

# Ingeniería del EF 2000

**GERARDO LOPEZ SALVA**  
*Teniente Coronel de Aviación*  
**MIGUEL GONZALEZ MONROIG**  
*Comandante Ingeniero Aeronáutico*

## INTRODUCCIÓN

La próxima entrada en servicio del EF-2000 en el Ejército del Aire con la designación de C-16 va a suponer un acontecimiento histórico en la aviación militar española. En el EF-2000 se ha acometido el desarrollo integral de un sistema de armas desde su fase conceptual a la de su entrada en servicio con una participación muy intensa del Ejército del Aire.

Desde el acuerdo inicial de los Estados Mayores de las naciones participantes sobre cuáles debían ser los requisitos básicos del futuro Avión de Combate Europeo a la aceptación final de la especificación de producción del EF-2000, hay un largo camino donde la ingeniería militar aeronáutica ha da-

do respuesta a los objetivos que se habían establecido inicialmente.

En este artículo se plantean en primer lugar los objetivos que han influenciado la ingeniería del EF-2000 y posteriormente se incluye una exposición de algunas de las principales novedades de la aviónica y software de este avión y sus implicaciones en el mantenimiento.

## PRINCIPIOS BÁSICOS DE DISEÑO

### a) La Disponibilidad como Norma.

Por primera vez se establece el requisito de que la disponibilidad del sistema de armas debe de ser considerada en igualdad de condiciones que las ca-



pacidades puramente operativas y de actuaciones del avión. Se aprende así de amargas lecciones del pasado donde aviones de combate muy sofisticados permanecían en tierra por los continuos fallos de sus sistemas y la inmadurez de su diseño.

En el EF-2000, las áreas de Fiabilidad, Mantenibilidad y Testabilidad han sido objeto de especial atención habiendo participado directamente en todas las fases de diseño de sistemas y equipos de a bordo y esta participación ha continuado hasta la fecha actual.

#### **b) Potencial de Crecimiento**

La rápida evolución tecnológica de la aviación militar impone la necesidad de actualizar los sistemas de armas modernos con características de superioridad aérea en periodos cada vez más cortos para hacer frente a las distintas amenazas que se pueden presentar.

El EF-2000 recoge este requisito de capacidad de crecimiento en todos los sistemas de a bordo con especial incidencia en los sistemas de aviónica.

#### **c) Vulnerabilidad**

Tradicionalmente, la vulnerabilidad de un sistema de armas se ha entendido como la capacidad de resistencia a daño por agentes externos sin afectar su integridad o funcionamiento. En este avión esta concepción ha sido ampliada con el criterio de incluir la resistencia a daños internos. Aparece un nuevo concepto o requisito de degradación progresiva por el que se establece que todo posible fallo debe producirse de forma gradual y creciendo en importancia respecto a la seguridad de vuelo.

El fin último de este requisito es el de evitar que un primer y único fallo pueda tener consecuencias catastróficas.

#### **d) Tecnología probada**

Este criterio establece que cualquiera actuación de la aeronave se debe conseguir por medio de una tecnología disponible en el campo de la aviación militar de los países participantes. Aunque este criterio pueda, en buena medida, contraponerse a la consecución de un sistema de armas actualizado a la fecha de su entrada en servicio, el objetivo que se pretende alcanzar es limitar los riesgos de financiación que conlleva el desarrollo completo de un avión de combate, incluyendo tanto los equipos de aviónica (radar) como los motores. Un diseño preliminar del entonces llamado Caza del 90 incorporando empuje vectorial fue rechazado por este criterio.

Una vez establecidos estos criterios básicos y definidas todas las características técnicas de equipos y sistemas de a bordo mediante las correspondientes especificaciones técnicas, la pregunta que debe contestarse es cómo se aseguran las naciones y los Estados Mayores de que el sistema de armas obtenido corresponde con lo solicitado inicialmente.

## **EVALUACIÓN DEL SISTEMAS DE ARMAS**

La ingeniería militar aeronáutica ha establecido para este sistema de armas un proceso muy minucioso para comprobar con extremo rigor hasta el último detalle y sin margen razonable de duda, el cumplimiento de todo parámetro o requisito especificado.

