacidad operacional inicial limitada (LIOC).

■ **Año 1986:** se implementan mejoras a nivel de diseño del IRADS. En 1993, se cambiarían los sensores de ambas torretas.

■ **Noviembre 1987:** se comienza a implementar en los aviones serie el primer programa de modernización, el OCIP Phase I.

■ **Noviembre 1988:** tras varias indiscreciones de la Administración Reagan a lo largo de su mandato, llevando incluso a un fabricante de juguetes a diseñar y comercializar una maqueta llamada F-19, aparecen en los medios imágenes modificadas y borrosas de un F-117.

■ **Diciembre 1989:** ocho F-117A toman parte en la operación Just Cause (invasión de Panamá).

■ **Abril 1990:** se inicia la implementación del OCIP Phase II. Se muestra al público, en la base aérea de Nellis, el F-117A.

■ **Enero de 1991:** comienza la operación Escudo del Desierto. Los F-117A son los únicos aviones de la coalición cuyas misiones les llevan al corazón mismo de Bagdad, atacando blancos de alto valor estratégico. Tras finalizar la campaña, los F-117A totalizaron 7000 horas de vuelo en combate y realizaron 1219 misiones, siendo responsables de la destrucción de más del 40% de los objetivos estratégicos designados.

En el transcurso de la década de 1990, el Knighthawk sería desplegado varias veces a Oriente Medio, participando en las diversas operaciones llevadas a cabo allí, incluyendo la operación Iraqi Freedom del año 2003.

■ **Enero 1995:** fallece Ben Rich.

■ **Junio 1996:** se investigan mejoras en las cubiertas RAM (*radar absorbent material*) bajo el marco Single Configuration Fleet (SCF), implementándose a finales de 1999.

■ **Enero 1997:** Vuela el primer avión de serie con el OCIP Phase III implementado, siendo esta la última fase conocida del programa de modernización.

■ **Marzo 1999:** se pierde por primera vez en combate un F-117 a manos del marco SA-3, durante la operación Allied Force.

■ **Marzo 2007:** comienzan a retirarse los F-117A y a almacenarse en Tonopah en disposición «Type 1000» en hangares con ambiente controlado.

■ **Abril 2008:** el primer avión F-117A es desguazado. Durante el proceso, se comprueba el alto coste económico del proceso y el impacto medioambiental ocasionado por las cubiertas RAM.

■ **Actualidad:** desde prácticamente su retiro, los F-117A siguen volando en las cercanías de Groom Lake y de la base aérea de Tonopah.

Blue. Durante la fase de diseño, en la que Rich puso al frente a Ed Baldwin, ingeniero estructural, se le dio prioridad máxima al equipo de Denys Overholser, priorizando la furtividad de los demostradores sobre cualquier otra cualidad aerodinámica; el resultado final fue el de un avión de 38 pies de longitud (11,5 metros), 22 de envergadura (6,7 metros) y 7,5 de altura (2,3 metros), con un ala de flecha 72,5°, dotada de dos *elevons* para el control del cabeceo y alabeo y cuatro *spoilers* (dos en el intradós y otros dos en el extradós) junto con aditivos especiales aplicados en los *tips* para minimizar la generación de *contrails*, doble deriva en V invertida y 12000 libras de peso (5400 kilos), bimotor sin capacidad post-combustión y subsónico, ambas medidas para limitar su detección por infrarrojos, y con toberas de escape especialmente diseñadas tanto para este motivo como para disminuir la emisión de ruido durante el vuelo.

