

# Sistemas de frenado para aeronaves

JUAN A. PÉREZ MARTINEZ  
Comandante Ingeniero Técnico Aeronáutico

**E**L presente artículo tiene como objeto presentar el estado actual de la «Tecnología de los Sistemas de Frenado de Aeronaves», así como ofrecer una versión retrospectiva de las diferentes etapas que han dado lugar a los sistemas actuales.

Los motivos más comunes que hacen necesario en un momento determinado el empleo de un sistema de frenado de aeronaves son una longitud de pista demasiado reducida, y la imposibilidad de rodar de la aeronave debido a problemas técnicos.

Una pista demasiado reducida puede ser debida, a la imposibilidad de emplear la totalidad de la pista como consecuencia de estar fuera de servicio parte de ella, por ejemplo tras un bombardeo sobre la Base Aérea.

Una aeronave incapaz de aterrizar y rodar con normalidad sobre la pista debido a problemas técnicos tiene en la barrera de frenado el único medio de salvar tanto al piloto (objetivo primordial), como a la aeronave que gobierna (fin secundario aunque importante).

Los sistemas de frenado de aviones, en todos los casos, se pueden dividir en tres unidades básicas. Dichas unidades son las encargadas de recoger la aeronave a la velocidad de contacto con el sistema, de reducir la energía cinética de la aeronave hasta que quede detenida totalmente, y los elementos que transmiten los esfuerzos entre ambas unidades.

La unidad encargada de recoger la aeronave puede corresponder a diferentes tipos, siendo los más conocidos los de cable *pendant*, red de fuselaje y red de tren delantero.

Por su parte la unidad de absorción ha sufrido múltiples mejoras. Desde los elementos de absorción a base de pesadas cadenas, hasta los sistemas de fricción actuales que permiten la detención segura, o las unidades textiles que permiten disponer de un sistema de frenado de bajo mantenimiento.

Además de las unidades básicas que componen el sistema de frenado, han de tenerse en cuenta otras unidades como son el telemando de izado y descenso de la red, en el caso que se emplee ésta, o las unidades de rebobinado una vez finalizada la detección.

Básicamente existen dos técnicas



Detalle del gancho del F-18 y el cable de la barrera.

diferentes de frenado de aviones. La primera hace uso de una red elástica que cubre transversalmente la pista y envuelve totalmente a la aeronave cuando ésta entra en contacto con dicha red. La segunda técnica consiste en la colocación de un cable de acero, que cruza transversalmente la pista, y que se engancha con la aeronave al paso de ésta sobre dicho cable.

Mientras que en el primer caso cualquier aeronave puede ser detenida por el sistema de frenado, dado que la red es capaz de envolver todo tipo de aeronaves, en el caso de la utilización de cable, es preciso que la aeronave se encuentre dotada de un gancho que permita sujetarla al cable tendido transversalmente.

En consecuencia, la existencia de gancho en las aeronaves que operan en la Base Aérea donde va a ser instalado el sistema de frenado constituye un elemento fundamental del sistema.

Los sistemas relacionados anteriormente tienen unas capacidades máximas de absorción de energía que se pasan a detallar a continuación:

Sistema textil .....	45 Mega ft.lb
Sistema hidráulico .....	85 Mega ft.lb
Sistema de fricción .....	100 Mega ft.lb

Sobre la pista de aterrizaje de una base aérea hipotética, la solución más extendida en lo referente a la disposi-

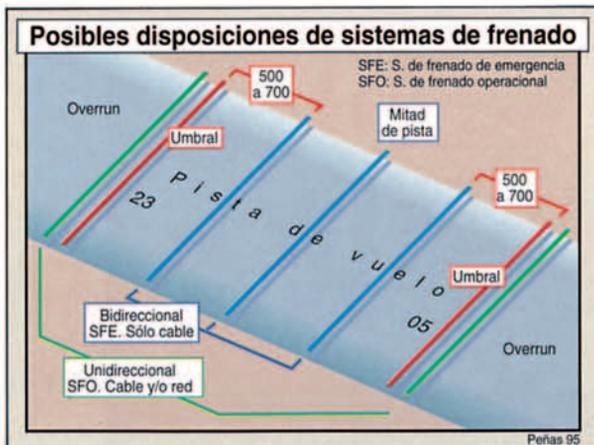
ción de sistemas de frenado es la que cuenta con cuatro sistemas. Uno situado a 500 mts. de cada cabecera dotado de cable de enganche, y uno en cada cabecera dotado de red.

