



Avión C15-56 instrumentado sometido a ensayo de vibración en tierra con configuración crítica para flameo.

# Integración de armamento

ANGEL ALONSO MENÉNDEZ  
Comandante de Aviación

## INTRODUCCION

**L**A creciente complejidad de los sistemas de armas conlleva un incremento sustancial de los ensayos en tierra y en vuelo necesarios para la utilización segura y eficiente del armamento que se desea utilizar.

La integración de armamento es el compendio de todos los esfuerzos realizados mediante los distintos ensayos, en tierra y en vuelo, para conseguir determinar los límites seguros de utilización operativa del sistema de armas; en consecuencia, la versatilidad operativa de un sistema de armas dependerá del grado de conocimiento del mismo, de las características del armamento a integrar y, fundamentalmente, de la experiencia y saber hacer del personal responsable del desarrollo de este proceso.

Un avión de combate, para que resulte eficiente desde el punto de vista operativo, debe someterse a un gran número de ensayos en tierra y en vuelo desde que se fabrica el primer prototipo; pero todo este

esfuerzo sería baldío si, como sistema de armas, no fuese capaz de transportar y lanzar armamento en condiciones apropiadas que no comprometan ni la integridad de la aeronave ni la vulnerabilidad del piloto mientras ejecuta la misión y además, el armamento impacte en el objetivo de forma efectiva. En otras palabras, el proceso de integración de armamento en un avión de combate tiene una especial relevancia y trascendencia a la hora de evaluarlo como un sistema de armas.

Los aviones de combate modernos deben ser versátiles y, aunque un avión se diseñe orientado a un solo tipo de misión, la historia demuestra que en algún momento de la vida del sistema de armas se le exige la capacidad de desempeñar otras misiones operativas distintas de la primaria de diseño. En el proceso de integración se pretende, por una parte, limitar al mínimo los recortes en las capacidades operativas del avión, por otra, sacar ventaja de todos los equipos y sistemas que puedan ayudar al uso eficiente del armamento a integrar.



Parte del equipo de personal participante en los ensayos de validación del misil AIM-9 JULI en avión Mirage F-1.

FIGURA 1. TIPOS DE ENSAYOS EN VUELO

- ENSAYOS DE INTEGRACION DE ARMAMENTO
  - ENSAYOS EN VUELO DE FLAMEO
  - ENSAYOS EN VUELO DE CARGAS DE TRANSPORTE DE LANZAMIENTO
  - ENSAYOS EN VUELO DE SEPARACION
  - ENSAYOS EN VUELO DE ACTUACIONES
  - ENSAYOS EN VUELO DE ESTABILIDAD Y CONTROL Y CUALIDADES DE VUELO
- ENSAYOS EN VUELO DE INTEGRACION DE SISTEMAS DE ESTABILIDAD Y CONTROL DE ACTUACIONES
  - ENSAYOS EN VUELO FUNCIONALES DE SISTEMAS
  - MOTOR
  - AVIONICA
  - ARMAMENTO
  - COMUNICACIONES
  - RADAR
- ENSAYOS EN VUELO DE VALIDACION Y VERIFICACION DE SOFTWARE
  - DE MANDOS DE VUELO
  - DE PILOTO AUTOMATICO
  - DE CONTROL MOTOR
  - DE AVIONICA
  - DE ARMAMENTO
- ENSAYOS DE RECEPCION