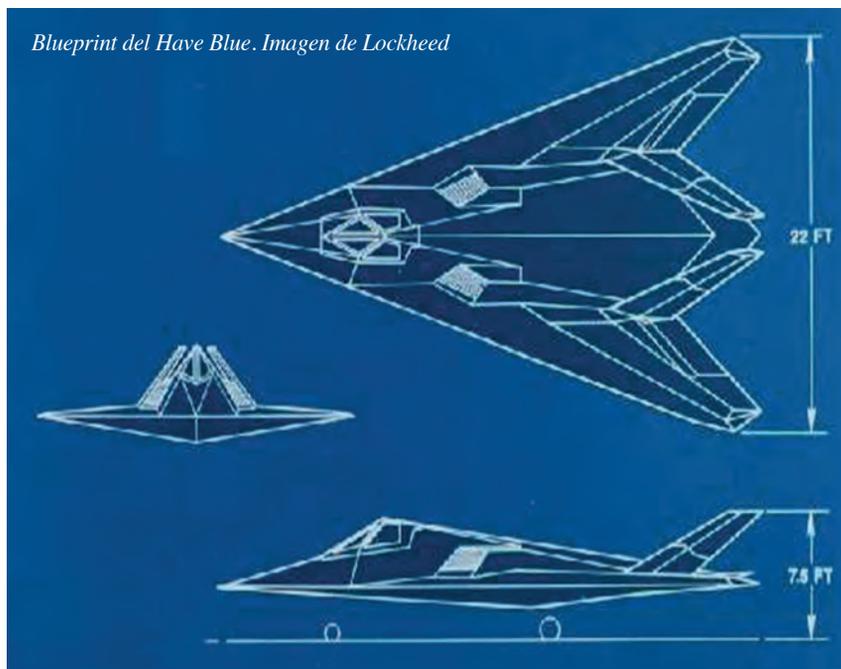
Los Skunk Works, dada la naturaleza y clientes finales de su trabajo, la CIA para más señas, eran auténticos expertos en el arte del aprovisionamiento de elementos y sistemas procedentes de otros programas ya maduros, desviando en el proceso facturas y albaranes a través de empresas fantasmas que eliminasen cualquier conexión final hacia ellos. Esta no fue una excepción, dado que, además, se estimaron que serían necesarios al menos 10 millones más para poder fabricarlos, dinero y riesgo que asumió la propia Lockheed; así, la USAF asignó al programa Have Blue a un comandante del Tactical Air Command (TAC) llamado Jack Twigg que se encargaría de coordinar todas las expediciones destinadas al programa, requisando inicialmente seis

motores J-85-GE-A4 cuyo destino final original eran T-2C Buckeye de la US Navy. El resto de elementos claves estaban formados por actuadores de control de vuelo del F-111 y servos de este y del F-15 adecuadamente modificados, el sistema de navegación inercial del B-52, el asiento eyectable ACES II del F-16 y el HUD Kaiser del F-18, siendo también modificado, finalizando por el tren de aterrizaje principal, procedente del A-10. El único elemento que fue diseñado específicamente para el Have Blue fueron el sistema y las leyes de control de vuelo, tomando como base el ordenador de a bordo más avanzado de la época, el F-16, inestable en el eje de cabeceo, siendo por tanto necesario

de mayores dimensiones, siguiendo las directrices y métodos propios de Skunk Works, y bajo medidas cada vez más estrictas, requiriendo que todas y cada una de las personas involucradas en el programa tuvieran los permisos de seguridad requeridos según su implicación y función en el mismo, de tal forma que solo cinco personas, entre ellas Rich, tuvieran acceso total. Alan Brown, designado como jefe del programa, estuvo encargado en todo momento de mantenerse en el taller de ensamblaje y responder a cualquier pregunta técnica de los especialistas; pronto descubrieron las complejidades técnicas que suponía la fabricación de un avión *stealth*, com-

enzado por las diversas superficies, que debían ser perfectamente planas y fabricadas bajo las más estrictas tolerancias para que encajasen perfectamente, al igual que la aplicación de las capas de RAM (*radar absorbent material*), problemática al ser el material base entregado en forma parecida a láminas de linóleo, debiendo cortarse a medida y aplicarlo a juntas, previo sellado con cinta conductiva.

Tras múltiples dificultades, incluyendo una huelga de trabajadores a finales de agosto de 1977, y un escudo térmico improvisado fabricado a partir de paneles de un armario de acero, colocado entre los motores y la sección de cola del Have Blue HB1001, 72 horas antes del primer vuelo, este se llevó a cabo exitosamente en las instalaciones de Groom Lake, la llamada Area 51 a las 7:00 hora local del 1 de diciembre de 1977, con Bill Park a los mandos. Dadas las particulares cualidades aerodinámicas y la carencia del postquemador, necesitó tanta pista como la de un 727



adaptarlo completamente a las características esperadas en el Have Blue, es decir, las de un avión inestable en los tres ejes, asignando a dicha tarea a Bob Loschke, referencia de la época en la materia. La toma de medidas anemométricas, concretamente las relativas a la velocidad, fueron también problemáticas, optando por un *pitot* al que se le dotó con capacidad de retracción para las pruebas de firma radar, estimando la velocidad del avión gracias a la unidad inercial.

En julio de 1976 se comenzó a fabricar el primero de los dos prototipos en el edificio 82, uno de los hangares