Debido al corto espacio de tiempo que se precisa para recuperar a su estado original un sistema de frenado mediante gancho, tras una detención, es posible instalar los sistemas dentro de la zona activa de la pista (500 mts. del umbral).

De esta manera se puede emplear el sistema para detenciones de entretenimiento o rutinarias, en tomas de contacto realizadas al final de la pista.

Aunque se pueda pensar lo contrario, se ha demostrado que las cubiertas del tren de aterrizaje de las aeronaves que ruedan sobre dicho cable no sufren ningún daño, incluso a velocidades superiores a 160 nudos.

Hasta la obtención de los sistemas de frenado actuales, de elevadas prestaciones, los





*Detalle del enganche por cable de un F-18 en la base de Cold Lake (Canadá).*



*Sistema combinado red-cable con interconector en la base de Holloman (USA).*



*Red del tipo Aerazur M-5 en la base aérea de Lanzarote.*

tres elementos fundamentales del sistema de frenado, es decir los absorbedores, la red y el elemento de conexión entre ambos, han variado a lo largo del tiempo y se han ido perfeccionando.

En lo referente a los elementos absorbedores los primeros sistemas disponían de dos cadenas de gran peso situadas a cada lado de la pista, y tendidas en forma longitudinal. Estas cadenas deceleraban la aeronave al arrastrar las mismas. La disposición de las mismas era tal que se incrementaba al máximo el rozamiento de la cadena con el terreno, con el correspondiente deterioro de éste.

Posteriormente a este tipo de elementos absorbedores se inicia el desarrollo de tecnología de fricción. En un principio la absorción de energía se producía mediante cuatro discos rotores que friccionaban con una serie de estátores. Según fue siendo necesario, fue aumentando el número de rotores, que pasó de cuatro a seis, siendo en la actualidad de ocho.

La tecnología hidráulica se desarrolló con la intención de cubrir la necesidad de aquellas operaciones de carácter rutinario pero con una cadencia muy elevada.

En lo referente a los elementos de detención, los primeros empleados consistieron en cables de enganche al tren de aterrizaje de las aeronaves. Posteriormente dicho cable se convirtió en una red de baja altura que contactaba con dicho tren.

A continuación se comenzó el estudio de redes de fuselaje que detenían a la aeronave mediante la recogida del fuselaje de la misma por una red, que cubría transversalmente la pista.

Las primeras redes disponían de dieciocho o veinticuatro elementos verticales fabricados en nilón.

El desarrollo de la red de fuselaje ha permitido que en la actualidad sea posible disponer redes de 40 elementos, dispuestos en dos niveles que reducen al máximo los daños sobre la estructura.

El elemento de conexión entre la red o el cable *pendant* y los elementos absorbedores, también han variado a lo largo del tiempo.

En un principio esta conexión se realizaba mediante un cable de acero,

hasta que fue sustituido por el sistema actual debido a las elevadas inercias que ello suponía. En la actualidad se emplean bandas de nilón que poseen cierta elasticidad, reduciendo de este modo la inercia de impacto.

Los sistemas de frenado empleados en la actualidad se componen de los siguientes elementos:

—Elemento o elementos absorbedores (fricción, hidráulico o textil).

—Unidad de recogida de la aeronave (red o gancho).

—Conjunto de mástiles soporte de la unidad de red (sólo en el caso del uso de red).

—Cinta de nilón para interconexión entre elementos absorbedores y unidad de recogida.

—Sistemas de control e izado del sistema de red (sólo en el caso del uso de red).

#### CRITERIOS DE SELECCION DE LOS ELEMENTOS ABSORBEDORES DE UN SISTEMA DE FRENADO

Tal y como se adelantaba existen una serie de factores que influyen a la hora de seleccionar el sistema de frenado a instalar. Estos factores se pueden relacionar a continuación:

—Especificaciones de absorción máxima necesaria.

—Disposición de gancho en la aeronave.

—Coste.