FIGURA 2. PROGRAMAS REALIZADOS DESDE SEPTIEMBRE AÑO 1992

- INSTRUMENTACION SEGUNDO AVION F-18 INSTRUMENTADO PARA ENSAYOS INTEGRACION ARMAMENTO
- INSTRUMENTACION AVIONES F-18 PARA ENSAYOS DE SOFTWARE
- INSTRUMENTACION AVION F-1 PARA ENSAYOS DE INTEGRACION ARMAMENTO
- INTEGRACION BOMBA TIPO GBU-16 DE FABRICACION NACIONAL EN AVION F-18
- INTEGRACION BOMBA BME-330 DE FABRICACION NACIONAL A PILON EN AVION F-18
- INTEGRACION BOMBAS BR-250C DE FABRICACION NACIONAL A PILON EN AVION F-18
- INTEGRACION BOMBAS BR-500C DE FABRICACION NACIONAL A PILON EN AVION F-18
- INTEGRACION BOMBAS BME-330 EN LANZADORES CVER EN EL AVION F-18
- ENSAYOS RECEPCION DEPOSITOS 330 GALONES DE FABRICACION NACIONAL PARA F-18
- INTEGRACION DE BOMBAS BR-500 EN LANZADORES TER-E EN AVION F-18
- VALIDACION LANZADORES CLB-4 MODIFICADOS POR EL CLAEX PARA AVION F-1
- INTEGRACION MISIL AIM-9 JULI EN AVION F-1
- INTEGRACION MISIL AIM-9 JULI EN LAU115/LAU7 EN AVION F-18
- ENSAYOS VALIDACION BOMBAS LGTR EN LANZADORES MER-E EN AVION F-18
- ENSAYOS DE HOMOLOGACION DE BOMBAS MK82F DE FABRICACION NACIONAL EN AVION F-18

De este modo, el objetivo primero del proceso de integración de armamento es tratar de alcanzar las mismas condiciones de utilización del sistema de armas que las que tiene el avión limpio. Como éste es utópico, en la mayoría de las ocasiones se deben dar limitaciones, tanto en velocidad como en factor de carga, de transporte y de lanzamiento. El segundo objetivo es conseguir la mayor efectividad posible en el uso del armamento en cuestión, estimando su trayectoria.

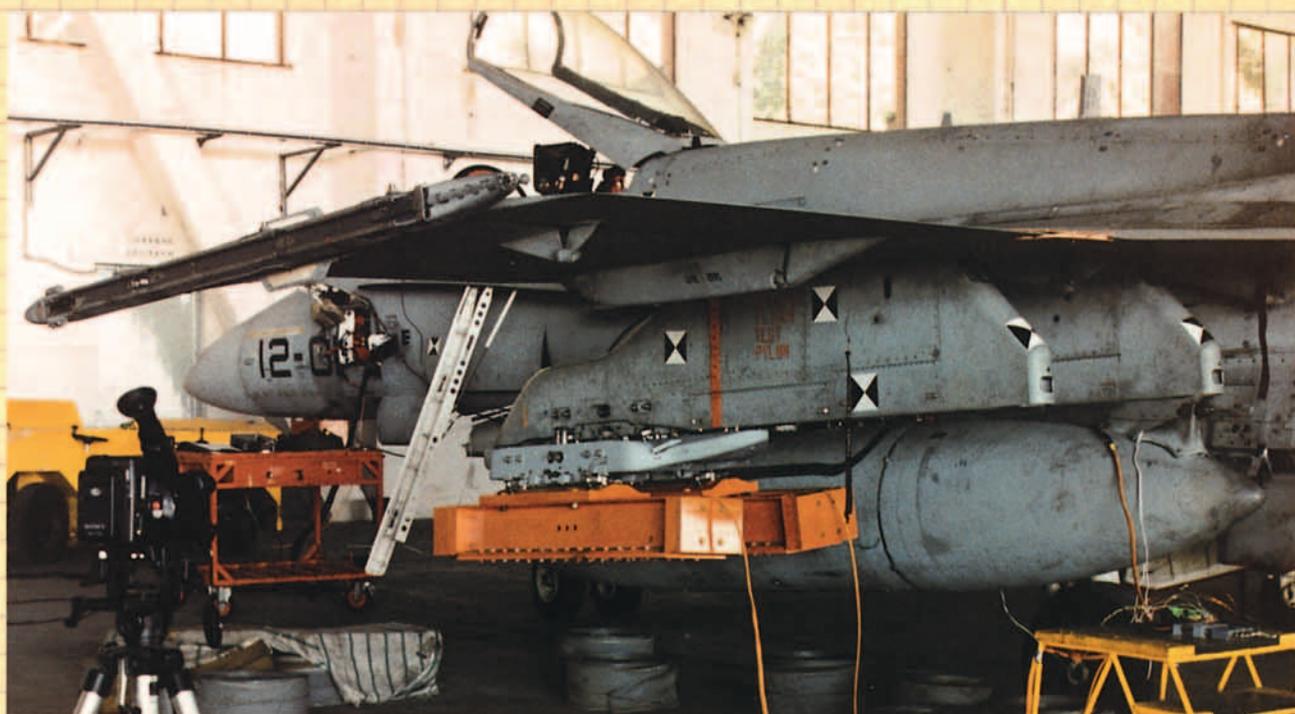
Esta labor no es sencilla y el proceso a desarrollar debe ser metódico y realizado en equipo, lo que implica una enorme coordinación. Esta es una de las ta-

reas que tiene encomendadas el Grupo de Ensayos del CLAEX y a la que se dedica un alto porcentaje del tiempo de trabajo. En la figura 1 se indican los distintos tipos de ensayos en vuelo que se realizan.