completamente cargado de combustible, pasajeros y equipaje, elevándose lentamente en el horizonte tras el despegue. Durante los siguientes 40 vuelos, todo fue perfectamente, hasta el 4 de mayo de 1978; en finales, Park se aproximó a 125 nudos, como solía acostumbrar, aunque en esa ocasión, estimó ir un poco alto. Pese a ello, inició la recogida, desplomándose el avión a derechas e impactando contra la pista; Park estimó que, de frenar, arrancarían el tren de aterrizaje, por lo que con tal de salvar el demostrador, decidió hacer motor y al aire, sin saber que la pata derecha estaba completamente doblada, replegando eso sí, con éxito, el tren. Tras la base del segundo circuito, desplegó de nuevo el tren, con la fortuna que el piloto del avión *chase*, coronel Larry McClain, se dio cuenta rápidamente que únicamente la pata izquierda se había bajado y bloqueado. Park intentó todo lo que estuvo en su mano, incluso impactar con la pata «sana» con la esperanza que la otra se desplegara, sin éxito. Con cada vez menos opciones, subió de nuevo, esta vez a 10000 pies, con la mala fortuna de que uno de los motores se apagó, momento en el cual anunció claramente por radio que, a menos que alguien tuviera otra idea, eyectaría, sufriendo en el proceso daños en la pierna y una contusión en la cabeza, inhabilitándole para seguir en activo, siendo nombrado por Ben Rich jefe de pilotos de prueba. El HB1002 no corrió mejor suerte; a los mandos de Ken Dyson, tras 65 salidas ejecutadas en la zona de pruebas de

radar contra tipos diversos de estos, el 11 de julio de 1979 sufrió un fallo hidráulico tras el incendio de uno de los reactores J85.

Pese a la pérdida de ambos demostradores, prácticamente la totalidad del programa de ensayos había sido completado, con pleno éxito, llegando hasta el punto de ser prácticamente indetectable por los radares aéreos *state of the art* de la época, exceptuando el del E-3 AWACS, aunque únicamente a muy poca distancia del mismo. Resultado similar arrojaron las pruebas contra radares terrestres, apareciendo en la pantalla únicamente dentro del rango mínimo de lanzamiento del misil. En ambos casos, ningún tipo de radares logró un bloqueo.

EL F-117

Los más que prometedores resultados obtenidos durante las pruebas del Hopeless Diamond y los primeros vuelos del Have Blue, convencieron a la USAF para comenzar el desarrollo de gran escala (FSD, *full scale development*) del avión, el 16 de noviembre de 1978. Pese a todos los problemas solventados con anterioridad, el diseño del avión táctico propiamente dicho supondría aumentar las dimensiones del Have Blue y añadirle toda clase de componentes, entre ellos, la bahía de armamento, intentando por otra parte mantener la misma filosofía que en este acerca de adaptar elementos y sistemas ya probados e integrados en otros aviones tácticos para reducir al máximo los costes. Aún así, dos fueron

los problemas principales a los que se enfrentaron: fisuras en las zonas cercanas a las toberas de escape, que fragilizaban y rompían toda la sección de cola, siendo solucionado por General Electric mediante un diseño propio que adoptaron los Skunk Works; el segundo, relativo a las sondas de datos de aire, cuyo problema de engelamiento solo fue superado tras desarrollar e implementar en cada una de ellas un filamento de calentamiento del diámetro de un pelo humano basado en materiales no conductores. El primer vuelo se realizó el 18 de junio de 1981, alcanzando la capacidad operacional limitada (LIOC, *limited operational capability*) en noviembre de 1983.

En líneas generales, la técnica *face-ting* deriva de la geometría óptica, que esencialmente indica que un haz de luz es reflejado en un ángulo igual al ángulo relativo a la componente normal de la superficie reflectante. No obstante, para que esto sea cierto, la longitud de onda del haz de luz debe ser mucho menor que las dimensiones de la superficie plana reflectante, indicando que, geoméricamente, el F-117A está diseñado contra radares operativos en banda media y alta, dando como resultado un rebote mínimo al emisor del haz radar, cualidad potenciada por las tolerancias de fabricación y ajustes, los dientes de sierra de los que constan las superficies y zonas claves del avión (tren de aterrizaje, FLIR, *cockpit* y bahía de armamento), las capas de materiales conductores aplicados en la cúpula del *cockpit* (básicamente, una finísima cubierta de oro), la malla

El F-117 durante la operación Escudo del Desierto. Imagen de la USAF



Frontal del F-117. Se aprecia la malla de la tobera de admisión y la compuerta de admisión auxiliar, así como el FLIR. Imagen de Cory W. Watts



que recubre la admisión de los reactores (cuyos agujeros son de menor diámetro que la longitud de onda de los radares de posibles adversarios) y la aplicación de materiales RAM en las diversas juntas entre paneles.

El enfoque en el diseño y la importancia del factor *stealth* del avión es tal que el F-117 cuenta con un sistema de monitorización en tiempo real del valor estimado de la sección transversal de radar, denominado Radar Cross-Section Monitor System,

proporcionando al piloto indicaciones visuales en el panel principal cuando se estime que es posible que el avión sea detectado.