El principal requisito que se debe exigir a un sistema de frenado es que sea capaz de absorber, de forma segura, la energía que debe ser absorbida. Se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$E = 1/2 Mv^2$$

$$E = \frac{WV^2}{22.5}$$

siendo:

W el peso de la aeronave en libras.

V la velocidad de la aeronave en nudos.

E la energía cinética en libras/pie.

Habitualmente el parámetro fijado es la velocidad máxima con la que se espera que la aeronave haga uso del



Detalle del mástil de izado del sistema M-5 de Aerazur.

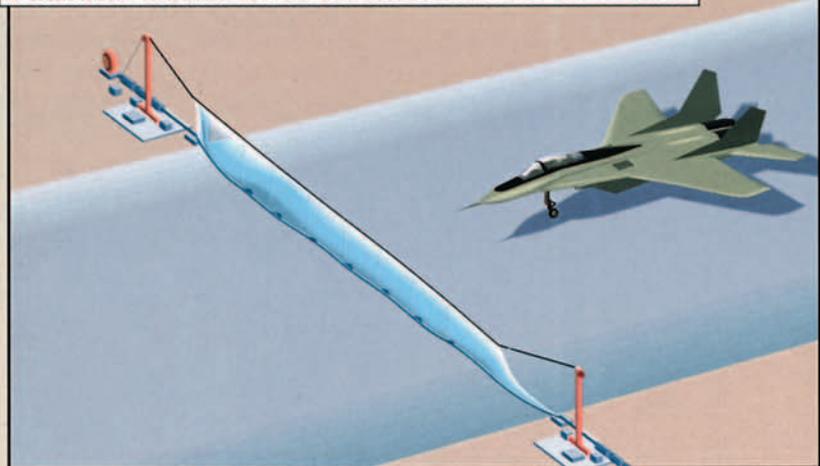


Red izada en climas fríos en la base aérea de Kuopio (Finlandia).



Vista de frente de la red izada en la base aérea de Annapolis (Brasil).

### Detención mediante red envolvente. Freno de fricción



Peñas 95

sistema de frenado. Con dicha velocidad se puede fijar el parámetro de diseño de los elementos absorbedores. La máxima velocidad de enganche de una aeronave se fija en 190 nudos.

En consecuencia, y suponiendo que el sistema se proyecta para dicha velocidad de enganche, el parámetro que condiciona la capacidad del sistema es el peso de la aeronave.

La relación entre los parámetros de la ecuación antes detallada se muestra en el gráfico de la página siguiente.

Una vez definida la forma de determinar la energía que es capaz de absorber el freno, debemos hacer otra consideración: ¿Qué sistema sería capaz de detener a un determinado avión? Muy sencillo, aquel que, entre una gama de ellos, tenga una capacidad de absorción de energía por encima de la generada por la aeronave que nos ocupa.

De esta forma podemos afirmar que nuestra necesidad estará cumplida cuando se cumpla que

$$E_{(\text{sistema})} > E_{(\text{avión})}$$

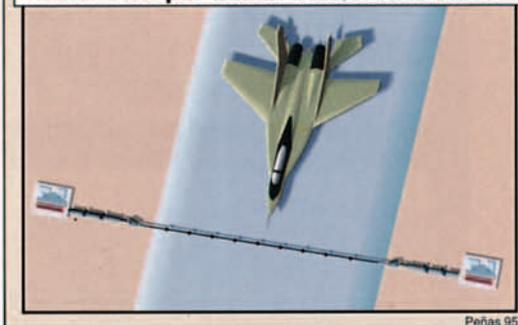
De esta forma podemos proyectar un sistema para un avión determinado o definir hasta qué tipo de avión sirve un sistema disponible en mercado.

De cualquier forma, los parámetros que influyen en un estudio que relaciona el tipo de avión, la pista disponible y el sistema de frenado, son los siguientes:

#### Conceptos:

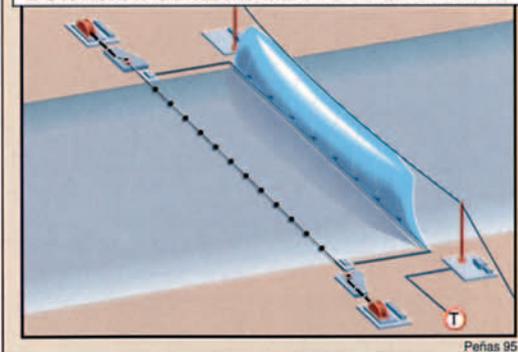
- Energía cinética del sistema
- Energía cinética del avión
- Velocidad máxima de despegue
- Velocidad máxima para enganche
- Máximo peso avión
- Fuerza de absorción del sistema
- Fuerza de frenado sobre el avión
- Distancia de frenado del avión
- Distancia disponible para frenarlo
- Deceleración a que se somete el avión (en «G»).

