

La navegación pasiva en aviones de combate

JOSE IGNACIO ARIZAGA ALVAREZ,
Comandante Ingeniero Aeronáutico

REALIZAR con éxito la misión encomendada es el fin primordial de cualquier avión de combate. En el caso concreto de una misión de interdicción, el avión deberá ser capaz de adentrarse en territorio enemigo, alcanzar el objetivo asignado y proceder a su destrucción o neutralización. Para llevar a cabo cada una de estas fases de la misión con éxito, deberá asegurarse previamente una mínima probabilidad de supervivencia mediante el establecimiento de una serie de técnicas y tácticas dirigidas contra los sistemas de armas enemigos. Para ello los aviones de combate actuales son dotados de medios de Guerra Electrónica desde su primera fase de concepción y ya durante su fase operativa, el piloto deberá conocer las tácticas más adecuadas ante determinados sistemas de armas amenaza.

No se tratará en este artículo del análisis de estos medios y tácticas sino de otros medios que sin estar directamente ligados a los de Guerra Electrónica influyen muy positivamente en la reducción de la vulnerabilidad de la plataforma aérea. Nos referimos a los medios de navegación encargados de suministrar al piloto la información necesaria para la utilización de su armamento, así como el medio de alcanzar su objetivo con una exposición mínima a los sistemas de armas enemigos. Este es el caso concreto de un sistema de navegación de alta precisión que permita volar lo más próximo al terreno posible y de una forma pasiva, esto es limitando al máximo la emisión de ondas de radiofrecuencia. Este sistema incluiría tres tipos distintos de navegación actuando de una forma sinérgica: Navegación Inercial (INS), Navegación por Referencias del Terreno (TRN) y Navegación por Satélite (GPS).

NAVEGACION INERCIAL (INS)

AUNQUE este tipo de navegación es ampliamente conocido, se exponen a continuación unas ideas básicas para pasar posteriormente a analizar algunas innovaciones tecnológicas en este campo.

Los sistemas de navegación inercial están basados en un principio físico muy simple, un detector se encarga de medir las fuerzas de inercia a las que la plataforma está sometida y originadas por los movimientos del avión. Esta información es procesada básicamente mediante dos sencillas operaciones de integración que nos proporcionarán valores de la velocidad del avión y de la posición de la plataforma.

La realización práctica de esta simple idea resulta algo más compleja pues, al margen de otros factores correctivos que deberán tenerse en cuenta, hay que disponer de un dispositivo de referencia que permita establecer unos ejes coordenados donde se proyectarán los vectores aceleración, velocidad y posición. Además el sistema deberá permitir la introducción de los parámetros iniciales del avión para poder efectuar la integración.

Los sistemas clásicos de navegación inercial utilizan como dispositivo de referencia plataformas giroscópicas que permiten definir un triedro de referencia relativo a la vertical local y al Norte geográfico. Instalados en el interior de este sistema de referencia se colocan los acelerómetros, dos horizontales para la detección de las fuerzas de inercia y en algunos casos, un tercer acelerómetro destinado a compensar las variaciones de la fuerza de la gravedad para distintas posiciones geográficas.

Una mejora sustancial de estos sistemas se ha logrado con la aplicación de técnicas de proceso digital. Con esta capacidad de cálculo añadida al sistema se ha conseguido separar físicamente la parte de referencia giroscópica de los acelerómetros sensores de las fuerzas inerciales. Estos últimos se sitúan fijos a la plataforma aérea simplificándose de esta forma el proceso de fabricación y reduciendo la probabilidad de fallos del equipo. Estos equipos son conocidos con el nombre de "strap down" debido precisamente a la fijación de los acelerómetros a la plataforma aérea.

Pero la innovación tecnológica más revolucionaria en este tipo de sistemas ha sido la introducción de la técnica láser como referencia del sistema en sustitución de los clásicos giróscopos. Esta técnica se basa en la generación de dos rayos láser que recorren un circuito cerrado, normalmente triangular, pero en sentidos opuestos. Si se hace girar el triángulo respecto a un eje perpendicular al plano por él definido, el camino recorrido por uno de los rayos (aquel cuyo sentido de propagación coincide con el del giro efectuado) será mayor que el camino recorrido en una situación completamente estática. En el caso del otro rayo generado, el camino recorrido se acortará por la misma razón.