Este proceso de comprobación comprende tres áreas diferenciadas con objetivos distintos pero igualmente relacionados e interdependientes entre sí, estas áreas son:

- La Calificación
- La Certificación
- La Verificación

La calificación se entiende como el proceso de comprobación y declaración de cumplimiento con los requisitos incluidos en las especificaciones que definen el sistema de armas a nivel de equipos y de sistemas de a bordo tales como sistemas generales, sistemas de aviónica o equipos incorporados como el radar. El concepto resumen es la de "apto para el propósito"

La certificación de vuelo es una acreditación oficial por la que se declara que la operación o funcionamiento de determinado avión, sistema de abordaje o equipo está libre de cualquier atributo que pueda poner en riesgo la seguridad en vuelo. Es decir, no existe ninguna característica que pueda degradar la seguridad en vuelo. La diferencia con la calificación viene dada por el hecho de que el cumplimiento con los requisitos de diseño no garantiza necesariamente una seguridad en vuelo. El concepto resumen es el de "apto para el vuelo".

Finalmente, la verificación es el proceso aceptado para la comprobación de la especificación del propio sistema de armas, el que define globalmente el avión.

#### **El proceso de Calificación**

El proceso de calificación en el programa del EF-2000 se ha realizado en dos fases diferenciadas: Calificación Preliminar y Calificación Formal. La primera fase comprende la comprobación de que se cumple una parte substancial de los parámetros de las especificaciones de un determinado equipo o sistema embarcado. Es decir, se reconoce que el equipo o sistema es apto para el propósito para el que fue diseñado aunque con ciertas limitaciones. Esta fase ha sido necesaria para optimizar y dar continuidad al programa de ensayos de vuelo.

La calificación formal acredita el cumplimiento de todo parámetro incluido en la especificación.

La calificación se realizó, para cada una de estas fases, en tres niveles diferenciados:

- Sistemas de Armas
- Sistema de a bordo / Software
- Equipo /Software

Por primera vez y dada la importancia que asu-



me el software en el EF-2000, el software se califica y certifica siguiendo unas pautas y procedimientos similares al de un equipo o sistema embarcado. Para todo sistema de a bordo como para todo equipo se confeccionaron dos documentos básicos: El Programa de Calificación (QPPs(2)) indicaba de qué forma se iba a realizar la calificación; es decir, mediante ensayos, por analogía o por análisis. El otro documento es el de Procedimientos de Ensayo de Calificación. Aquí se describe qué parámetros se deben verificar de las especificaciones, los ensayos a realizar y cómo estos se debían de realizar.

nes que contiene. Incluye, así mismo, la referencia a los informes sobre los resultados de integración de sistemas y un informe sobre análisis de riesgos.

### El proceso de Verificación

El proceso de verificación comienza con la terminación de los procesos de calificación y certificación y culmina con la comprobación por parte de las naciones de todo parámetro y requisito de la especificación del sistema de armas siguiendo unos procedimientos similares a los adoptados en la calificación y certificación. Con la emisión del DDP del sistema de armas EF-2000 se termina todo proceso

La terminación del proceso de calificación en un equipo embarcado viene reflejada por Declaración de Aptitud (DDP(3)) del equipo mientras que para un sistema de a bordo se emite el Certificado de Calificación de Sistema (SQS(4)).

Hay que destacar el hecho de que si se produce el cambio de fabricante en un determinado equipo - incluso con el mismo fabricante si este produce un cambio en el proceso de fabricación - esto supone rehacer de nuevo todo el trabajo de calificación. Se garantiza así que el producto obtenido se corresponde con lo inicialmente solicitado.