### Detención por cable. Freno de fricción



Peñas 95

### Detención combinada. Freno de fricción



Peñas 95

Dado que para un peso de la aeronave y la velocidad indicada anteriormente, las cargas sobre la estructura de la misma dependen de la longitud de la carrera antes de la detención total, cuanto más corta sea dicha carrera mayores serán las cargas que sufra la aeronave. Salvo en el caso de aeronaves preparadas para operar sobre navíos, por diferentes motivos de diseño, las aeronaves disponen de gancho con una resistencia que recomienda carreras de frenado iguales o superiores a 950 pies, para un peso de 50.000 libras.

El parámetro que determina los esfuerzos soportados por la aeronave, como consecuencia de lo anteriormente expuesto, es el que se mide en unidades de deceleración G. Generalmente dicho valor no debe superar 2,2. Esto quiere decir que la aeronave no debe soportar cargas superiores a 2,2 veces el peso de la misma y en el caso de aeronaves dotadas de gancho, dicho valor quedará limitado por la resistencia mecánica de este elemento.

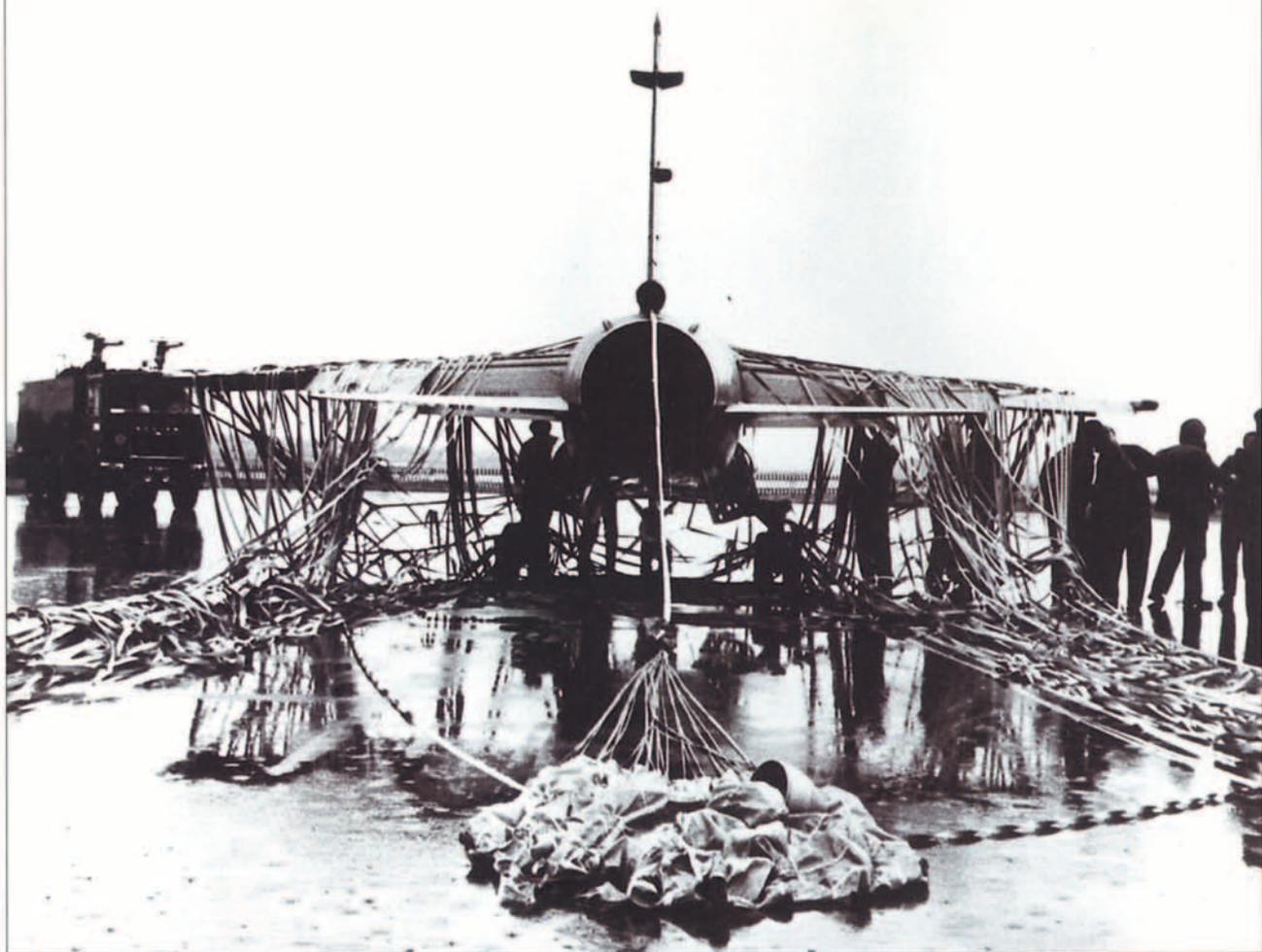
Una vez definida la carrera de frenado se construye el diagrama que presenta la carga de deceleración en función de la velocidad de enganche, para un valor específico de peso de la aeronave. Este diagrama es el que define el sistema de frenado.

