

# FURTIVIDAD, TECNOLOGIA BELICA EMERGENTE

*"La capacidad furtiva es la más revolucionaria de las tecnologías aeronáuticas militares desde el motor a reacción y el ala en flecha." (R. COOPER, director de la Agencia de Investigación y Desarrollos Avanzados (DARPA).*

En el último decenio ha irrumpido en los planteamientos militares la capacidad denominada *stealth* o furtividad, de modo cada vez más estentóreo, hasta el extremo de que hoy, entre las potencias industrializadas, no se concibe una nueva plataforma de armas ni se plantea una operación militar sin tener en cuenta tal aspecto. Dado que en la mayoría de los casos la información acerca del tema no puede circular abiertamente porque está sujeta a clasificación, el acercamiento que se propone en el presente trabajo no es —no podrá serlo— ni sistemático ni completo. Únicamente pretende contribuir a acercar al no experto al tema que, cada vez más, formará parte de lo que llamaríamos "cultura militar", mediante un repaso de los siguientes aspectos: orígenes e historia conocida, las líneas generales del aspecto científico de la furtividad al radar y, por fin, los posibles medios *anti-stealth*.

## **Aparición y desarrollo del concepto *stealth***

En su acepción más general, el atributo de furtividad o sigilosidad está tan claramente entroncado con lo militar —el enmascaramiento, la sorpresa— que no vale la pena insistir en ello. Sin embargo, en su actual significado, se entiende que una plataforma de armas es furtiva, *stealth*, en la medida en que es muy difícilmente localizable por medio de los sensores que son hoy empleados en el campo de batalla. Y de modo particular por el radar, que desde fines de la Segunda Guerra Mundial se ha convertido en el más universal de los sensores en los teatros terrestres, navales —de superficie— y aéreos.

Conociendo los fundamentos científicos en los que está basado —y a los que nos referiremos con mayor detalle más adelante— no es difícil imaginar que desde la generalización de este sensor de energía electromagnética empezó a resultar evidente que no existía proporcionalidad entre las dimensiones física de un blanco y el tamaño del eco radárico que producía (1).

(1) Se afirma que en los años 50 los operadores de los radares de los aeropuertos británicos quedaron sorprendidos de lo difícil que resultaba seguir a los grandes bombarderos *Vulcan*, de alas en delta.

Pero como suele ser habitual, fue necesaria una situación de crisis para que actuara como catalizador de la idea de estudiar formas y materiales para reducir las posibilidades de los radares hostiles. Ese acontecimiento fue el derribo del *Lockheed U-2* con el comandante Francis G. Power sobre territorio de la URSS en mayo de 1960, seguido del menos conocido —el siguiente mes— de un *RB-47* sobre el Báltico.

Para el 8 de julio de ese año se concedía un contrato a la *Ryan Corporation* norteamericana para que se desarrollara un Avión Sin Piloto (RPV) para la USAF que, entre otras especificaciones, debía cumplir la de que "su eco al radar ... le hiciera virtualmente indetectable. El menos detectable de todos los aviones en vuelo existentes". Así nacía el proyecto *Red Wagon* (2).

Para conseguirlo, los ingenieros disponían de la ventaja inicial de que se trataba de una pequeña máquina voladora, pero no se quedaron en eso... Empezaron los primeros estudios sistemáticos de reflectividad al radar de los que existe constancia, encargándose a la empresa *Radiation Inc.* de Melbourne, Florida. En ellos quedó patente que uno de los mayores emisores de "ruido radar" era la rueda de paletas delantera del compresor del reactor y, por ello, se blindó la toma de aire mediante una cubierta de rejilla metálica. Además, se decidió emplear un tipo de pintura que por ser mala conductora eléctrica, contribuía a reducir el eco radárico. Por fin, fueron sustituidas determinadas planchas metálicas del revestimiento externo del fuselaje por planchas de plástico con revestimientos asimismo absorbentes: con ello aparecían los hoy en boga materiales *Radar Absorbing Materials* (RAM).