El sistema de búsqueda y seguimiento de objetivos es el IRADS (Infra-Red Adquisition And Detection System) que está compuesto por dos subsistemas complementarios, un FLIR (*forward looking infra red*) y un DLIR (*downward looking infra red*). El FLIR, localizado justo por delante del *cockpit*, rotatorio, dotado con

un *rangefinder* y con capacidad de designación de blancos terrestres a larga distancia, sistema que se mantiene como principal hasta que la posición relativa entre el sensor y blanco es lo suficientemente cercana como para perderlo al existir la posibilidad de que el morro del avión lo enmascare. En ese momento, el blanco comienza a ser seguido por el DLIR situado en las cercanías del tren de aterrizaje del morro. Gracias a esta combinación, el F-117 es capaz de lanzar y guiar con

LA PLANTA DE EMPUJE DEL F-117

Sendos F404-GE-F1D2 de bajo *bypass* y de empuje máximo 10.500 libras, fueron los elegidos para el F-117, proporcionando cada uno montados en el avión aproximadamente 9.000 libras de empuje. Dos son los factores que disminuyen en el *Knighthawk* el empuje máximo disponible: la malla localizada en la admisión y la tobera de escape, esta última diseñada específicamente para reducir las emisiones infrarrojas.

Como hemos visto, la malla está formada por una serie de agujeros de un diámetro dado, sirviendo a un único propósito: camuflar los álabes del *fan* y del compresor de los radares enemigos, lo que a su vez perjudica las condiciones de presión y temperatura en la admisión. Las pérdidas de rendimiento podrían ser mayores, especialmente a ciertos niveles de ángulo de ataque y de deslizamiento, de no ser por dos factores: el primero, la posición relativa admisión-borde de ataque del ala, que provoca que este último actúe de forma similar a un *strake*, generando por tanto vórtices que compensan positivamente la pérdida de rendimiento por parte de la malla. El segundo, la existencia de sendas compuertas de admisión secundaria, en la zona superior del fuselaje, cerrándose completamente a Mach 0.55.

Las toberas de escape, diseñada en base a deflectores estratégicamente dispuestos y con un recubrimiento compuesto por baldosas de cuarzo a modo de escudo térmico, reducen el nivel de radiación infrarroja tanto en azimut como en elevación, confinando el volumen del espacio en donde los gases de escape son directamente visibles, desviándolos hacia la sección superior del avión.

En líneas generales, para paliar los fenómenos de termofluencia que pudieran llegar a afectar la integridad estructural de la sección de cola, se cuenta con dos subsistemas: el primero es el STEMS (Structural Tracking And Engine Monitoring System) que monitoriza de forma conjunta los parámetros operativos tanto del motor como del avión. Las condiciones del fuselaje, a su vez, se monitorizan a través del ASIP (Aircraft Structural Integrity Plan). De forma conjunta, ante cualquier posible malfunción detectada, se puede llegar a disminuir el empuje de los motores hasta un 50%.



Imagen del primer F-117 (designado como YF-117) durante su primer vuelo, el 18 de junio de 1981, en las cercanías de Groom Lake. En la imagen, se aprecia la sección de la tobera de escape, resaltando la zona del recubrimiento cerámico. (Imagen: Lockheed/USAF)

LA AERODINÁMICA DEL F-117

En general, los sacrificios aerodinámicos realizados fueron considerables, dada la gran extensión de paneles planos y la considerable altura a la que está situado el *cockpit* y su configuración, generando resistencia aerodinámica adicional, pero a su vez obedeciendo tanto a fundamentos puramente geométricos para favorecer el factor *stealth* como a paliar el reducido campo de visión frontal disponible. Las pérdidas aerodinámicas serían mayores de no ser tanto por los vórtices generados por las cuantiosas aristas de las que consta el avión, que mitigan en cierta forma la totalidad de efectos contraproducentes que podrían haberse llegado a producir, como por la configuración de ala baja con la que cuenta, siguiendo el principio *blended wing/body*, estimándose, en definitiva, una pérdida de rendimiento de aproximadamente un 20% respecto de un avión convencional de configuración similar.

Si hay algo que llama poderosamente la atención es el pronunciado valor de flecha del ala del avión (67,5 grados), que junto con las características anteriores, penaliza el rendimiento a baja velocidad, especialmente durante los aterrizajes y despegues, que han de realizarse a un ángulo de ataque (AoA) de aproximadamente 10° para obtener un cociente sustentación/resistencia óptimo, ayudando a la generación de resistencia inducida durante la rotación y la recogida, la considerable altura del tren de aterrizaje, presuponiendo una resistencia parásita mínima debido a la configuración geométrica de la panza, al uso de antenas de aviónica con capacidad de retracción instaladas en el fuselaje con el objeto de favorecer el factor *stealth* y al demandado nivel de ajustes entre elementos.