Teniendo en cuenta que la velocidad de propagación de la luz es una constante independiente del sistema de referencia y por otra parte la pureza espectral de las radiaciones láser, se pueden detectar diferencias de frecuencias respecto a la original del rayo láser generado, que corresponden a distintas velocidades de giro del conjunto.

La detección de estas variaciones frecuenciales se realiza mediante el uso de sensores interferométricos. Los haces emergentes del anillo triangular se hacen pasar por un dispositivo óptico (conjunto compuesto por una

serie de espejos y prismas) mediante el cual se consigue que ambos rayos generen un diagrama de difracción. En el plano donde se produce este diagrama se colocan dos detectores tipo fotoeléctricos, espaciados una distancia equivalente a 90 grados en dicho diagrama. La salida de estos detectores es de tipo digital y ya contiene la información de velocidad angular, puesto que al girar el vehículo soporte, las frecuencias de ambos rayos varían respecto a la inicial, originando un desplazamiento de las líneas del diagrama de difracción, que es captado por los detectores.

Los sistemas de referencia a rayo láser se pueden clasificar en dos grupos, los sistemas activos y los pasivos. En los primeros, el haz láser es generado en el interior del anillo, encontrándose por lo tanto en su interior el material a excitar. Normalmente se utilizan los láser de gas y concretamente los de tipo helio-neón, aunque en los casos de aplicaciones misilísticas se han utilizado láseres de tipo sólido como los de arseniuro de galio.

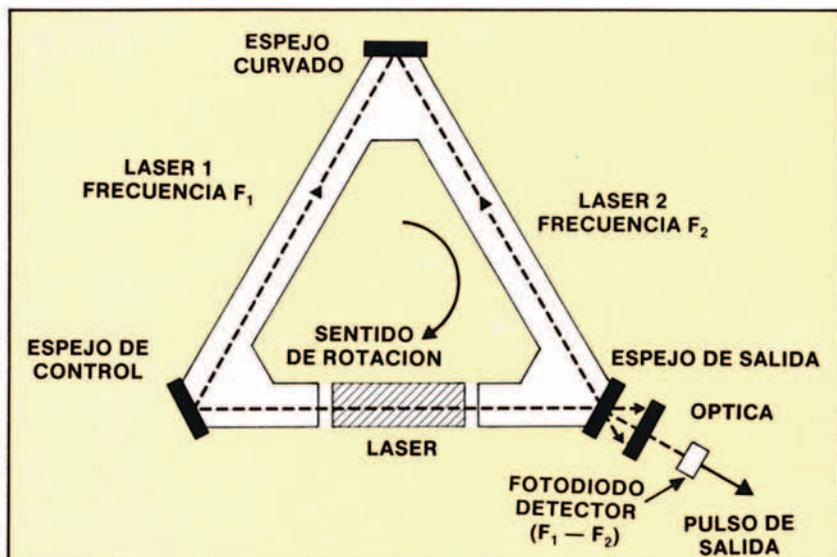
En los sistemas pasivos, el rayo láser se genera fuera del anillo, siendo posteriormente conducido al interior del anillo mediante la utilización de fibras ópticas.

Las ventajas principales que presenta un sistema de referencia a rayo láser sobre los sistemas convencionales de tipo mecánico se derivan del hecho de no disponer los primeros de partes móviles. Debido a ello los nuevos sistemas son más resistentes mecánicamente y por otra parte la sensibilidad gravitacional y los esfuerzos generados durante giros de alta velocidad angular se ven atenuados. Se puede decir que en general los errores debidos a choques mecánicos y a vibraciones son menores que en los sistemas giroscópicos. Estos sistemas pueden soportar giros con velocidades angulares de hasta los 1000 grados por segundo.