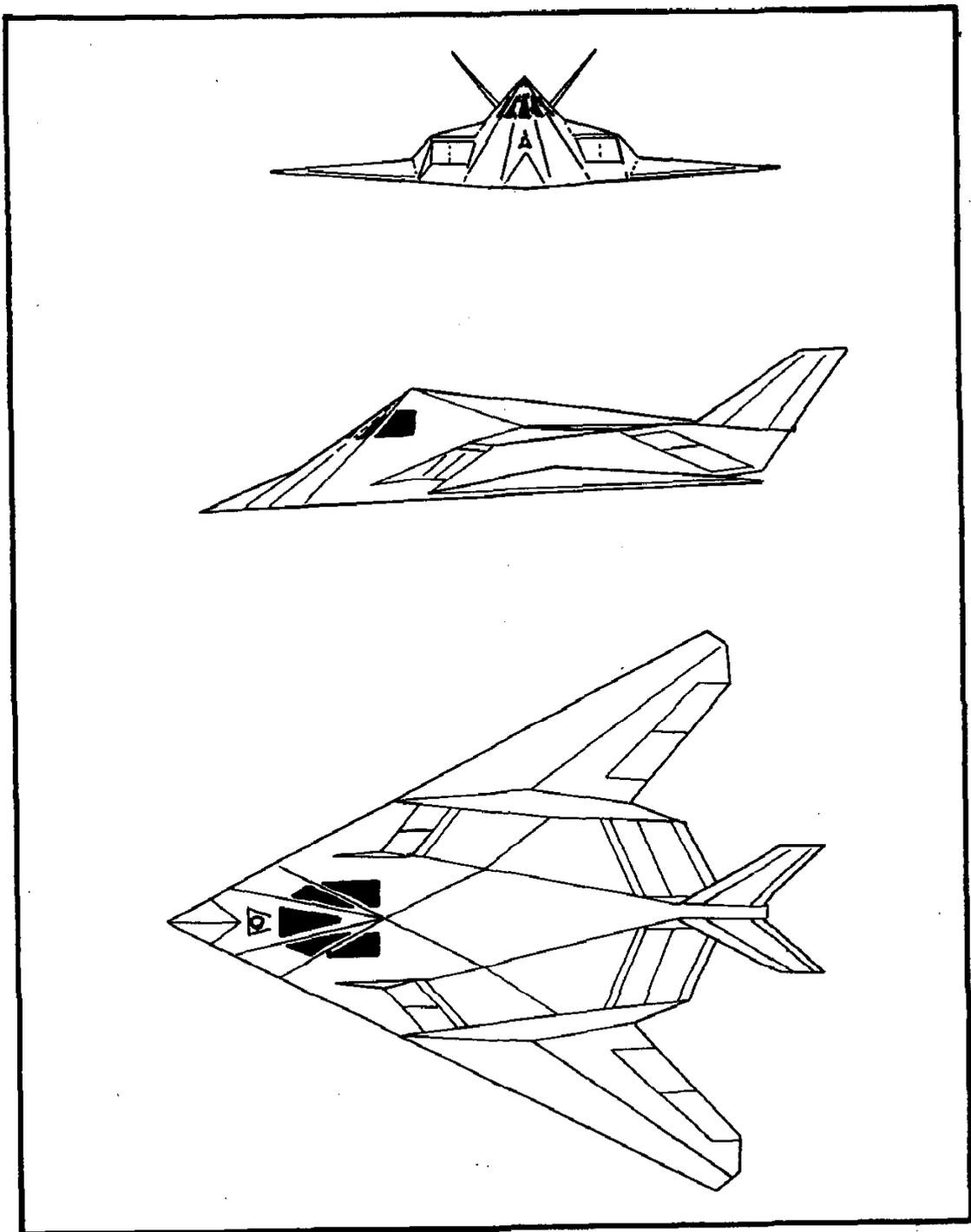
El planteamiento —según se demostró en posteriores vuelos de ensayo— era básicamente correcto: la llamada "firma radárica" del *Ryan Q-2C* era muy baja, según los estándares de la época. La misma empresa propuso a continuación otro modelo radicalmente nuevo, que disponía de la toma de aire del motor en "la espalda" del fuselaje en lugar del morro: se pensaba con ello reducir, además, la firma calorífica —infrarroja— del vehículo volador. Simultáneamente, *Boeing* había presentado su proyecto *Blue Scooter*, en competencia, que fue desechado, lo que supone que ya en 1960 eran dos —como mínimo— las empresas estadounidenses realizando estudios sistemáticos de furtividad. Pero las elecciones de noviembre, y el relevo presidencial, frenaron el proyecto *Red Wagon* durante dieciséis meses, desviando fondos hacia otro proyecto que precisamente en estas últimas semanas ha llegado al final de su vida operativa: el *Lockheed SR-71 "Blackbird"*, tripulado y trisónico.

El empleo posterior de los RPV de *Ryan* sobre Vietnam dio carta de naturaleza a la furtividad y, por su parte, tal exigencia fue mantenida por el otro gran proyecto citado de avión de reconocimiento, el *SR-71*, esta vez de *Lockheed* —y ya tenemos a tres empresas en el sector *stealth*...— al tiempo que marcaba un camino que conduciría a los *F-117* y *B-2* actuales y quedaría incorporado en todos los demás sistemas de Armas Volantes de las Fuerzas Aéreas y de la Marina americanas, primero, y en sus plataformas navales y terrestres paulatinamente.

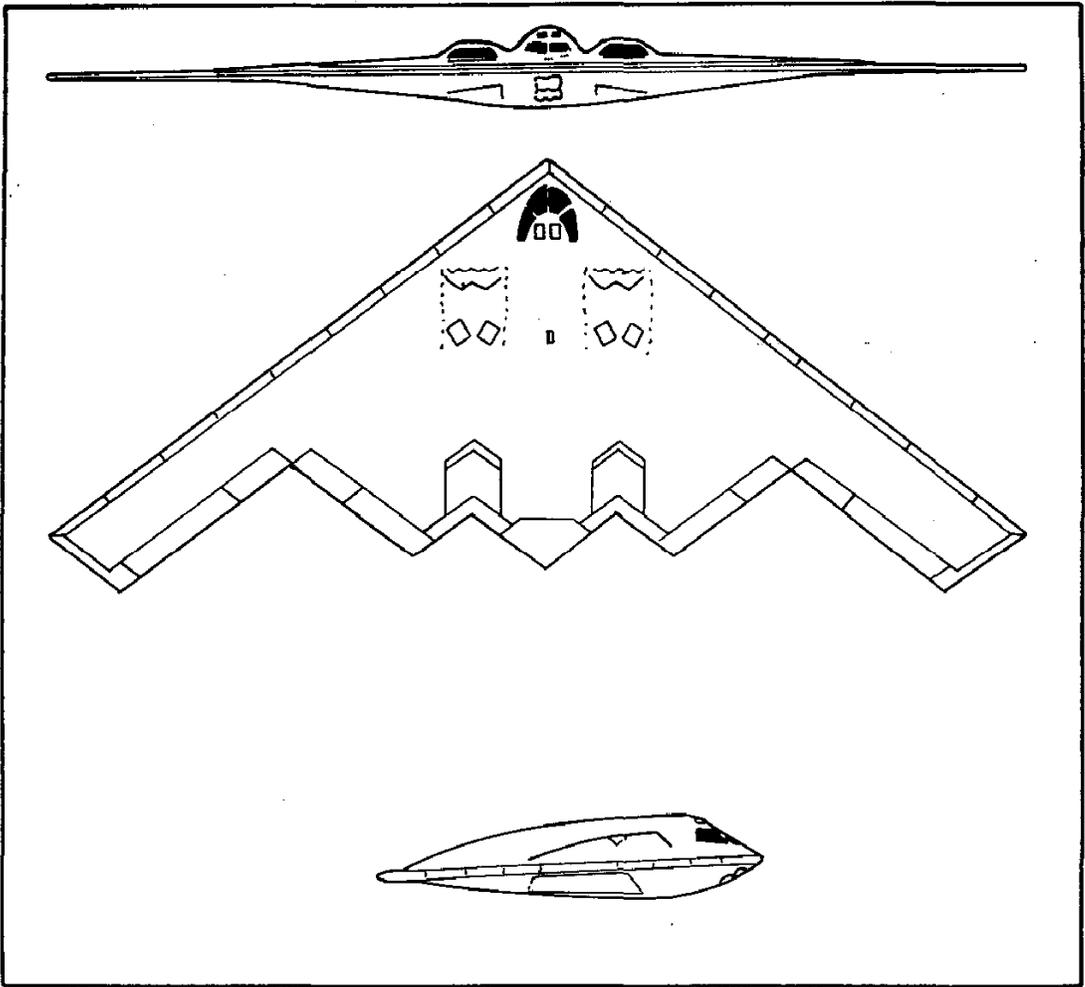
El *SR-71* significó un formidable reto tecnológico global, y también conseguirle capacidad furtiva. Uno de los métodos empleados consistió en diseñar sus estructuras de tal modo que absorbieran —en lugar de rebotarlas— las emisiones de radar dirigidas contra él. Para ello sus alas se construyeron de modo que antes de ponerle los revestimientos metálicos externos —la piel— el *SR-71* quedaba bordeado de estructuras en zig-zag, como un dentado periférico. Esos bordes triangulares estaban recubiertos de pintura especial absorbente y