El valor de flecha dota a su vez al avión de unas pobres características de manejo en el eje longitudinal (alabeo) y frente a los efectos del balanceo del holandés (que podrían agravarse en evento de fallo de motor), a lo que se le añade una estabilidad limitada en el eje de guiñada debido a la configuración de la sección de cola. Por ello, al ser inestable en los tres ejes, el F-117 contó, al igual que el *Have Blue*, con un *fly by wire* *quadplex*, controlando de forma diferencial tanto sendos timones de dirección, de tipo completo (sin estabilizador vertical) como cuatro *flaperons*. El sistema funciona tanto limitando el factor de carga disponible (unos 5-7 g cerca de la *Vmax*) como el AoA máximo (especialmente a bajas velocidades, donde superado cierto valor, se podría incurrir en un *pitch up* repentino difícilmente recuperable a bajo-media altitud). En este último, los valores máximos permitidos dependen de la configuración del avión, pero en ningún caso, dada la ausencia de dispositivos hipersustentadores y los efectos generados por la propia aerodinámica, superan los 12-14 grados.

total precisión bombas guiadas por láser GBU-10 y GBU-12 Paveway II, GBU-27 Paveway III de 2000 libras (y su versión mejorada, la EGBU-27), GBU-31, la bomba nuclear B61, y la bomba de grafito BLU-114/B, alojando un máximo de dos de ellas en su bahía de armamento interno

Las capacidades defensivas del F-117 fueron muy discutidas durante su vida operativa. Inicial y lógicamente, se presupuso que en el F-117 había

integrado alguna clase de RHWR/ESM (*radar homing and warning receiver/electronic support measures*). Sin embargo, información desclasificada en el año 2013 mostró, con gran sorpresa, que el F-117 nunca contó con este tipo de sistemas, relegando su supervivencia únicamente a dos factores: el primero, una planificación exhaustiva de la misión en la que la información de inteligencia disponible sobre los emplazamientos de radares

de defensa aérea era primordial con vistas a evitar al máximo sus áreas de búsqueda y, el segundo, el factor *stealth* bajo el que estaba diseñado el avión.

Es este punto, sin embargo, uno de los más discutidos y controvertidos que han rodeado al avión, por la presencia, desvelada por James Goodall en una de sus publicaciones sobre el F-117A, de sendas antenas localizadas en la zona ventral del fuselaje denominadas y asociadas a un

Cockpit del F-117, dominado por dos pantallas multifunción y una pantalla central en la que se visualizan la imagen capturada por los sensores infrarrojos integrados.. Imagen de la USAF