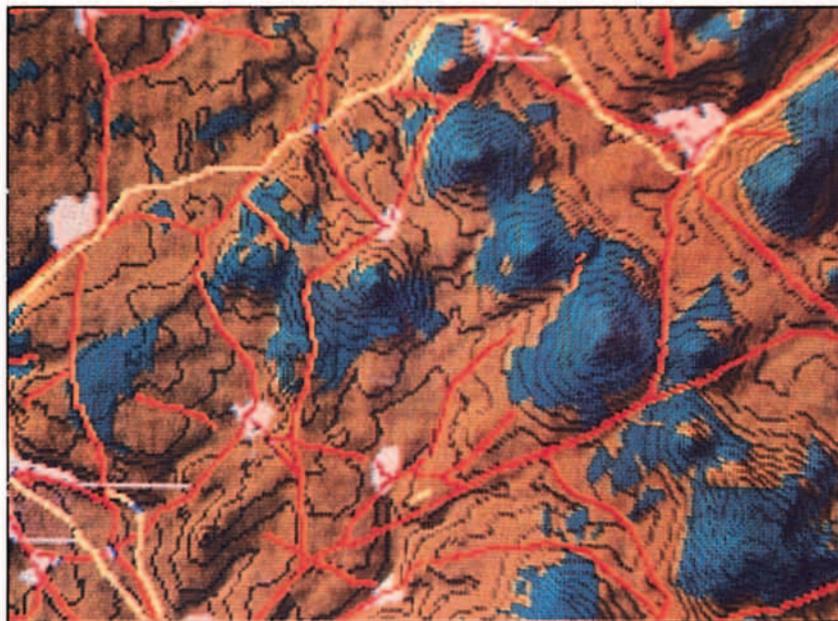
Otra ventaja operativa de estos sistemas es el hecho de no necesitar un excesivo tiempo para alcanzar su estado operativo, como es el caso de los sistemas basados en giroscopos (tiempo de alineación). En menos de un segundo se pueden disponer de una capacidad operativa limitada y en unos cuatro segundos se puede alcanzar la plena operatividad.

Uno de los problemas que se achacan a estos nuevos sistemas es su elevado coste comparado con los sistemas clásicos. No obstante conviene tener presente que sus costes de operación serán también inferiores debido a su alta fiabilidad al no disponer de partes móviles. Así, mientras un sistema clásico tiene un tiempo medio entre fallos (MTBF) del orden de las 500 horas, un sistema tipo láser alcanza las 2000 horas.

Una prueba de la mayor precisión que se puede alcanzar con un sistema inercial láser es el informe final referente a una serie de vuelos realizados por aviones F-15 de las Fuerzas Aéreas de los Estados Unidos. Estos aviones fueron equipados con sistemas de navegación inercial con referencia láser H-770 de la empresa Honeywell. El error circular medio al cabo de los cinco primeros vuelos fue de tan sólo 0,24 millas a la hora. En un sistema clásico estos errores son del orden de una milla a la hora. Actualmente las empresas especializadas en este campo están desarrollando distintos modelos para aplicaciones en aeronaves y misiles (Litton, Honeywell, Ferranti, British Aerospace, Singer-Kearfott, etc).