---

(2) Wagner, William: "Lightning Bugs and other reconnaissance drones", 1982, *Aero Publishers Inc.* Fallbrook, California, p. 14 y ss.



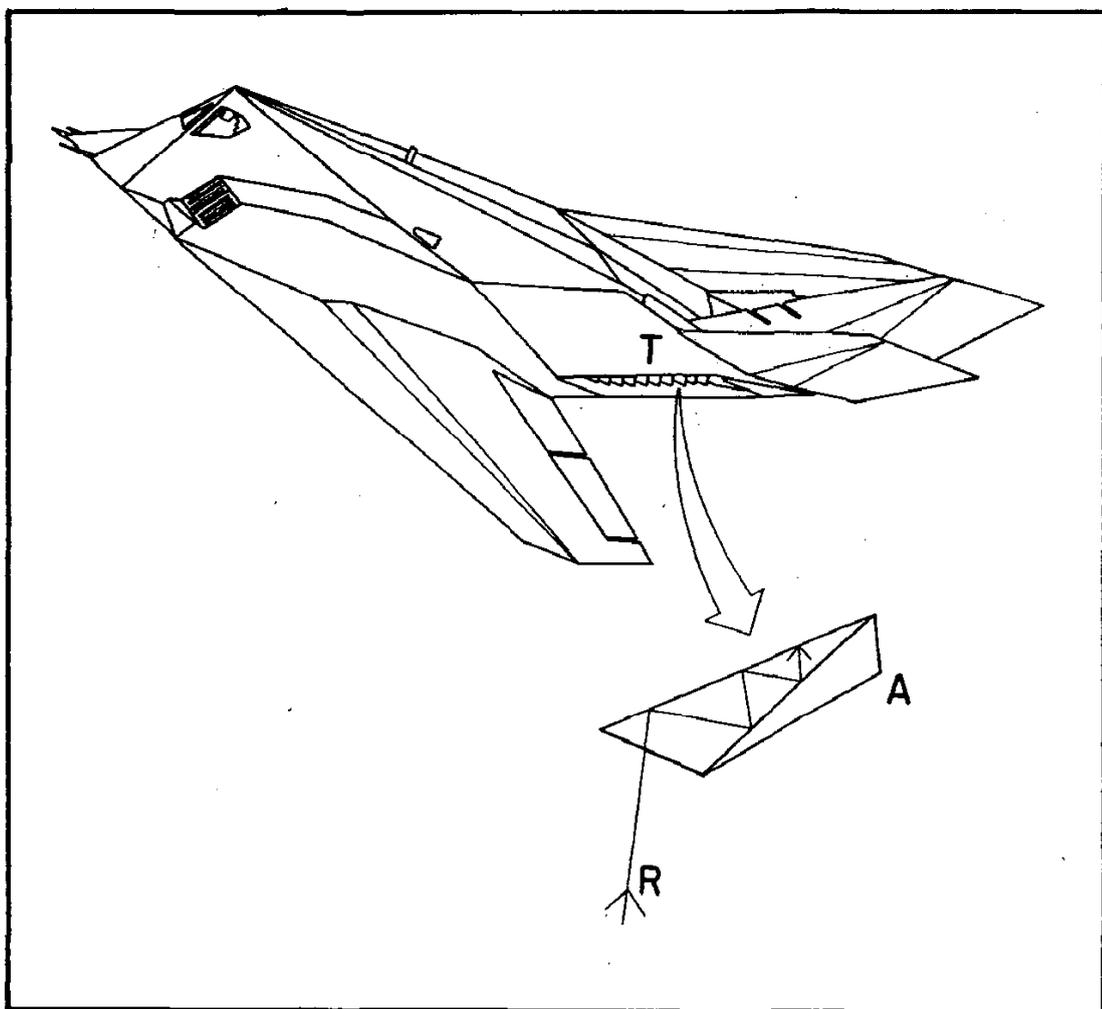
**Gráfico 1.**—El F-117A han sido optimizadas para empleo táctico y a baja altura. Sus formas planas y angulosas proporcionan reflejos radáricos de baja intensidad pero sólo visibles desde ángulos muy estrechos y con efectos de centelleo desorientador —glint— importantes. Se trata de evitar los radares de seguimiento de mayor frecuencia y a distancias cortas, rompiendo la secuencia de tracking.



**Gráfico 2.**—Totalmente redondeado, el B-2 actuará a media-gran altura, frente a radares de búsqueda, proporcionando una imagen radárica reducidísima, en ángulos más amplios —aunque dispersos— que el F-117A. Ello se deriva de su condición de plataforma stealth de tercera generación, en la que las complejas curvas externas —aunque no lo parezca— tienen radios de curvatura continuamente variables. Dispone también de estructuras portantes RAM, y no sólo recubrimientos como era habitual.

alisados mediante la colocación de piezas piramidales coincidentes e invertidas con el dentado, de material RAM, que le daban un acabado rectilíneo. El efecto de esos “dientes” era producir múltiples reflexiones del radar, hacia dentro, de modo que los sucesivos choques en el material absorbente eliminaran en gran medida el rebote exterior y con él, el eco radárico (gráfico 3).

Otros elementos que después se mantendrían constantes fueron el cegamiento de las entradas de aire mediante conos rellenos de material absorbente, para evitar la “iluminación” de las palas del compresor y la inclinación y duplicación de las derivas verticales; esto último con



A: Pieza de RAM absorbente.  
 R: Onda radárica, absorbida en sucesivas reflexiones.  
 T: Revestimiento absorbente.