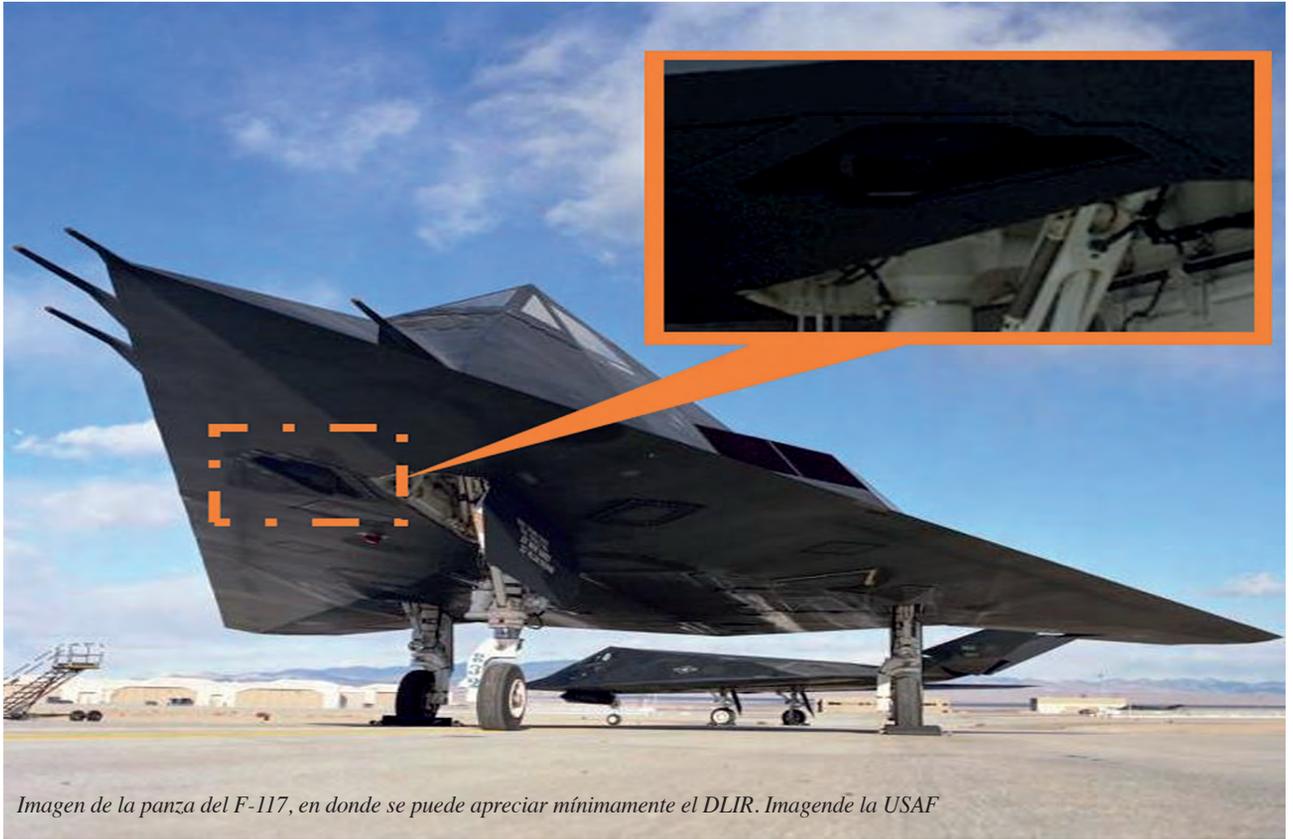


Imagen de la panza del F-117, en donde se puede apreciar mínimamente el DLIR. Imágenes de la USAF

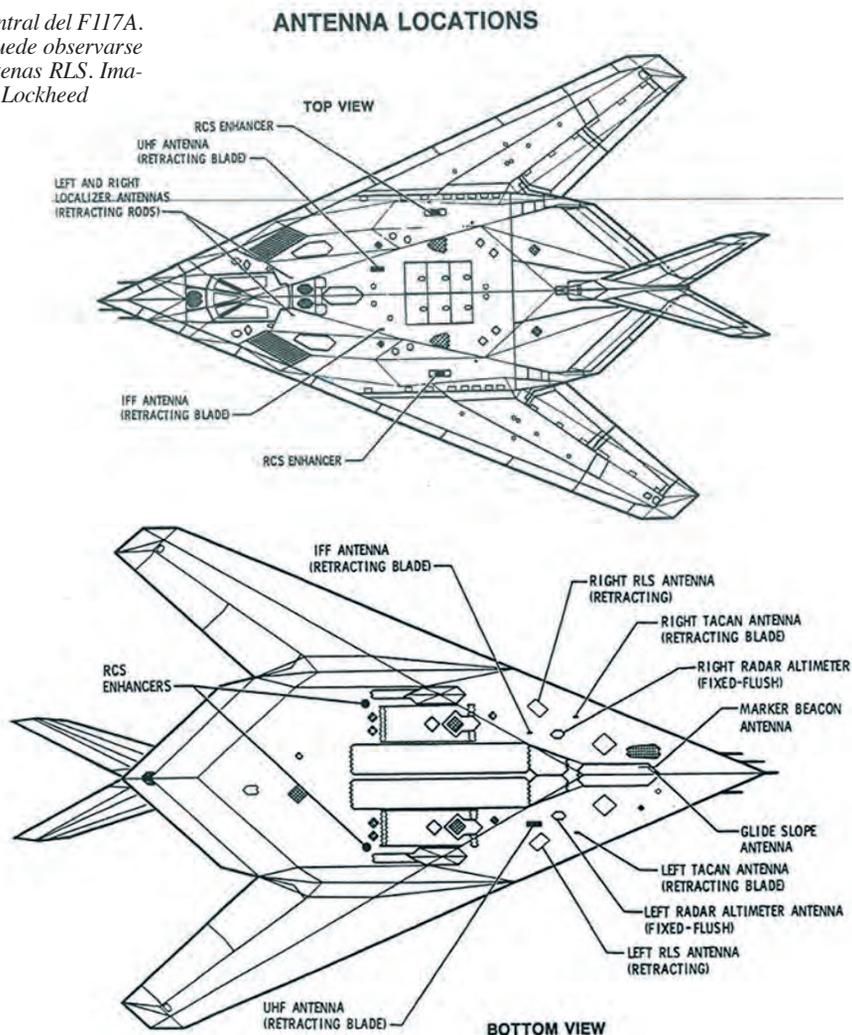
subsistema designado como RLS (*radar locating system*), que una vez, desplegados, proporcionarían capacidades RHWR al avión, a costa, eso sí, de aumentar dramáticamente su RCS. A pesar de que en el manual del avión se hace mención a este sistema y a su panel asociado –indicando en las revisiones más recientes que el sistema está inactivo–, y que los técnicos de mantenimiento más veteranos recuerdan su existencia, la misma ha sido negada tanto por Alan Brown como por su sucesor, Sherm Mullin, en repetidas ocasiones al reportero de The Drive, Tyler Rogoway, aunque no desechan la posibilidad de que, o bien fuese implementado por la propia USAF (A. Brown) a pesar de que Lockheed siempre estuvo plenamente implicada durante la vida operativa del F-117 o bien formase parte de un estudio conceptual desarrollado entre 1984 y 1985 que fue rápidamente desechado (S. Mullin). Es posible que, sin poder decirlo claramente por cuestiones de seguridad, esta fuera la más probable, en tanto que, durante el periodo descrito, se probaron

distintas modificaciones en el F-117, de las que no se tiene constancia que se implementase alguna de ellas finalmente.