Esquema del giroscopo láser



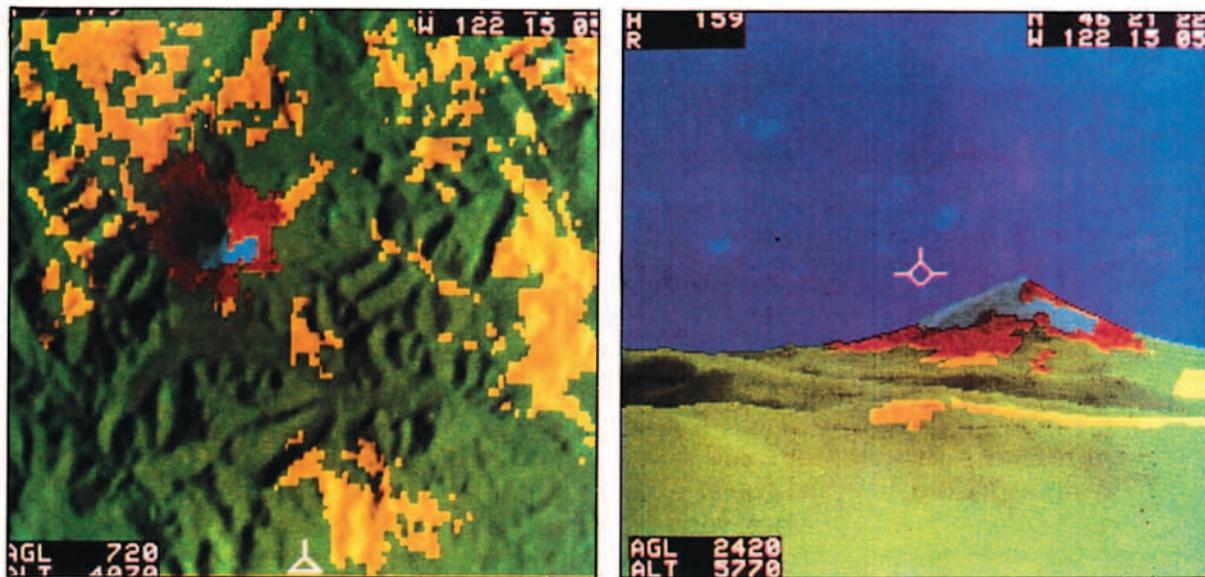
Fotografía de la imagen generada por un mapa de terreno digitalizado que será utilizada durante la Fase 2 del programa de pruebas en vuelo del F-16 AFTI

Volviendo a los sistemas de navegación inercial en general, se puede decir que la principal ventaja de su utilización en los aviones de combate es la total independencia de otro tipo de ayudas exteriores para su normal funcionamiento (sistema autónomo). Esto le permite disponer de una cobertura de funcionamiento global en cualquier zona de operaciones. Otra ventaja para su utilización militar es que el sistema no realiza emisiones de radiofrecuencia durante su operación, favoreciendo por lo tanto la no detectabilidad de la plataforma aérea.

Desgraciadamente tenía que existir una desventaja que impide la utilización de estos sistemas de una forma totalmente independiente de los otros equipos de aviónica. Los errores a los que anteriormente nos hemos referido tienen un carácter acumulativo, requiriendo por lo tanto una actualización periódica del sistema mediante otro sistema exterior si se necesita mantener una navegación precisa durante el tiempo que dura la misión aérea. El caso normal es que el sistema de navegación inercial pueda ser actualizado por varios procedimientos, precisando alguno de los mismos la emisión de energía electromagnética para su funcionamiento y aumentando por lo tanto la detectabilidad del avión.

NAVEGACION POR REFERENCIAS DEL TERRENO (TRN)

DESDE los primeros años de la historia de la aviación, la navegación por referencias topográficas permitía a los pilotos alcanzar sus destinos con la única utilización de la instrumentación básica del avión, un mapa del terreno sobrevolado y su sistema de visión natural. Las limitaciones de este sistema, principalmente las de tipo meteorológico y de utilización diurna, han obligado a la incorporación de otras técnicas más depuradas como es el caso de la utilización de las ondas electromagnéticas en los sistemas actuales de navegación.