En el CLAEX, es el Departamento de Ingeniería de Ensayos, perteneciente al Grupo de Ensayos, el que tiene encomendadas la preparación y realización de los estudios teóricos, la redacción de los planes de ensayos -tanto en tierra como en vuelo-, la instrumentación de ensayos -aviones y armamento-, el proceso de los datos obtenidos de los ensayos y, finalmente, la redacción del informe definitivo al Mando con los resultados obtenidos y las propuestas correspondientes.

FIGURA 3. PROCESO DE INTEGRACION DE ARMAMENTO

- ORDEN DE PROCEDER A INTEGRACION ARMAMENTO EN AVION
- VIABILIDAD DE LOS ENSAYOS
- ESTUDIO Y ANALISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL ARMAMENTO A INTEGRAR
- CALCULOS TEORICOS DE FLAMEO
- CALCULOS TEORICOS DE CARGAS DE TRANSPORTE
- CALCULOS TEORICOS DE CARGAS DE LANZAMIENTO
- ENSAYOS EN TUNEL AERODINAMICO DE FLAMEO
- ENSAYOS EN TUNEL AERODINAMICO DE ESTABILIDAD Y CONTROL
- ENSAYOS EN TUNEL AERODINAMICO DE SEPARACION
- REDACCION PLANES DE ENSAYOS EN TIERRA:
  - PRUEBAS VIBRACION EN TIERRA
  - PRUEBAS LANZAMIENTOS EN TIERRA
- REDACCION PLANES DE ENSAYOS EN VUELO DE DINAMICA ESTRUCTURAL
  - INTERACCION MODOS ESTRUCTURALES
  - FLAMEO
- CONTROLADOR ACTIVO DE OSCILACIONES (AOC)
- REDACCION PLANES DE ENSAYOS CARGAS DE TRANSPORTE
- REDACCION PLANES DE ENSAYOS CARGAS DE LANZAMIENTO
- REDACCION PLANES DE ENSAYOS DE ACTUACIONES, ESTABILIDAD Y CONTROL Y CUALIDADES DE VUELO
- REDACCION PLANES DE ENSAYOS DE SEPARACION
- APROBACION POR EL MANDO DE LOS PLANES DE ENSAYOS PROPUESTOS
- PREPARACION Y CONFIGURACION DE LOS AVIONES DE ENSAYOS
- EJECUCION DE LOS ENSAYOS EN TIERRA Y EN VUELO
- PROCESADO Y REDUCCION DE LOS DATOS OBTENIDOS
- EVALUACION TRAYECTORIAS DEL ARMA
- REDACCION INFORME FINAL
- PUBLICACION EN MANUALES TACTICOS DE LAS LIMITACIONES OPERATIVAS DEL SISTEMA DE ARMAS CON EL ARMAMENTO O SISTEMA INTEGRADO



Preparativos de los ensayos de lanzamiento en tierra con bombas simuladas.

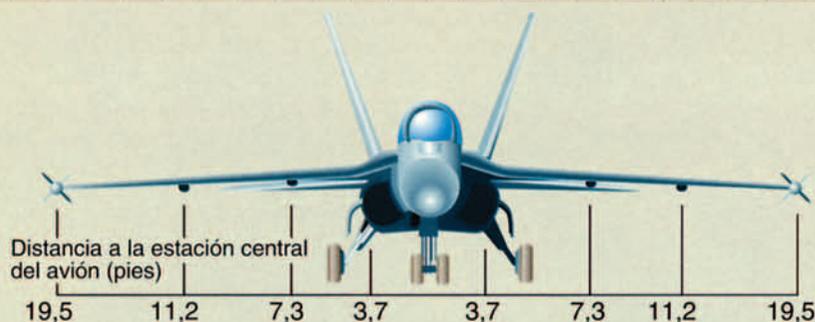
## EL PROCESO DE INTEGRACION DE ARMAMENTO

**E**L CLAEX ha realizado distintos ensayos para la integración de armamento en los aviones Mirage F-1 y McDonnell Douglas F-18. A modo de ejemplo ilustrativo, en la figura 2 se presentan los programas realizados desde el año 1992.