### El proceso de Certificación

El proceso de certificación ha seguido un proceso similar al de calificación pero atendiendo a un objetivo distinto, como es la demostración de las cualidades de aeronavegabilidad del sistema de armas. La evidencia para demostrar estas cualidades se ha basado en dos fuentes distintas, como son, por una parte, las especificaciones técnicas y los métodos utilizados para calificar los sistemas, subsistemas y equipos de a bordo y por otra, la información generada como consecuencia del proceso de calificación. La terminación de este proceso se alcanza con el certificado de aeronavegabilidad (ASA(5)) que permite el vuelo para un avión o prototipo determinado. El certificado contiene una referencia explícita tanto del estándar o versión del avión que se certifica como del dominio de vuelo permitido y las limitacio-

de comprobación y se acepta contractualmente el sistema de armas.

## PLATAFORMAS

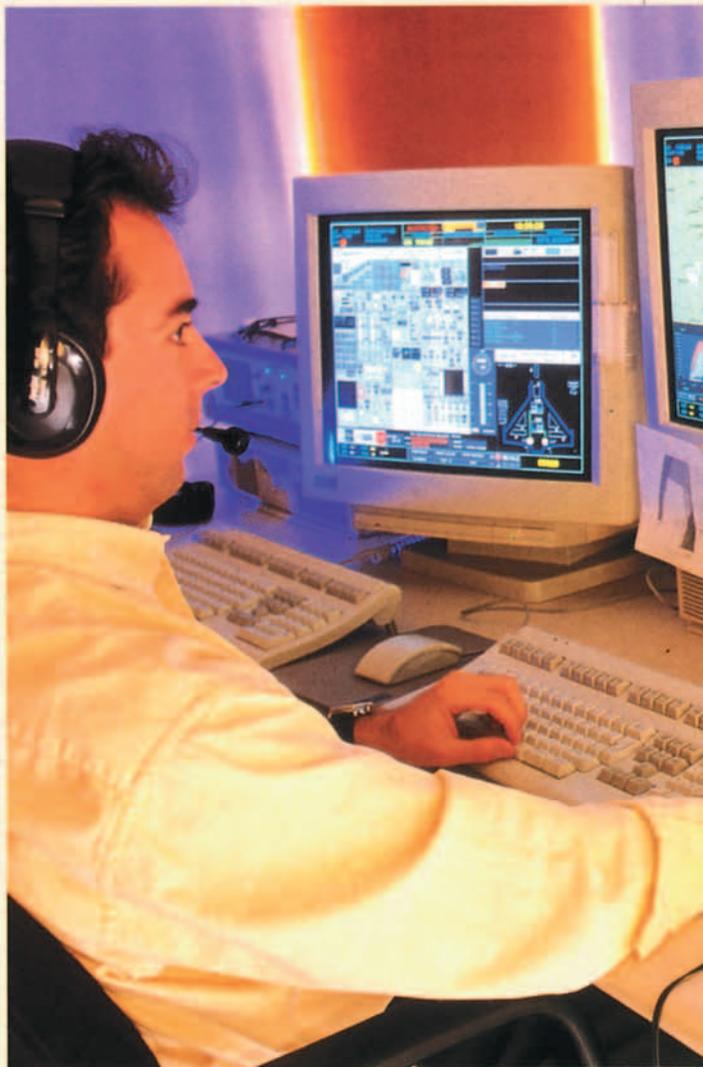
La comprobación de todos los requisitos del EF-2000 ha requerido una serie de prototipos y motores que en un extenso programa de ensayos en vuelo han demostrado -y están actualmente demostrando- todas las características técnicas, funcionales y actuaciones de vuelo del sistema de armas.

Inicialmente, el programa de desarrollo contemplaba incluir 8 prototipos pero por razones presupuestarias el número final se redujo a 7 prototipos: 5 monoplazas y 2 biplazas. El desarrollo del motor EJ-200 que equipa el sistema de armas ha precisado de 4 estándares: 01A, 01C, 03A, 03B y el de producción 03Z.

## AVIÓNICA Y SOFTWARE

El F-18 supuso para el Ejército del Aire un gran salto cualitativo en los sistemas de aviónica, ya que fue nuestro primer avión en el que dicho sistema estaba integrado y controlado por software. El EF-2000 va a suponer, además, un gran salto cuantitativo. La electrónica y el software invaden todos los elementos del sistema llegando hasta límites inimaginables y proporcionándole capacidades que eran imposibles en aviones anteriores. La diferencia en la aviónica de ambos sistemas de armas es equivalente a la diferencia existente entre los equipos informáticos de finales de los años setenta, cuando se desarrolló el F-18, y los actuales.