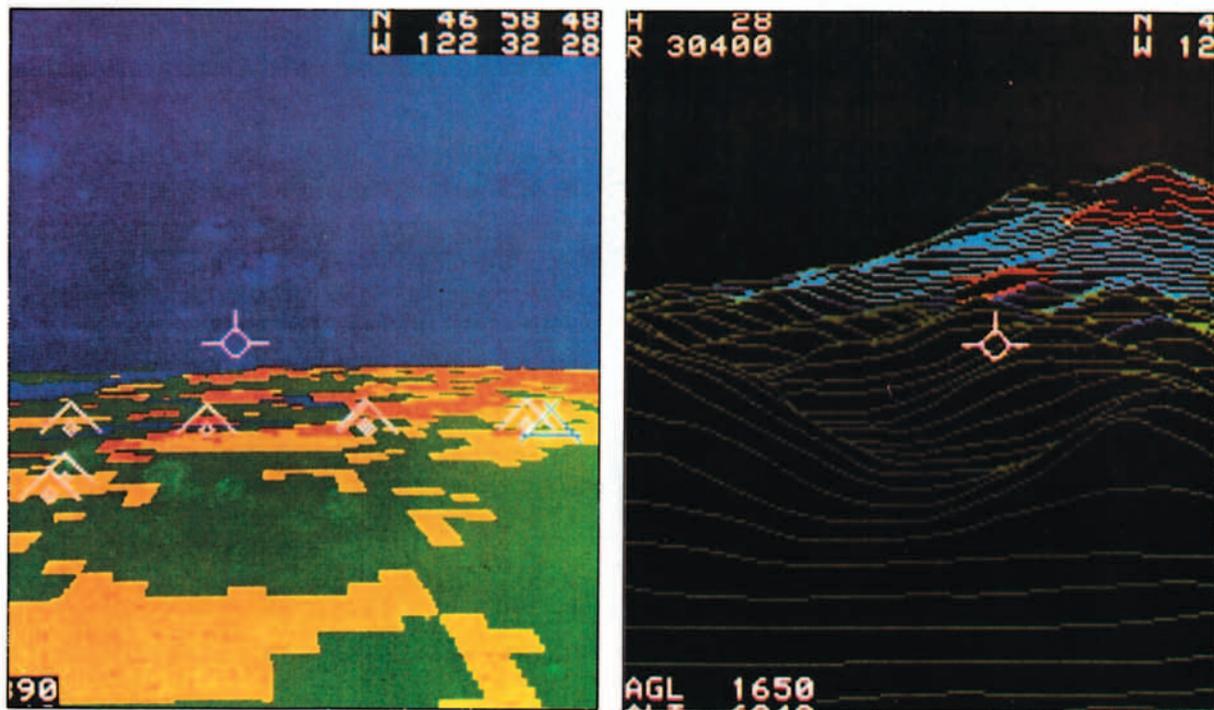
Presentación en planta y en perspectiva de un mapa electrónico de Hughes

Pero el principio utilizado por los sistemas de navegación primitivos aún se mantiene en servicio aunque los medios utilizados para efectuar la comparación entre los accidentes topográficos reales y los de referencia sean de una generación tecnológica mucho más avanzada. Y la razón de que estos sistemas continúen aún en servicio se debe a la necesidad de mantener cotas de vuelo cada vez más baja para permitir una aproximación al objetivo en un ambiente de alta densidad de amenazas. Afortunadamente para los aviones de combate, los radares asociados a los sistemas de armas enemigos basados en tierra cuentan con la limitación del horizonte visual para poder detectar posibles incursiones en su espacio aéreo. Si además se consigue aprovechar la orografía del terreno, se podrá disminuir la probabilidad de detección y por lo tanto la de ser derribado.

Los primeros sistemas que han permitido este tipo de navegación a baja altura sobre el terreno se han basado en la tecnología radar, permitiendo un seguimiento real del terreno o simplemente evitando los obstáculos por encima de una determinada altura. Aunque la ventaja de estos sistemas es que no necesitan un conocimiento previo del terreno a sobrevolar, tienen el inconveniente de su carácter eminentemente activo, incrementando por lo tanto la detectabilidad de la plataforma portadora.

La necesidad de volar lo más próximo al terreno y de una forma pasiva es lo que ha dado origen a los actuales sistemas de navegación por referencias del terreno. Básicamente el sistema está compuesto por los siguientes subsistemas. Un sensor del ambiente real sobrevolado por el avión, encargado de medir ciertos parámetros de la orografía terrestre. Una memoria donde se ha almacenado previamente un mapa digital tridimensional de la superficie del terreno a sobrevolar y que servirá de referencia para la solución del problema de navegación. Un procesador encargado de efectuar la correlación entre los datos medidos y los previamente almacenados. Y finalmente la unidad de interconexión con otros equipos de aviónica a través de un transmisor de datos digitales. El nivel de integración de estos subsistemas dependerá del nivel de la tecnología utilizada en su desarrollo.