Todo proceso de integración de armamento se inicia con la orden recibida del Mando para proceder a la integración de un armamento concreto en un sistema de armas determinado. En ese momento, el Grupo de Ensayos del CLAEX acomete las tareas que, brevemente, se reseñan en la figura 3.

Para adquirir la tecnología necesaria para realizar, de forma autónoma, el proceso de integración de armamento en el avión F-18, el Ejército del Aire contrató con la empresa McDonnell Douglas un plan de entrenamiento del personal técnico en dos fases:

Una primera fase, en la cual, los cálculos teóricos y los ensayos (túnel aerodinámico de flameo, estabilidad y cualidades de vuelo y separación) eran realizados por los expertos americanos en Estados Unidos, mientras que los ingenieros y especialistas españoles (pertenecientes al 44 Grupo de FFAA) eran instruidos en España -trabajando conjuntamente con los ingenieros y especialistas americanos- en las técnicas de ensayos en tierra (vibración y lanzamientos) y en las de ensayos en



		Estaciones de carga y lanzador									
Equipo de carga		1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ensayos realizados
1											Prueba de vibración en tierra
2											
3											Prueba en vuelo de flameo
4											
5											Ensayos de actuaciones
6											
7											Ensayos de cargas de lanzamiento
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											

vuelo en las distintas modalidades (flameo, cargas de transporte y lanzamiento, actuaciones y cualidades de vuelo y separación). (R.A.A. nº 656 de abril de 1987).

Una segunda fase, en la cual, tras instrumentar un F-18 español (C-15-56), se procedió, ya de forma autónoma, a la integración de armamento por el Grupo de Ensayos del CLAEX.

#### Primera Fase

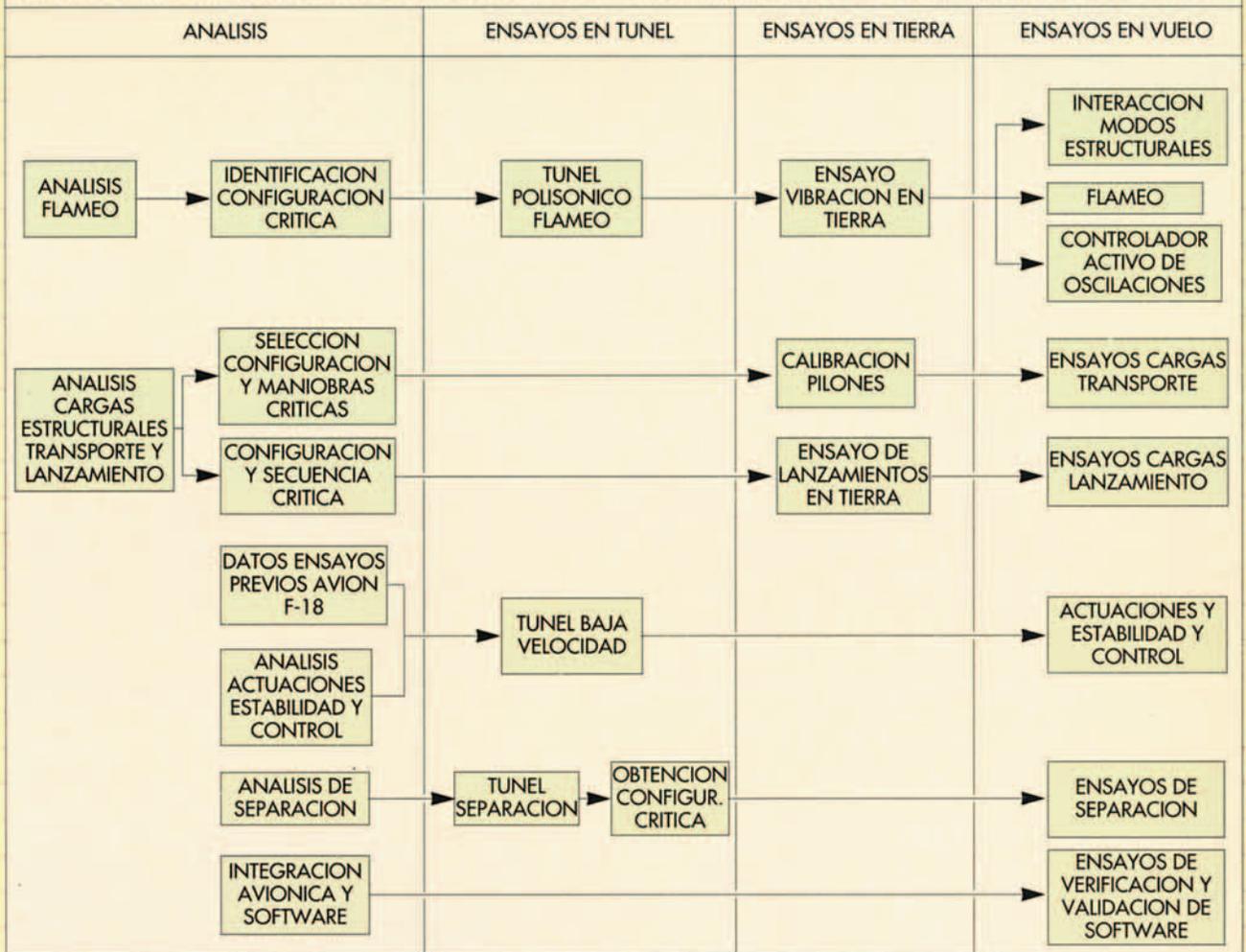
En la primera fase, la configuración seleccionada para aplicar el proceso de integración contemplaba lanzadores TER, capaces de transportar tres bombas de 500 Kg., BR-500 de fabricación española; no obstante, este proceso de integración requirió más tiempo del inicialmente previsto, circunstancia bastante frecuente en el proceso de realización de ensayos en vuelo de integración.