**Gráfico 3.**—Detalle del ala del SR-71

el fin de permitir una menor altura de timón, frente a la necesaria para dirigir al avión con una sola deriva. A la luz de los acontecimientos, el SR-71 debió de cumplir con bastante efectividad su cometido porque ni uno solo fue jamás derribado en el curso de sus misiones durante casi tres décadas.

La "década del espacio" trajo consigo la aparición de ordenadores con enormes capacidades de cálculo, así como nuevos materiales: las fibras compuestas, las resinas epoxy, los policarbonatos, las cerámicas ligeras termorresistentes, etc. que hicieron posible, paulatinamente, una serie de avances sustanciales en la construcción aeronáutica.

Si bien no se trata más que de conjeturas, parece razonable pensar que en el secreto estudio de conclusiones norteamericano, fruto de las experiencias de la guerra de Vietnam, reapareciera la importancia de la furtividad en las misiones de la Fuerza Aérea: aunque no fuera más que porque los RPV *stealth* de *Ryan*, habían llevado a cabo innumerables misiones con éxito en el conflicto. Ello y la problemática de la supresión de defensas terrestres —elemento muy preocupante para los planificadores de la aeronáutica en los años setenta— fue lo que seguramente condujo a la creación del primer auténtico avión “invisible”, el *Lockheed F-117*.

Combinando los factores citados, los norteamericanos se hallaron ante la posibilidad de un salto cualitativo muy importante en la tecnología *stealth*. Y así debió de nacer el proyecto del *F-117*, cuyo objetivo era, no ya reducir el parámetro llamado “Sección Radárica Equivalente” —crucial como veremos—, sino hacerlo tan pequeño que, en la práctica, se alcanzase el umbral de la invisibilidad. Y mantenerla en otras “firmas” críticas, como la infrarroja.

Y si alguien debía ser capaz de hacer volar el *F-117* —retorcido montón de ángulos, como ha sido calificado— ése era el mismo que creara el *SR-71*: Clarence L. “Kelly” Johnson (3). Porque aunque el genial ingeniero estaba ya jubilado, volvió a Skunk Works en 1975 (4) para hacerse cargo de materializar un prototipo a escala reducida de 5.500 kg de peso, del secretísimo proyecto bautizado *Have Blue* y financiado por la Agencia Nacional de Desarrollos Avanzados (DARPA). El nombre de ese primer artefacto era *XST* y debía estar en el aire en solo dos años, partiendo de un presupuesto también secreto —*Special Access Only*—, de 90 millones de dólares.

Al menos uno, y quizá dos prototipos además del *XST* (5), compitieron en vuelos simulados de ataque contra radares de diversos tipos en el polígono de tiro de Nellis (Arizona), incluyendo algunos soviéticos facilitados por Israel.

A partir de aquí, la historia se hace más explícita, ya que los datos ciertos, aunque escasos, dicen que la fecha prevista se cumplió, y que durante el período de tiempo que media entre 1977 y 1979 fue sometida a pruebas dicha maqueta volante hasta que, en este último año, se aprobó el desarrollo del *F-117A*. (Uno de los prototipos existentes del *XST* se estrelló durante las pruebas.)

El 22 de agosto de 1980, el entonces secretario de Defensa Harold Brown confirmó la existencia de programas *Stealth* o *Low Observables*, como entonces eran calificados. Y doce meses después, en agosto de 1981, se señala la fecha de inicio de estudios para la realización de misiles de “Crucero Furtivos” y, en octubre, se firma la orden de producción de los *F-117A* y de pleno desarrollo del *B-2*, concediendo el contrato a *Northrop-Boeing* frente a las propuestas de la competencia, *Rockwell-Lockheed*. Se sabía también, desde julio, de la configuración en ala delta, del entonces llamado *Advanced Technological Bomber* (ATB).

Dejando a un lado la multiplicidad de comentarios aparecidos desde entonces en los medios informativos, y la operación de intoxicación que hizo llegar dibujos falsos del *F-117A* —se insistió en un *F-19* ficticio del que incluso se vendieron maquetas— a la prensa internacional (6), estos han sido los principales hitos que han marcado los programas furtivos aéreos estadounidenses

---

(3) Y de otros avanzadísimos aviones como el *F-80* (primer reactor militar norteamericano), el *F-104 Starfighter* (primer bisónico) y el *U-2* (extraño planeador motorizado con cierta capacidad *stealth*).

(4) Ese es el nombre con que se bautizó familiarmente una factoría secreta que *Lockheed* mantenía en California.

(5) Por parte de *Boeing Airplane Co.*

(6) Según *Roy Braybrook*, en *The Northrop B-2 ATB: the biggest secret since the first atomic bomb*, col. Air International, noviembre 1989, Londres.

hasta el presente. Y 1988 lo que podríamos calificar "el año *stealth*" con la presentación del primer ejemplar del B-2, así como del F-117A. La invasión de Panamá supuso la primera operación militar en la que intervinieron tres parejas de F-117A, como se ha explicado recientemente.

### **Furtividad radárica: las bases científicas**

El conocimiento de que existen medios para reducir la firma radárica es tan antiguo como la invención misma del radar. La aparición del *chaff* en la Segunda Guerra Mundial lo evidencia, en la medida que dichas tiras de papel aluminizado reproducían el eco de los bombarderos aliados, logrando despistar a las cadenas de alerta lejana germánicas. La esencia de la idea se halla en la propia fórmula física de la señal de radar recibida en el receptor es:

$$P_R = \frac{P_T G L^2 \delta}{(4\pi)^3 R^4}$$

De ella se deduce que la magnitud denominada Sección Radárica Equivalente (RCS en inglés) —representado por la "δ" en la fórmula— se mide en metros cuadrados, y es un importante factor que multiplica el valor total de la señal recibida y que, además, va a servir de pauta para determinar el alcance de un equipo de radar (7). La RCS depende de una serie de factores tales como la frecuencia, la polarización de la señal y los ángulos de aspecto (blanco-equipo de radar). Y puesto que a su vez esos factores dependen del tipo de radar iluminador, de la plataforma transportadora y de la misión que dicha plataforma realiza, en última instancia se viene a depender del tipo de amenaza presente.