Al margen de las características que debe reunir el procesador utilizado, principalmente en lo que se refiere



Presentación de una zona urbana y de una zona accidentada con líneas de contorno mediante un mapa electrónico (Hughes)

a su velocidad de proceso, así como sus algoritmos de correlación, se plantean dos problemas importantes en el desarrollo de este tipo de sistemas. Por una parte está la obtención de los mapas digitales tridimensionales con la resolución necesaria para este tipo de aplicaciones. Gran parte de los desarrollos actuales están apoyados por la Agencia Cartográfica de Defensa (DMA) de los Estados Unidos, al disponer de unas bases de datos de mapas tridimensionales digitalizados de gran precisión. Estos mapas se obtienen mediante fotogrametría aérea cuya precisión es muy superior a la de los métodos tradicionales cartográficos.

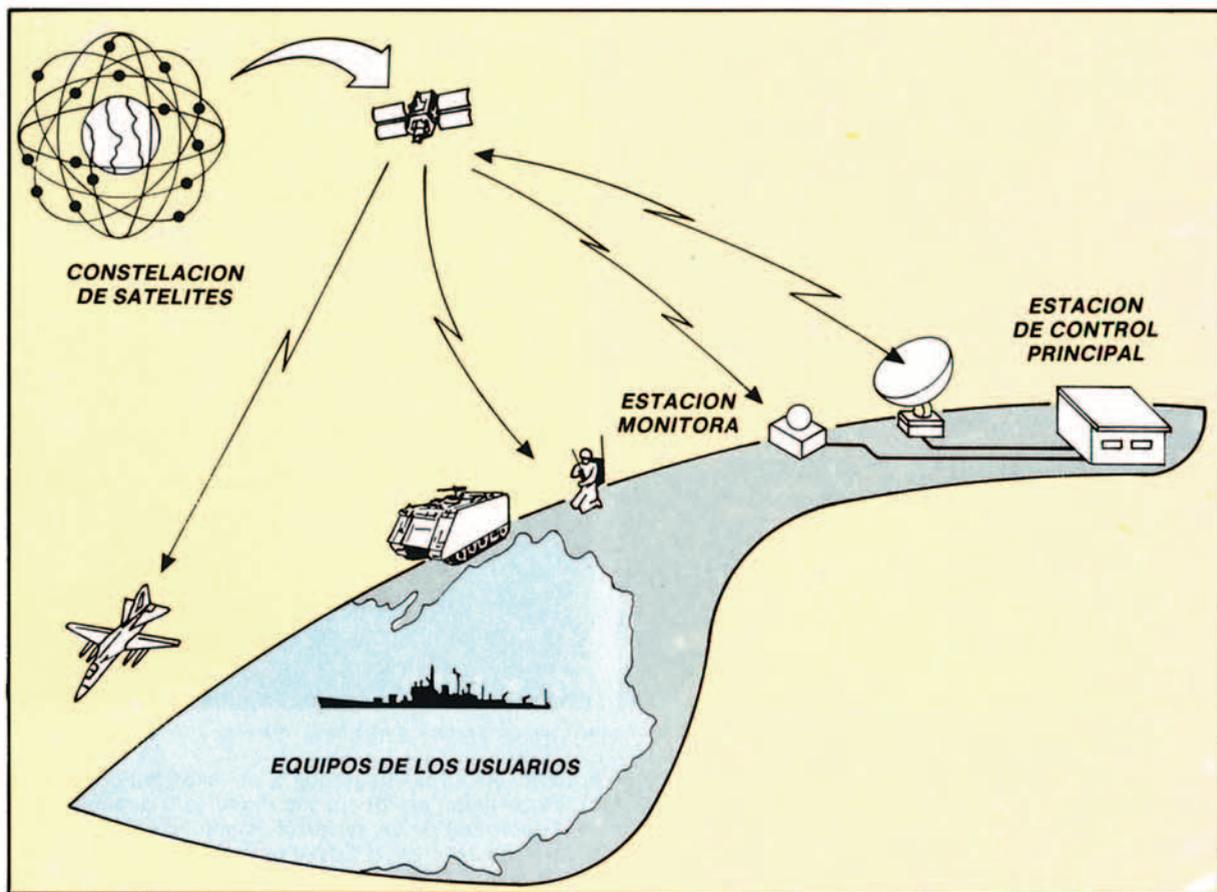
El segundo problema importante a tener en cuenta se refiere a los medios utilizados para poder obtener la información tridimensional real del terreno sobrevolado. El equipo básico puede ser un sensor óptico, preferiblemente infrarrojo para disponer de capacidad de ataque nocturno (podría ser un equipo FLIR de gran angular). Pero este equipo únicamente suministra un mapa real del terreno sobrevolado en dos dimensiones, careciendo por lo tanto de la coordenada vertical. Para ello habría que utilizar otro equipo adicional que permita situar la escena en altura. En este sentido se han utilizado técnicas radáricas por ondas de radiofrecuencia y más recientemente por láser. Desgraciadamente en este caso ya se están introduciendo dispositivos activos que vulneran el principio de indetectabilidad al que se tiende.