Así, se detectaron deficiencias que requirieron, por un lado, aumentar el número de ensayos en vuelo para

evaluar el funcionamiento del Controlador Activo de Oscilaciones del avión F-18 (Sistema mediante el cual el avión contrarresta niveles de vibración estructural excesivos) para documentar con precisión y de forma exhaustiva el fenómeno descubierto de vibraciones excesivas en algunas de las configuraciones ensayadas. El esfuerzo de ensayos no se detuvo en configuraciones simétricas, sino que se extendió también a configuraciones asimétricas.

Se analizó el mecanismo del fenómeno y se contemplaron las distintas opciones para solventarlo. Como solución, se procedió a la modificación del lanzador TER, dotándolo de sensores de posición, que permitían al avión reconocer si las estaciones del TER tenían o no tenían presente una bomba. Además, se necesitó modificar el software del avión para que los mandos de vuelo fueran regulándose según se activara o no el mecanismo del Controlador Activo de Oscilaciones; esta modifi-

CUADRO Nº 5. AREAS QUE SE CONTEMPLAN EN EL PROCESO DE INTEGRACION DE CARGAS EXTERNAS EN UN AVION



cación de software fue realizada por el Grupo de Informática del CLAEX, constituyendo un excelente ejercicio de colaboración y trabajo en equipo.

Después de esta experiencia, como ampliación a la primera fase, se completaron los ensayos en vuelo de integración de las configuraciones del avión F-18 con



Ensayo de vibración en tierra de plano de avión Mirage F-1 para elaboración modelo teórico de flameo.

bombas instaladas directamente a pílón. Estos ensayos se realizaron de forma autónoma e independiente del apoyo técnico de McDonnell Douglas.

#### Segunda Fase

Finalizados los ensayos anteriormente citados, se procedió a realizar la segunda fase del entrenamiento previsto, en la cual se contemplaba la instalación de instrumentación en un avión F-18 español (C 15-56, segundo avión F-18 instrumentado que dispone el Ejército del Aire, susceptible de ser utilizado para realizar ensayos de integración de armamento). La instrumentación fue instalada por personal técnico del Grupo de Ensayos con el asesoramiento de McDonnell Douglas.