Ahora bien, cuando se trata de estudiar de modo sistemático y abstracto el grado de furtividad de una plataforma —avión, buque, misil, etc.— ya no se obtiene un simple número. Mediante trabajos en cámara anecoica es preciso realizar mediciones de todas las posibles respuestas a toda la gama de frecuencias, para cada uno de los cuatro tipos de polarización posibles (8), y ello desde todos los puntos en un azimut de 360°, obteniendo una serie de curvas polares. Más aún, si la plataforma va a evolucionar en altura, relativamente al radar —caso de las aeronaves—, será también necesario extender las mediciones en elevación, 360°. Como se ve, la tarea es muy compleja y más aún si se tiene en cuenta que la información obtenida a través del radar finalmente es de tipo estadístico, con variaciones muy importantes incluso entre pulso y pulso. Todo ello hace que las mediciones de laboratorio manejadas acaben siendo valores promedio, porcentajes y densidades de probabilidad.

Por fin, los trabajos conducen a otro nivel superior de complejidad cuando se tiene en cuenta que el blanco no es un punto ideal, sino un conjunto tridimensional de centros de dispersión o rebote del radar. Por tanto, la distribución espacial —tridimensional— de esos centros, que producen reflejos y ruido electrónico de fondo, es lo que finalmente hay que obtener, según diversos ángulos de aspecto y sistemas de polarización, así como frecuencias.

(7) Y así se dice de un radar que tiene un alcance de "N" kilómetros contra un blanco-referencia de una RCS de "x" metros o centímetros cuadrados.

(8) Las polarizaciones posibles son: HH, HV, VH y VV. La primera letra corresponde a la polarización en transmisión y la segunda en recepción. Así pues, en el segundo de los casos tendríamos polarización horizontal en transmisión y vertical en recepción.

Recapitulando pues, el concepto de la RCS se ha ido complicando sucesivamente al profundizar en sus aspectos concretos: de una mera dimensión en metros cuadrados a un gráfico de coordenadas polares, para pasar a ser una variable estadística aleatoria y, finalmente llegar a estudiarlo como una representación gráfica tridimensional de distribución de centros de rebote de señales.

Con el fin de facilitar el trabajo se han estudiado sistemáticamente una serie de formas simples (9), de las que se deduce, abreviando, que para reducir lo más posible la RCS hay que procurar eliminar las siguientes:

- Las cavidades de todo tipo, especialmente las formadas por planos perpendiculares: producen una gran respuesta radárica rebotada en ángulos grandes. (La propia antena paraboloide de radar de un avión produce un rebote escandaloso.)
- Las grandes superficies planas, normales a la emisión, productores de fuertes rebotes en ángulos muy agudos.
- Las formas cilíndricas que también producen altos RCS, desde cualquier ángulo de azimut de la emisión.

Ahora bien, puesto que existen grandes diferencias de RCS según el ángulo de iluminación, e incluso variaciones en la anchura de los ángulos de reflexión, y todo ello varía con las frecuencias, podemos sacar como consecuencia que:

- Habrá que aceptar compromisos a la hora de diseñar una plataforma furtiva, buscando la mejor solución posible para afrontar un tipo concreto de radar enemigo, según la gama de frecuencias más probable y el ángulo con que mayormente se espere recibir la iluminación.
- Asimismo será necesario elegir soluciones que tengan en cuenta el ángulo de reflexión de la señal —estrecho o amplio— según evaluación de la amenaza concreta. En otras palabras, habrá que decidir si nos conviene más una RCS mayor, pero sólo observable en ángulos muy estrechos, o que la RCS sea menor pero visible desde sectores más amplios, o incluso compromisos intermedios optimizados para ángulos concretos. Se comprende que, en definitiva, estamos hablando de optimizar la plataforma para distintos perfiles de misión (10).

## Los materiales RAM

Hemos visto sólo uno de los aspectos involucrados en la reducción de la reflexión, las formas; repasemos brevemente otro: los materiales. Dejaremos de lado las pinturas y revestimientos, no por menos importantes, sino porque han sido amplio objeto de discusiones abiertas desde que aparecieron las primeras versiones del U-2 acabados en color negro mate y rugoso; desde entonces se sabe que están siendo empleadas pinturas que, inicialmente, portaban un componente de ferrita en disolución. Tal óxido metálico —asimismo empleado como soporte de cintas magnéticas— está sujeto al fenómeno de reorientación de sus moléculas bajo el efecto de los campos magnéticos asociados también al radar. Y así una parte de la energía de la señal recibida se disipa en dicha reorientación, reduciéndose la energía residual rebotada.

---

(9) Ver de Knott *Radar Cross Section*, 1985, publicado por Artech House. Constituye la obra de referencia del tema.

(10) Así, por ejemplo, los aviones de ataque táctico en misiones a baja altura recibirán las emisiones de radares enemigos en ángulos muy distintos de los que se obtienen en misiones estratégicas y a gran altura. Y, naturalmente, las características de los radares (frecuencias, tipos de polarización, etc.) también seguirán distintas pautas en uno u otro caso.

En veinte años de investigación la eficiencia de los revestimientos ha mejorado enormemente, especialmente reduciendo su peso, que era considerable. Pero no hay que olvidar que los pioneros en los acabados absorbentes fueron los alemanes, que ya durante la Segunda Guerra Mundial iniciaron su empleo.

En términos generales se puede decir que las superficies metálicas producen un rebote de la señal radárica, porque son impenetrables al campo electromagnético, mientras que las superficies no conductoras actúan como cuerpos semitransparentes: al cambiar la constante dieléctrica del medio atravesado —las ondas de radar pasan del aire al blanco— una parte de la energía recibida es absorbida, pero además tiene lugar una perturbación que genera campos electromagnéticos y con ello la aparición de nuevas ondas radar que son reflejadas.

Lógicamente, la energía de la onda reflejada en material dieléctrico será menor que el total incidente, debido a la absorción: una ventaja que prima el uso de ese material frente al metal (11).