Mucho se ha comentado el grado de furtividad que presenta el F-117, comparándolo incluso con sus homólogos más modernos, manejando valores de una RCS de entre 0,001-0,01 m², aunque en algunos casos se han llegado a dar cifras cercanas a las de 0,001-0,0001, teniendo en cuenta que, pese a poder parecer exageradas, pudieran deberse a la ausencia de un radar incorporado, anulando por tanto cualquier emisión electromagnética, por mínima que fuera. En cualquier caso, parecen estar por debajo de las estimadas para un F-35, pero por encima de las también estimadas para un F-22 o un B-2 Spirit, siendo en términos absolutos simples conjeturas con mayor o menor fundamento, al no haber información desclasificada al respecto por cuestiones obvias. Para vuelos *ferry*, o aquellos en los que la visibilidad ante controladores aéreos, o similares sea necesaria, pueden instalarse sendos aumentadores de RCS en la parte superior del avión, aumentando esta dramáticamente.

Un año después de que el F-117 fuese operacional, se comenzó a desarrollar un sistema de control automático para el avión, que actuaba tanto en los tres ejes de control convencional como en el mando de gases. A un coste de 2.5 millones de dólares, con un desarrollo inicial de solo 120 días y seguido de dos años de perfeccionamiento, el sistema de programación en tierra permitía detallar todos los aspectos de la misión (*waypoints*, velocidades y altitudes, datos de inteligencia actualizados...) y grabarlo en la cinta de memoria que, una vez cargada en el sistema de misión del avión, le permitía volar de forma autónoma, exceptuando el despegue y el aterrizaje, respetando las velocidades y altitudes programadas, optimizando incluso el ángulo de alabeo para maximizar la furtividad del avión en las zonas más peligrosas. Paralelamente, se incluyó un sistema de recuperación automática (PAARS, *pilot-activates automatic recovery system*), cuya activación dependía enteramente del piloto, y permitía, en caso de desorientación o emergencia, devolver el avión a vuelo recto y nivelado.

Antenas en la zona ventral del F117A. del manual Dash1. Puede observarse la posición de las antenas RLS. Imagen desclasificada de Lockheed



LOS PROGRAMAS DE MODERNIZACIÓN DEL F-117

Desde octubre de 1983, el F-117 comenzó a sufrir cambios menores de configuración: desde modificaciones en las toberas de salida hasta la inclusión de frenos de carbono, aletas termoplásticas de grafito, compuertas de la bodega de armamento fabricadas en composite y sistema de comunicaciones y *data link*. Además, sufrió una serie de modernizaciones de relevancia en sucesivas fases con el objeto de mejorar sus capacidades ofensivas denominadas OCIP (*offensive capability improvement program*).

La OCIP Phase I, aprobada en abril de 1984, trajo consigo una mejora en el sistema de armamento y en el de misión, integrando a su vez la GBU-27 Paveway III.

Una de las mayores modificaciones y aumento de capacidades fue la que tuvo lugar con motivo de la OCIP Phase II. En primer lugar, se incluyó el sistema de control automático cuadriaxial mencionado en el texto, junto con el PAARS. En segundo lugar, a nivel HMI (*human machine interface*) fue la modificación del *cockpit*, sustituyendo los *displays* originales monocromo por dos LCD (*liquid crystal displays*), la inclusión de un mapa digital, y un panel frontal que permitió al piloto disponer de un total de 256 funcionalidades de aviónica diferentes al alcance de la mano, mejorando la ergonomía inicial. El OCIP Phase II comenzó a implementarse en abril de 1990, entregándose el último avión en marzo de 1995.

La OCIP Phase III se enfocó a actualizar los sistemas de navegación, denominándose RNIP (*ring laser gyro navigational improvement Program*), sustuyendo el inercial original SNP-GEANS por el H-423/E basado en giróscopo láser, integrando a su vez un GPS cuya señal era recibida a través de antenas de baja observabilidad distribuidas en el fuselaje, proporcionando al avión una precisión cercana a los 30 pies (nueve metros). El primer avión de serie con estas mejoras implementadas voló en enero de 1997.