Cada avión llevará a bordo unos 90 equipos distintos con software, algunos de los cuales son potentísimos ordenadores con hasta 6 microprocesadores internos. Muchas de las funciones implementadas en software son críticas para la seguridad. Ello, unido al gran volumen de software que es del orden de 5 millones de líneas de código, ha exigido implantar nuevos procesos, estándares y herramientas de desarrollo que garanticen su seguridad y calidad. A todas las compañías que están implicadas de alguna forma en el desarrollo de programas para el EF-2000, se les ha incluido en el contrato su



obligación de utilizar esos estándares y herramientas. Con ello se espera conseguir un software homogéneo y suavizar la pesadilla que supondrá mantener los programas de tantos equipos distintos desarrollados por numerosas compañías de toda Europa.

### Arquitectura

Los equipos electrónicos del EF-2000 están distribuidos a través de los distintos sistemas del avión: aviónica, control de vuelo, utilidades y motor. La mayor parte se concentra en el sistema de aviónica, que a su vez se subdivide en los 7 sub-sistemas que se listan en el Cuadro 1.

Al objeto de conseguir un sistema potente y robusto, se ha optado por una arquitectura muy distribuida. Ello implica un elevado nivel de integración en el que todos los equipos deben compartir los datos disponibles. La comunicación entre los equipos se realiza a través de una serie de buses de datos. Algunos de ellos utilizan el estándar 1553B ya usa-

CUADRO 1

#### SUBSISTEMAS DEL SISTEMA DE AVIÓNICA DEL EF-2000

- Presentación y controles
- Comunicaciones
- Navegación
- Ataque e identificación
- Guerra electrónica
- Monitorización y grabación
- Control de armamento



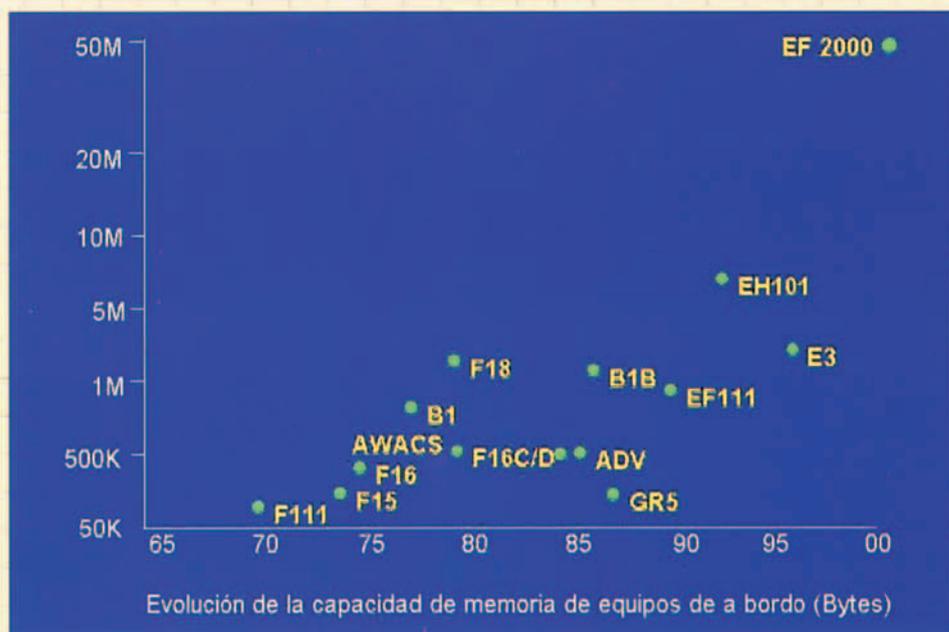
do en el F-18. Para los buses de más tráfico se ha recurrido en cambio a la fibra óptica, que proporciona una capacidad de transmisión de datos muy superior. En el lado negativo hay que señalar que esta arquitectura tan distribuida tendrá implicaciones en la mantenibilidad del software, ya que cualquier función que se quiera modificar tendrá normalmente impacto en un buen número de equipos distintos.