Ahora bien, el fenómeno es complejo porque la parte de señal que penetra en la superficie dieléctrica, al llegar al fondo, vuelve a sufrir un cambio de medio y produce otra reflexión-absorción; en ella la parte reflejada reaparece en la superficie externa interaccionando con la primitiva reflexión de ese plano. Por tanto, el exacto grosor del material dieléctrico tiene un papel crucial, ya que puede llegar a permitir que esa interacción que se crea entre ondas de superficie y fondo sea opuesta en fase, y se autoanule (gráfico 4 p. 106).

Y puesto que se ha discutido antes acerca de discontinuidades y cavidades como fuentes de rebotes, eso pone de relieve que las juntas de revestimientos y estructuras en sí mismas son una fuente de ellos, tanto entre planchas metálicas como en uniones de plásticos, tornillos, etc. con sus inevitables tolerancias.

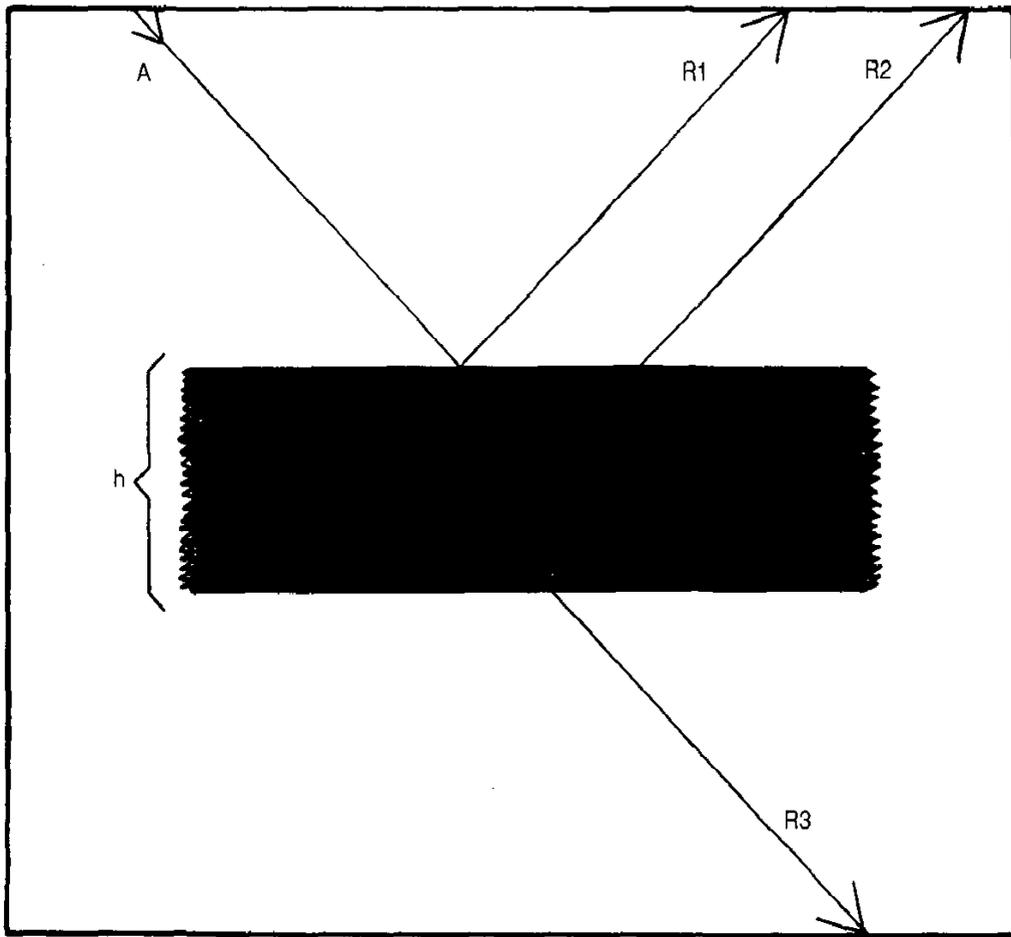
La ventaja de los nuevos materiales es que permiten en muchos casos reducir el número de juntas atornilladas, sustituidas por piezas más grandes que antes no eran factibles empleando metales, debido a la complejidad de sus formas.

Desgraciadamente los inconvenientes aparecen en cascada, porque los materiales que hemos citado plantean un nuevo tipo de problema: penetran y ponen en evidencia el interior de las plataformas. Ello exige un complejo estudio de las formas de las estructuras internas, piezas, conductos, soldaduras, refuerzos e incluso cajas de equipos electrónicos, que pasan a convertirse en fuentes de reflexiones secundarias que se escaparían, en parte, al exterior, creando así nuevas fuentes de ecos al radar, y que, por tanto, hay que estudiar, optimizar y ensayar si queremos que desaparezcan.

Un aspecto importante —especialmente cuando se trata de plataformas aéreas— es el peso de los materiales. La lucha contra su aumento ha dado lugar al menos a tres generaciones de materiales dieléctricos en los EE.UU., pasando del empleo de *cojines stealth* sobrepuestos a los revestimientos convencionales (caso de los RPV citados al principio de este trabajo),

---

(11) En lo tocante a los coeficientes de reflexión, la situación límite sería aquella en que no hubiera cambio de constante dieléctrica, lo que reduciría a cero el rebote. En el caso del ala de un avión, sería preciso para ello que la constante dieléctrica del material del ala fuera igual que la del aire, que es por donde se transmite la señal, lo cual, de momento, es imposible.



- A: Onda incidente externa.
- R1: Onda reflejada en superficie.
- R2: Onda reflejada en el fondo.
- R3: Onda transmitida al interior.
- h: Grosor del dieléctrico.

**Gráfico 4.—Reflejo en dieléctrico.**

hasta los materiales sustitutivos de revestimientos y, posteriormente, a la aparición de auténticas estructuras resistentes, *stealth* en sí mismas (12).

De lo dicho podemos sacar como conclusiones más importantes que en lo tocante a materiales *stealth* se ha tendido a huir de los metales. Pero también que los materiales pueden ser tan decisivos como los métodos de mecanizado, ensamblaje y producción: es evidente que la elección de materiales plásticos pegados y termocurados, frente a los métodos de remachado

(12) Véase el excelente trabajo de Don Richardson *The strange shapes of stealth*, publicado en la edición de septiembre de 1989 de la revista *AFM*, y donde se refiere "p. 34" no ya a los materiales RAM, sino a las (RAS): *Radar Absorbent Structures*.

clásicos del metal, reducirá las juntas y su peligrosa cualidad de emitir rebotes radar. Otra materia son las exigencias en la reducción de tolerancias, llevadas hasta límites inéditos.