Para obtener la autosuficiencia en la realización de cálculos teóricos necesarios en el proceso de integración, personal de McDonnell Douglas adiestró al personal del Grupo de Ensayos en las técnicas de utilización de los programas de cálculo adquiridos (flameo, cargas de transporte y de lanzamiento) así como en aquellas pautas y métodos para la correlación de ensayos en tierra y comprobación de los modelos teóricos disponibles.

Después de que el personal del Grupo de Ensayos realizase los cálculos teóricos con la supervisión del personal experto de McDonnell Douglas, se procedió a la redacción de los respectivos planes de ensayos, tanto en tierra como en vuelo. Se comenzaron los ensayos y, hasta la fecha, se han completado un 70% de los necesarios para la integración de la bomba BME-330 (multi-bomba fabricada por la empresa española EXPAL) en los lanzadores CVER capaces de transportar dos bombas de fabricación americana. Los ensayos previstos se incluyen en la figura 4, en la cual se indican las configuraciones que serán sometidas a ensayos y que constituyen las configuraciones más críticas desde los distintos aspectos de integración.

Este proceso de integración sirve para adquirir un grado de autosuficiencia, que no revierte solamente en el conocimiento de las técnicas que requiere el proceso de integración de armas en el avión F-18, sino que, además, permite abordar la integración de armamento en otros tipos de avión, -como actualmente se viene realizando con el avión Mirage F1- con independencia del fabricante.

#### PROCESO DE INTEGRACION DE ARMAMENTO

**E**L proceso de integración de cargas externas desarrollado por el Grupo de Ensayos se fundamenta en una progresión paulatina de condiciones teóricas (incluidos ensayos en túnel), ensayos en tierra y ensayos en vuelo y está basado en la experiencia acumulada por la empresa McDonnell Douglas en los programas de ensayos de desarrollo de los aviones F-15 y F-18. Se pretende seleccionar en todo momento el número mínimo de puntos de ensayo, teniendo presente la seguridad en vuelo, así como la eficiencia del tiempo dedicado al mismo. En la figura 5 se indica un diagrama de bloque simplificado en el que se muestra un proceso de integración típico.

Aunque no siempre es necesaria una actualización del "software" del avión, en la integración de cargas externas en el avión F-18 se ha contemplado esta posibilidad; cuando se integra "armamento inteligente" o armamento que se desea tenga una excelente precisión, estas modificaciones del "software" del avión conllevan tal carga de ensayos (en banco, en tierra y en vuelo) y de tal entidad que requieren una metodología separada y propia.

También se deben considerar aquellos aspectos de compatibilidad geométrica y compatibilidad electromagnética que, no por ser lógicos, han de dejar de verificarse; más bien al contrario, son requisito imprescindible al inicio de todo proceso de integración, ya que las cargas externas deben acoplarse perfectamente al avión portador sin afectar ni interferir con partes móviles del avión; por otra parte, no deben interferir ni ser susceptibles a las interferencias producidas por las emisiones electromagnéticas del avión portador, de otro avión o de cualquier fuente radiante situada en la superficie.

Los Ensayos de Vibración en Tierra (Ground Vibration

Tests/GVT) del avión completo con las configuraciones críticas, seleccionadas desde el punto de vista de flameo, son necesarios, no sólo para identificar los modos de vibración que están presentes en vuelo, sino también para contrastar los modelos teóricos previstos y verificar la integridad de la estructura del avión de ensayos.

Las frecuencias naturales y los modos propios de vibración del avión con las configuraciones críticas se obtienen con un modelo matemático NASTRAN que, a su vez, proporciona los datos estructurales neces-

sarios para el programa FACES (Flutter Analysis Carriage External Stores) que permite obtener la solución de flameo con el fin de determinar la velocidad máxima de vuelo que resulte segura para las configuraciones consideradas. El programa FACES fue adquirido a McDonnell Douglas y no sólo es aplicable al avión F-18, sino que se puede utilizar para modelizar otros aviones que transporten cargas externas en las alas. No obstante, para ajustar el modelo en ese avión, se requerirían una serie de ensayos de vibración en tierra y ensayos en túnel polisónico de flameo.

Una vez completados los cálculos teóricos y los ensayos en tierra se realizan los análisis correspondientes para planificar los siguientes ensayos que, normalmente, son los ensayos en vuelo de flameo, con el fin de determinar la envolvente de vuelo de velocidad segura, en la cual el avión está libre de inestabilidades aeroelásticas de acuerdo con las restricciones recogidas en la normativa aplicable al efecto.