### Cabina

Se podrían destacar muchos aspectos novedosos en la aviónica del EF-2000. Debido a los límites de espacio de este artículo daremos unas pinceladas sobre dos de ellos: La cabina y la integración de sensores.

El diseño de la cabina ha sido fruto de una estrecha colaboración entre las Fuerzas Aéreas de los 4 países participantes y la industria, tal como se describía en RAA Sept. 96. El resultado de este trabajo es una cabina que intenta automatizar el mayor número posible de operaciones y presentar la información de forma muy elaborada. La presentación de datos se realiza principalmente en el HUD (de 30°), en tres pantallas multifunción de 6" en color, un panel de alarmas, el visor del casco y un panel debajo del HUD en el que se podrán leer mensajes escritos que reciba el avión, como por ejemplo órdenes para el combate. Debido a la complejidad del sistema y a ser un avión monoplaza, se ha dado una gran prioridad a reducir en lo posible la carga de trabajo del piloto. Para controlar la operación de los sistemas del avión se sustituye el concepto HOTAS ("Hands On Throttle And Stick") por el concepto VTAS ("Voice, Throttle And Stick") que añade al anterior la capacidad de darle al avión órdenes mediante la voz. La palanca de mando dispone de 10

interruptores y la palanca de gases de 12. Mediante la acción combinada sobre estos interruptores se pueden proporcionar unas 50 funciones sin separar las manos de las palancas. La entrada de órdenes por voz (DVI) es parte del subsistema de comunicaciones, que es responsabilidad de CASA. Con un vocabulario de 200 palabras permite controlar unas 25 funciones distintas de cabina, como selección de canales de radio, selección de puntos de navegación, petición de presentaciones específicas en las pantallas o preguntar por la cantidad de combustible disponible.



## Integración de sensores

El otro aspecto que destacábamos anteriormente es la integración de los sensores. El avión recibe información sobre la situación táctica del entorno mediante el radar, el FLIR/IRST (visor y seguidor infrarrojo), IFF (identificación), MIDS (sistema de transmisión y recepción de datos) y ESM (detección de radiaciones). Son los "sentidos" del avión que perciben lo que hay en el mundo exterior. Todas estas percepciones pasan a uno de los ordenadores de a bordo donde se realiza la correlación de todos los datos y se extrae la mejor información disponible, tanto en posición como en identificación. La identificación llega a decir el tipo de plataforma de que se trata. Asimismo se establecen prioridades de ataque según el nivel de amenaza que suponga cada blanco. Si cada sensor operara independientemente, su control y la interpretación de la información suministrada, mucha de ella redundante, sería una tarea imposible. Con la integración realizada en el EF-2000 se le presenta al piloto una información única de los distintos blancos y amenazas, con una gran precisión y un alto nivel de confianza. Esta información puede ser también transmitida, mediante el sistema MIDS, a otros aviones y a un centro de control. Además, su

### CUADRO 2

#### SISTEMA INTERNACIONAL DE APOYO AL SISTEMA DE ARMAS

Para realizar las modificaciones al Sistema de Armas, tanto de hardware como de software, a lo largo de su vida en servicio, se está desarrollando un sistema denominado "International Weapon System Support System" (IWSSS). En el IWSSS participarán la industria que ha hecho el desarrollo y las distintas Fuerzas Aéreas. Habrá una base común desarrollada por la industria para las 4 naciones, con entregas periódicas de modificaciones cada 18 - 24 meses. Además, cada Ejército tendrá su propio Centro (NSC) con capacidad para introducir ciertas modificaciones que posteriormente puedan ser incorporadas a la versión común. Todo ello será coordinado por un Centro Internacional (IWSSC) en el que habrá representantes de todas las partes implicadas.