Parece innecesario señalar que todos estos desarrollos son inimaginables sin poderosas herramientas CAD/CAM y de cálculo y simulación (13).

Digamos, por fin, que esos nuevos materiales RAM se producen ya en varios países, incluso con fines no exclusivamente militares (14).

### Otros aspectos de la furtividad

Hemos visto hasta ahora lo más sustancial referido a la furtividad frente al radar, pero el concepto de *stealth* —invisibilidad— es en realidad un proyecto global. Por ello, el acercamiento que desde el principio se ha realizado a los proyectos furtivos ha sido multidisciplinario, en pos de eliminar todas aquellas “firmas” que podrían ser usadas para localizar, seguir y destruir una plataforma. Aunque se dispone de muy pocos datos precisos acerca de los trabajos de reducción de firmas, el sentido común y otras experiencias conocidas nos dan las claves más significativas en el campo de la furtividad.

Veamos primero la visión óptica, puesto que es el sensor humano más importante. Es para rehuirla por lo que las misiones furtivas sólo se realizan de noche, ayudándose de los revestimientos externos oscuros y, de ser posible, en situaciones de falta de luz lunar que podrían aprovechar los cazas nocturnos adversarios.

El sentido del oído es de un interés relativo en el caso que nos ocupa porque no es suficiente para situar con precisión la fuente de ruido en el espacio sin ayuda de la vista y, más importante aún: no existen —de momento— sistemas de armas que funcionen en la atmósfera, asociados a sensores acústicos, aunque los hubo (15). De modo que, para el diseñador de *stealth*, el ruido constituye una mínima preocupación. (Ciertas plataformas navales, los pequeños aviones sin piloto, y los vehículos terrestres ya son objeto tradicional de reducción de firma acústica y así continuará siendo previsiblemente.)

El otro sensor de mayor peligro que hay que procurar eludir es el detector de infrarrojos, que sí está —y cada vez con mayor peligrosidad— asociado a sistemas de armas.

Por ello, después de lograr reducciones en firma radárica, los investigadores de *stealth* se han volcado en la eliminación de firma calorífica. Como era previsible, las salidas de turbinas han sido las primeras afectadas: tanto el *F-117A* como el *B-2* poseen unas salidas de gases situadas en la parte superior del ala, con lo que un detector situado en tierra jamás podrá apuntar directamente al punto caliente citado. Se asegura, por otra parte —y es lógico suponerlo así porque el método ya se ha aplicado en helicópteros de ataque—, que existe una dilución o mezcla de los gases de escape calientes, con aire ambiental, en las exhaustaciones, a

(13) En inglés, textualmente, *Computer Asisted Design/Computer Asisted Manufacturing*.

(14) Por firmas estadounidenses, inglesas, y luego otras germanas como MBB con su novedosa espuma metálica *Giga-Ram*. Ver el trabajo editorial *Innovative Materials Absorb Radar Beams*, edición 4.ª, 1989, en *New-Tech-News*, p. 23 y ss., publicación de la empresa citada.

(15) Durante la Primera Guerra Mundial y años siguientes, la defensa antiaérea disponía de una suerte de enormes trompetas estereofónicas destinadas a conocer la dirección de llegada de los bombarderos. El radar las sustituyó por su falta de precisión.

fin de que el contraste térmico que encuentre un detector de calor —entre el ambiente y la trasera del avión— sea lo más reducido posible.

Otro aspecto del que apenas se conoce poco más que la idea general es el trabajo realizado con el fin de evitar que la plataforma sea indiscreta por sus emisiones activas —voluntarias o no— y es que resulta difícil concebir un avión que no disponga, por ejemplo, de radar altimétrico, que no emplee transmisores y que, además, no emita diversos tipos de emisiones electromagnéticas fruto de sus pantallas de presentación, cableados internos, osciladores que forman parte de sus equipos, etc.

Pues bien, hay que eliminar todas esas emisiones y ello se realiza en unos casos por apantallado, aislamientos y tomas de masa especiales —técnica similar a las cámaras de *Faraday* que se emplean para evitar fugas en salas de comunicación, etc.— y otras veces inventando alternativas: por ejemplo, el radar altimétrico convencional se sustituye por los nuevos *Ladar* —*Laser/Radar*— como los que *Hughes* ha venido desarrollando el último decenio. Podría contribuir a ese apantallado el uso de micrométricas deposiciones de oro entre capas de cristal en las cabinas (16). El tema debe ser bastante más complejo en el caso de grandes plataformas como los buques.

Por último, hay que señalar que todo el trabajo de conseguir plataformas furtivas quedaría muy perjudicado si no se adoptaran determinadas medidas de seguridad operativa, incluyendo las de decepción. Así, resulta muy arriesgado emplear aviones cisterna convencionales en operaciones *stealth*, porque la toma de combustible exige unos comportamientos estándar que traicionan el repostaje, y ello podría contribuir a reducir el efecto de sigiliosidad en función, naturalmente, del adversario. Además, esa dependencia podría provocar la eliminación del avión furtivo, simplemente derribando todos los cisterna hasta que aquél quedara sin combustible. Sin duda este tipo de consideraciones se han estudiado y planificado intensivamente en los EE.MM. norteamericanos, coincidiendo con la entrada en servicio de los aviones a los que nos venimos refiriendo.

### **España y escudo: los métodos *antistealth***

Siguiendo el clásico esquema de la espada y el escuro, era lógico suponer que de la mano de los métodos de furtividad, se intentase hallar otros métodos para anular aquéllos. En el caso que nos ocupa, por dos motivos: ante todo, los norteamericanos pretendían estar seguros de que la enorme inversión a realizar, no iría a convertirse en humo de pajas, anulando sus ventajas por métodos baratos para el adversario. Pero en segundo lugar, para prever la situación inversa, es decir, adelantarse al momento inevitable en que los soviéticos —y otros países—, pusieran también en servicio plataformas furtivas. Se ha sabido recientemente que, con tales ideas en mente, ya en 1981 a medida que avanzaba el proyecto *F-117* se organizó un grupo de expertos denominado *Red Team*, que, actuando como abogados del diablo, empezaron a evaluar sistemáticamente los posibles métodos *antistealth*. El equipo intervino a nivel teórico y práctico, participando ya en los ensayos operativos del citado avión y actualmente trabaja sobre el *B-2* (17).