Aunque en las aplicaciones de estos sistemas a los aviones de combate existe actualmente una gran actividad a nivel de investigación y desarrollo, su utilización en misiles data de hace varios años. Este es el caso del misil tipo crucero TOMAHAWK que en sus distintas versiones ha utilizado sistemas de seguimiento del terreno basados en sensores ópticos infrarrojos y radioaltímetros para la medida de la componente vertical. El sistema TERCOM (Terrain Comparison) tiene almacenado en memoria un mapa histográfico digitalizado y mediante un detector óptico capta los accidentes del terreno que posteriormente compara con los del mapa almacenado. En la versión del misil superficie-superficie se utiliza un sistema similar, el DSMAC (Digital Scene Matching Area Correlator) que en lugar de comparar los accidentes del terreno, se basa en las diferencias de luminosidad del terreno lo que le permite una mejor actuación en terrenos llanos.



Perspectiva de visión delantera tal y como la vería el piloto (Hughes)

Pero volviendo a las aplicaciones en los aviones de combate, se puede decir que los avances conseguidos en los últimos años han sido de una gran magnitud. En el año 1986 el avión F-16 del programa AFTI de la USAF realizó una serie de pruebas en la Base Aérea de Edwards con el sistema DTMD (Digital Terrain Map and Display System) de la empresa Harris. Este sistema presenta además la ventaja de poder presentar al piloto una imagen digitalizada del terreno incluso mucho más allá de su horizonte geográfico, permitiéndole por lo



Sistema de navegación global NAVSTAR GPS

tanto la adquisición del objetivo a grandes distancias a pesar de su baja altura de vuelo y el inicio de las maniobras más adecuadas para efectuar su aproximación. La empresa Hughes ha realizado un gran trabajo en el campo de los mapas digitales y pruebas de ello son las fotografías adjuntas. La empresa Honeywell está actualmente llevando a cabo una serie de pruebas de sus mapas digitales en aviones tipo F/A-18 y AV-8B. En algunos casos, estos equipos sólo mejoran la presentación de la información al piloto, pero en cualquier caso la tendencia será siempre a su utilización para permitir una navegación por referencias del terreno.

En el continente europeo existe también una gran actividad en este campo. Así, la empresa británica Ferranti ha desarrollado un sistema de navegación por referencias del terreno combinado con un sistema de navegación inercial conocido con el nombre de PENETRATE. El sistema incorpora un mapa digitalizado tridimensional efectuando las correcciones de altura con un radioaltímetro. El mapa almacenado tiene una capacidad para almacenar los datos geográficos correspondientes a un corredor de unos 1.800 por 10 kilómetros. La empresa British Aerospace ha desarrollado también un sistema de navegación por referencias del terreno llamado TER-PROM (Terrain Profile Matching) que ya ha sido probado en aviones Tornado y Jetstream y en un F-16 de la USAF. Para comercializar este sistema en los Estados Unidos la empresa americana Collins de Rockwell International ha firmado un acuerdo con la empresa británica.

NAVEGACION POR SATELITES

La idea de utilizar satélites para funciones de navegación no es nueva en absoluto y prueba de ello son los programas llevados a cabo desde la década de los setenta. Este es el caso de los programas TRANSIT y TIMATION llevados a cabo por la Marina de los Estados Unidos y el programa 612B de su Fuerza Aérea. De estos programas sólo el TRANSIT entró en servicio operativo en 1964, acordándose refundir los demás en uno sólo con el nombre de sistema de navegación global NAVSTAR GPS a desarrollar por la División Espacial del Mando de Sistemas de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos.