Las funciones principales del IWSSS serán:

- Desarrollo y suministro de modificaciones periódicas del Sistema de Armas, añadiendo nuevas capacidades y corrigiendo posibles errores.
- Desarrollo y suministro de modificaciones urgentes del Sistema de Armas, cuando sea necesario.
- Evaluación, análisis, gestión e información de problemas.
- Captura de requisitos para las modificaciones.
- Preparación, mantenimiento y validación de librerías de datos.
- Gestión de configuración.
- Mantenimiento de la documentación.
- Entrenamiento para personal del IWSSC y de los NSCs.
- Mantenimiento de las herramientas de desarrollo.
- Mantenimiento de la compatibilidad entre las distintas partes del Sistema de Armas, incluyendo simulador, estaciones de tierra, equipos de mantenimiento, equipos de entrenamiento, etc.

La realización de estas funciones estará repartida entre los distintos componentes del sistema. En concreto, el NSC español tendrá su propia capacidad para gestionar y analizar los problemas que se presenten en el Sistema de Armas y de realizar modificaciones de software en los equipos que se consideran de mayor interés desde el punto de vista operativo.



integración proporciona una sinergia que permite conseguir resultados que no se podrían conseguir con la suma de los sensores individuales. Los sensores, al igual que los sentidos, se complementan entre sí permitiendo mejorar sus prestaciones y su gestión.

#### Mantenimiento del software

Todo este software requerirá un gran esfuerzo para su mantenimiento. En paralelo con el desarrollo se está elaborando, y continuamente refinando, un análisis (Support Analysis for Software, SAS) de los recursos necesarios para su apoyo logístico en el futuro. Se dispone de una base de datos en la que, para cada módulo de software, se detallan todos los datos de interés para su mantenimiento. A partir de estos datos se han realizado estimaciones sobre el volumen de las modificaciones previstas, que está en torno a las 100.000 líneas de código Ada por año.

El modo de afrontar estas modificaciones ha sido objeto de un largo debate entre los países participantes, aportando cada uno sus experiencias con aviones anteriores. Finalmente se ha optado por un sistema denominado IWSSS (International Weapon



System Support System) que cubrirá todas las modificaciones que se le realicen al sistema de armas, no sólo de software sino también de hardware. Este concepto, que se resume en el cuadro 2, es muy distinto al empleado en la actualidad por el Ejército del Aire para el F-18. Evidentemente, para afrontar todas estas tareas el Ejército del Aire necesitará dedicarle unos recursos muy notables tanto de personal técnico como de material.

## CONCLUSION

**E**l proceso de comprobación de los requisitos exigidos inicialmente para el EF-2000 por los Estados Mayores de las Naciones participantes ha sido -y está siendo- muy riguroso tanto en su planteamiento como en su ejecución y en él ha participado toda la estructura del Ejército del Aire con el apoyo notable del INTA. Este proceso se ha desarrollado en tres áreas diferenciadas como son la calificación, certificación y verificación con objetivos diferenciados y, al mismo tiempo, relacionados entre sí. El proceso se encuentra en la actualidad en su fase final y dará como resultado un perfecto conocimiento del sistema de armas que se entrega.

La electrónica y el software están cada vez más presentes en los sistemas de armas modernos. En el EF-2000 se calcula que un 80% de su funcionalidad está implementada en software, lo cual le da mucha flexibilidad para ser modificado y ampliado a lo largo de la vida del avión.

Para realizar esas modificaciones se ha optado por un sistema denominado IWSSS, que cubrirá tanto las modificaciones de hardware como las de software, y cuyo desarrollo se encuentra en la fase de especificación. Esta fase es de gran importancia para el Ejército del Aire, ya que la especificación resultante será la base del contrato que se ha de firmar en un futuro próximo para la adquisición e instalación del sistema, que debe comenzar a funcionar con la llegada del primer avión. El Ejército del Aire, gracias a su capacidad de mantenimiento de software para el F-18, tiene una amplia experiencia en este campo. No obstante, el EF-2000 incorporará muchísimas novedades, no sólo tecnológicas sino también en el concepto de mantenimiento y en la metodología a aplicar, y se necesitará realizar un gran esfuerzo para poder afrontar con éxito esta tarea. ■