(16) Ver de Joris Jansen *Stealth modified F-16 in service*, *Jane's Defence Weekly*, ed. 27 de enero de 1990, p. 133.

(17) Ver de David F. Bond *USAF study asserts that soviet defenses would be ineffective...*, p. 29 de *Aviation Week & Space Technology (AW&ST)*, 30 de octubre de 1989, EE.UU.

Este equipo ha facilitado una lista de 28 métodos *antistealth* —de entre más de 40 evaluados pero mantenidos bajo secreto— que, de momento, no parece que puedan ser considerados efectivos por diversas razones, incluidas las económicas, la falta de madurez tecnológica, etcétera.

Desde un punto de vista teórico, sin embargo, se admite que en general un radar será tanto más efectivo —aun residualmente efectivo— frente a una plataforma *stealth*, cuanto mayor longitud de onda tenga (es decir, cuanta menor frecuencia) debido a que las dimensiones de las partes del avión, misil, etc., se acercan más a la longitud de onda del radar más habitual que a las de los de baja frecuencia.

Por eso, aun cuando la labor sea muy difícil si, como se afirma, la RCS del B-2 se mide en algunos centímetros y, por tanto, puede confundirse con una ave en vuelo, la tendencia es a estudiar el uso de ese tipo de radares como posible medio *antistealth*. Otra cuestión es de que modo serán afrontadas las pega que esas frecuencias provocan, especialmente la falta de precisión y la gran tolerancia en la determinación de distancias al blanco. (Aparte el hecho de que aun localizado, por ejemplo un B-2, no podrá ser seguido por el otro radar asociado al *tracking* del misil antiaéreo: con lo cual el derribo está fuera de cuestión...)

Otro medio que parece prometedor, listado sin embargo como no útil por el *Red Team*, es el radar denominado de banda ultraancha y su derivado, de impulsos. Se trata de una variante en desarrollo que, en lugar de enviar impulsos u ondas continuas en una banda muy estrecha de frecuencias, como es habitual, lo hace en un espectro amplísimo y simultáneo, que va desde frecuencias de red hasta los gigaherzios (18).

El motivo por el cual todavía no es útil parece ir ligado a los inconvenientes de madurez que presenta: problemas para generar la energía suficiente para desencadenar la masiva emisión, y problemas después, para tratar en tiempo real toda la información que llega, en todas las bandas de frecuencias de modo simultáneo.

Lo segundo exigirá tiempo y seguramente el uso de ordenadores que empleen avanzados sistemas, como el procesado en paralelo, pero parece haberse hallado ya un dispositivo —el semiconductor de avalancha— capaz de solucionar la primera de las carencias: crear los enormes impulsos para generar emisión, lo que solucionaría el inconveniente más grave (19).

La conclusión que parece derivarse de todo ello es que, en cualquier caso, la tecnología *stealth* continuará ofreciendo ventajas insalvables en un plazo previsible (cuadro 1 p. 110) y, por tanto, que pasará paulatinamente a formar parte de todos los sistemas de armas avanzados, en mayor o menor medida. Más aún, la síntesis de nuevos materiales y estructuras RAM ya hace posible que antiguas plataformas que no fueron diseñadas con esa especificación, la incorporen a lo largo de su vida operativa, mediante procesos de modificación simples: es el caso recientemente divulgado de los F-16 norteamericanos y holandeses, objeto de *refittings* que les dan propiedades furtivas (20), reduciendo hasta el 40 por 100 su sección radárica equivalente frontal. Con la ventaja que eso les proporciona en combates frontales con misiles aire-aire.

---

(18) Ver de W. B. Scott *UWB Radar has potential to detect Stealth aircraft*, AW&ST, ed. 4 de diciembre de 1989, p. 38 y ss.

(19) Ver de Breck W. Henderson *Superfast switch key to Ultra-Wideband Radar*, AW&ST, ed. 26 de febrero de 1990, pp. 55 y 56.

(20) Ver de Joris Jansen *op. cit.*

Por todo ello, parece cada vez más necesario que cualquier país que pretenda mantenerse al día en lo que a las nuevas tecnologías militares se refiere, realice trabajos de I+D y aplicación en el campo que nos ocupa. Ello será cada vez más acuciante para todos los ejércitos.

**Cuadro 1.—Las ventajas de la furtividad**

F. Bessi y F. Zacca \* enumeran así las ventajas de reducir la RCS:

- Prevenir o, al menos, retrasar o deteriorar la detección por los radares enemigos.
- Obligar al radar enemigo a aumentar su potencia de transmisión en provecho de los sistemas propios de ESM.
- Prevenir la clasificación correcta del blanco mediante el análisis de los "puntos calientes" al radar.
- Inducir al enemigo a minusvalorar las dimensiones del blanco.
- Reducir la potencia de *jamming* necesaria para autoprotección.
- Reducir el alcance de autoapantallado, o sea, la distancia mínima a la que un *jammer* transportado protege el blanco.
- Reducir el peso de *chaff* necesario para enmascararse o, alternativamente, aumentar la duración del *chaff* transportado.
- Hacer posible el uso de *chaff* en grandes plataformas (buques especialmente), escapando del límite superior de RCS posible.
- Si la RCS es suficientemente pequeña, posibilitar el uso de pequeños reflectores que, alterando dinámicamente la "firma", induzcan a engaño en la clasificación y confundan a los sistemas de armas adversos, desviándolos.
- Reducir la efectividad de los sistemas de armas enemigas inyectando ruido término (para RCS muy pequeñas) o "reflejos" (por la presencia de distintos centros de rebote de ecos) en los bucles de *tracking*.
- Simplificar la construcción y despliegue de engaños que, de manera efectiva, dupliquen la firma radárica de la plataforma.

COMO CONCLUSIÓN DEFINITIVA: INCREMENTAR LA POSIBILIDAD DE SUPERVIVENCIA DEL BLANCO

\* En *Introduction to stealth*, Miltech, 5/89, p. 68 y ss.