El sistema total estará formado por el segmento espacial, el segmento de control y los equipos de los usuarios. El segmento espacial estará formado por una constelación de 18 satélites operativos más tres de reserva. Los satélites operativos se situarán en seis órbitas situadas a una altura de unos 20.000 kilómetros y con una inclinación de 55 grados con el ecuador. El segmento de control se compone de una estación central de control situada en Estados Unidos y otras cinco estaciones monitoras repartidas por el globo terráqueo. El equipo del usuario es un receptor de radiofrecuencia que utiliza las señales recibidas del satélite para distintas aplicaciones.

El sistema permite posicionar la plataforma del usuario en tres dimensiones y además disponer de una refe-



Receptor GPS de Plessey para aviones de combate

rencia temporal común de alta precisión. El sistema puede proporcionar también la velocidad de la plataforma con elevada precisión. Para suministrar esta información el sistema se basa en el conocimiento de la posición de los satélites, estimando el tiempo en recibir sus señales y por lo tanto su distancia a los mismos. Como debe suministrar cuatro parámetros distintos (las tres coordenadas de posición del vehículo y el tiempo) el receptor del usuario necesita tener a la vista al menos cuatro satélites para poder resolver el sistema de cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas.

Existen dos tipos de receptores, unos de alta precisión (inferior a 16 metros de CEP) dedicado principalmente a aplicaciones militares y otro de menor precisión para aplicaciones civiles. La utilización futura de estos equipos permitirá prescindir de los sistemas similares de navegación situados en la superficie terrestre como el sistema OMEGA y LORAN C, también basados en el uso de ondas electromagnéticas. Algunos países prescindirán incluso de los clásicos sistemas TACAN, VOR y ADF/NDB en el futuro.

La aplicación de este sistema a la aviación de combate permitirá disponer de una serie de información inestimable relativa a la posición y velocidad del vehículo de elevada precisión, así como una referencia temporal estándar imprescindible para el funcionamiento de otros equipos del avión. Y toda esta información estará disponible para el usuario en cualquier teatro de operaciones. Esto permitirá el planeamiento de una ruta de aproximación al objetivo de alta precisión y una reducción considerable en los valores de los errores circulares (CEP) de las armas utilizadas. No obstante la tendencia es a utilizar este sistema en combinación con otros sistemas de navegación y principalmente con sistemas de navegación inercial al permitir el receptor GPS actualizar los errores acumulativos del sistema inercial y disponer por otra parte de un sistema de navegación autónoma ante la eventualidad de que el GPS quede fuera de servicio.

CONCLUSIONES

LOS requerimientos para la función de navegación de aviones de combate exige disponer de sistemas altamente fiables y a la vez precisos que permitan además la navegación a muy bajas alturas sobre el terreno. Es evidente que estos requerimientos no pueden ser cubiertos con un sistema único, teniendo que recurrir a los llamados sistemas híbridos de navegación. Tal es el caso del sistema híbrido GPS/INS ya comentado y del sistema PENETRATE de Ferranti tipo INS/TRN (Terrain Reference Navigation). Parece lógico pensar que cuando el sistema GPS esté plenamente operativo (en los primeros años de la década de los noventa), el sistema de Ferranti se transforme en un sistema híbrido de navegación tipo GPS/INS/TRN que permita satisfacer los requerimientos operativos comentados en el presente artículo. Y esta solución híbrida será igualmente aplicable a otros ingenios no pilotados con idénticos requerimientos. La alta integración conseguida en estos equipos ha motivado que la clásica problemática disyuntiva (utilizar un GPS o un TRN o un INS) desaparezca al poder integrarse estos sistemas en un único sistema híbrido. En cuanto al uso del sistema GPS en ambientes militares de distintos países, la problemática podría ser la misma que la de otros sistemas similares controlados por un sólo país como son el sistema OMEGA y el LORAN C, ampliamente utilizados por gran número de países en la actualidad. En cualquier caso, la utilización conjunta con un sistema autónomo (INS) asegurará la función de navegación del avión de combate en todo momento. ■