Para la realización de estos ensayos se requiere de modo imperativo la capacidad de seguir la evolución del avión de ensayos en tiempo real. Para ello, una red de telemetría instalada al efecto permite recibir en la sala de seguimiento del Grupo de Ensayos los parámetros que en ese momento están captando los sensores dispuestos en el avión. A través de la señales recibidas desde el transmisor del avión, existe también intercomunicación directa entre el piloto de ensayos en el avión instrumentado y los ingenieros de ensayos en la estación de seguimiento. Estos ingenieros, divididos en dos equipos, supervisan, por una parte, el correcto funciona-





*Ensayo en vuelo de flameo con bombas BME 330 en EF-18*

Las técnicas de ensayos deben ser definidas claramente al objeto de que sean aplicables los principios científicos de claridad y repetibilidad y no serán modificadas salvo que la evolución de los ensayos así lo recomiende.

El equipo de ensayos debe tener claramente definidos sus cometidos y se debe contemplar la posibilidad de que se produzcan relevos, para evitar que la falta de un miembro del equipo, lleve a la paralización de un programa o a una disminución de la seguridad del ensayo. Para lograr duplicidad en los miembros del equipo de ensayos se ha de tener en cuenta, por un lado, el incremento numérico del personal y, por otro, la formación en las áreas de ensayos. En este punto hay que remarcar que, después de haber adquirido el suficiente bagaje teórico, la ejecución de ensayos en vuelo, es la principal fuente de experiencia y conocimientos.

La gestión de los medios involucrados en la realización de los ensayos, tanto humanos como materiales, es de especial trascendencia. Las personas especializadas de-

ben desempeñar sus funciones del modo establecido; la plataforma de ensayos debe disponer de los sensores apropiados en el lugar correspondiente según el tipo de ensayo que se vaya a realizar; las señales de los captadores serán acondicionadas y calibradas adecuadamente para que sea posible supervisar los datos (durante el ensayo y durante el proceso de datos, que se realiza después del ensayo en tierra o en vuelo y que constituye la base para obtener la información que permitirá establecer conclusiones para poder redactar el informe final).

## CONCLUSIONES

**L**A ejecución de los ensayos requeridos en el proceso de integración de armamento permite conocer las limitaciones de utilización de un sistema de armas y detectar los posibles puntos débiles del armamento a integrar. También permite determinar con detalle las capacidades del sistema de armas con dicho armamento y donde empiezan las áreas de riesgo. De esta manera, conociendo las limitaciones, se puede tratar de solventarlas y sacar el máximo partido posible a las capacidades de utilización operativa del sistema de armas con los niveles de seguridad exigidos.

El Ejército del Aire dispone de un equipo técnico y de material adecuado para abordar la integración de armamento en los sistemas de armas C-14 y C-15 y tiene acumulada experiencia suficiente para poder abordar con garantías de éxito las labores de integración de armamento que futuros sistemas de armas exijan. ■

miento del sistema (recepción, conmutación y calidad de los datos) y, por otra, la estabilidad aeroelástica del avión para, de acuerdo con lo establecido antes del vuelo, tomar la decisión oportuna al aproximarse a condiciones críticas o de riesgo. La red de seguimiento de telemetría permite, incluso, transmitir parámetros de tiro cuando el avión de ensayos instrumentado lanza armamento en el Polígono de las Bardenas Reales, mediante un enlace situado en Calatayud. No obstante sería deseable también tener cobertura en zonas supersónicas a baja cota y que en la actualidad se realizan sobre el mar sin capacidad de tiempo real, con el riesgo subsiguiente.

El avión de ensayos está instrumentado con captadores de parámetros de vuelo de cabina, de acelerómetros y extensímetros y puede disponer de cámaras de película de alta velocidad para los ensayos de separación. Además de transmitir los datos, el avión dispone de un grabador que, utilizando técnicas de multiplexado, permite recoger todos los parámetros de vuelo requeridos y los datos de los sensores específicos activos durante el ensayo, incluyendo las comunicaciones con el piloto.

## METODOLOGIA DE ENSAYOS

**E**N los ensayos de integración de armamento es de especial importancia definir claramente los parámetros que se desean medir y la precisión y frecuencia de muestreo de datos que se requieren, en función de la respuesta esperada.