El sistema de armamento también sufrió modificaciones. Por una parte, el IRADS, siendo la primera de ellas denominada Block I, cambiando y redireccionando la circuitería original y reemplazando, en 1993, los sensores del FLIR y del DLIR. En 1998 se modificó el procesador de gestión de armamento (SMP, *stores management update*) integrando un bus MIL-STD-1760 que permitió incorporar al arsenal del F-117 la EGBU-27 y el uso de munición JDAM (*joint direct attack munitions*), incorporando dicho tipo progresivamente hasta que en 2006 y cerca de la fecha de retiro del avión, las GBU-31 se declararon operacionales.

No menos importante fueron las mejoras en las cubiertas RAM, que comenzaron a investigarse en junio de 1996 bajo el marco *single configuration fleet* (SCF), implementándose a finales de 1999.

A I R P O W E R



Effective Proven Trusted



www.eurofighter.com

**Eurofighter
Typhoon**

Solo un F-117 se perdió en combate, el 27 de marzo de 1999, por un SA-3, durante la operación Allied Force, al abrir la bahía de armamento, con el teniente coronel Dale Zelko a los mandos, algo que estuvo a punto de suceder nueve años antes, durante la guerra del Golfo, esta vez con el comandante Miles Pound a los mandos durante el bombardeo de unas instalaciones de investigación nuclear; Pound fue capaz de efectuar el lanzamiento del armamento, pero el mecanismo automático de cierre de las compuertas falló, con la fortuna que pudo cerrarlas manualmente momentos antes de que un misil disparado contra él se acercase lo suficiente.

El F-117 comenzó a retirarse tras su último vuelo, el 12 de marzo de 2007, siendo almacenados en Tonopah. Sin embargo, como todo lo que ha rodeado este avión, nada es lo que parece...

DOCE AÑOS DESPUÉS...

Los F-117 se asignaron a un almacenamiento Type 1000, con las alas, timones y fuselaje desmontados, siendo sus elementos preservados en hangares de ambiente controlado, con vistas a poder ponerlos de nuevo en condiciones operativas en caso de que se necesitasen de nuevo. Sin embargo,

el Acta de Autorización para la Defensa Nacional de 2017 autorizó a la desmilitarización de la flota a una tasa de cuatro aviones por año; hasta el momento, solo un avión de preproducción se ha visto afectado por dicha regulación, demostrando el alto coste del proceso en términos económicos y medioambientales.

Desde el año 2010, se han avistado en múltiples ocasiones aviones F-117 operando en las inmediaciones de la base aérea de Nellis, en la de Tonopah, e incluso repostando de un KC-10A. Más sorprendente es que en febrero de 2019, la prestigiosa revista danesa Scramble publicase en su página web que en 2017, cuatro F-117 participaron en la operación Inherent Resolve. De ser así, contando además con los F-22 Raptor fueron desplegados en dicho teatro de operaciones, los F-117 podrían haber realizado aquellas misiones que no fuesen capaces de cumplir los Raptor (por ejemplo, aquellas que requiriesen de la EGBU-27 de 2000 libras, dado que el Raptor únicamente puede alojar en su bahía interna de armamento munición de dimensiones asociadas a las 1000 libras de peso), o bien simplemente emplearlos en lugar de estos últimos, con tal de mantener los sensores rusos lejos de ellos. Algo más plausible y comprobado fue la visión de un F-117

(designación LEHI 1) volando en circuito norte-sur durante 40 minutos a 200 pies en el valle Panamint de California, con dos F-16C, uno de ellos equipado con un pod Legion, volando a 13.500 ft en sentido contrario al F-117, en actitud *head to head*, lo que podría llevar a pensar en pruebas radares de última generación, como el APG-83 SABR (*scalable agile beam radar*).

Lo que es indudable es que, cualquiera que sea ahora mismo su misión, ya sean simples vuelos para comprobar la efectividad del almacenamiento Type 1000, ya sea la ayuda al desarrollo de nuevos sistemas de búsqueda y seguimiento de objetivos, o la participación en misiones secretas, el F-117, cuya tecnología *stealth* de primera generación sigue siendo clasificada, marcó un antes y un después en la aviación militar, originando un avance tecnológico que aún hoy en día, más de 40 años después de que Denys Overholser entrase en el despacho de Ben Rich, sigue estando al alcance de muy pocos.

Ben Rich falleció en enero de 1995. Expresamente, pidió que sus cenizas fueran esparcidas en las cercanías de su casa en la playa en Oxnard, California. Mientras sus cenizas volaron, un F-117 apareció de entre las nubes, rindiendo tributo a su visionario creador. ■



F-117A del 410 Flight Test Squadron.
Imagen de la USAF