A continuación se muestra un ejemplo del diagrama:

Supongamos que el sistema de frenado se debe diseñar para detener dos tipos diferentes de aeronaves.

Los datos de estas dos aeronaves que es necesario conocer para la realización del estudio deseado, son:

<i>Peso máximo al despegue (MTOW)</i>	61.000 lb ..... 56.000 lb
<i>Peso al aterrizaje</i>	30.000 lb ..... 26.000 lb
<i>Velocidad de despegue para MGW</i>	169 Knots ..... 172 Knots
<i>Velocidad de aterrizaje</i>	130 Knots ..... 134 Knots
<i>Resistencia de diseño del gancho</i>	115.000 lb ..... 95.000 lb
<i>Esfuerzo a tracción del gancho</i>	130.000 lb ..... 110.000 lb
<i>Esfuerzo límite del gancho</i>	165.000 lb ..... 135.000 lb



Estado y posición de un avión F-1 después de un enganche con red, en la base aérea de Reims (Francia).

El caso más desfavorable sería aquel en que es preciso detener la aeronave después de un despegue frustrado, ya que entonces el peso de la misma es el máximo posible. La velocidad de frenado será un valor inferior al de la de despegue, como consecuencia del empleo de elementos productores de resistencia aerodinámica, del uso del freno, o debido a la fricción durante el rodaje. El valor de dicha velocidad se puede estimar como próximo al 85% de la velocidad de despegue.

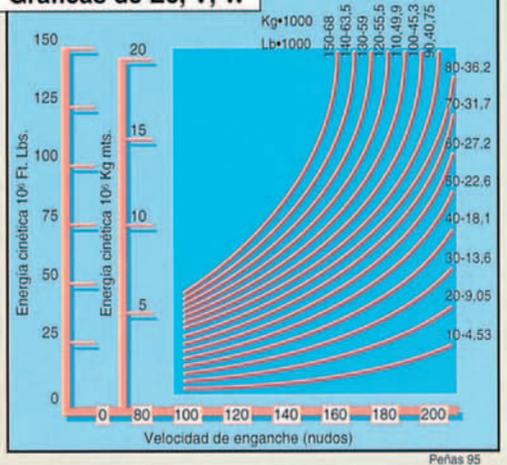
En consecuencia, la energía cinética que debe ser absorbida en el caso de cada una de las dos aeronaves es:

77,5 10<sup>6</sup> ft.lb

73,5 10<sup>6</sup> ft.lb

Las FF.AA. en muchos países en los últimos años han incluido en su

#### Gráficas de Ec, V, W



parque de sistemas de frenado de aeronaves una serie de barreras denominadas móviles. Estas barreras, en la tecnología de fricción, pueden frenar aeronaves mediante red o cable y se

montan sobre plantas tractoras que les permiten ser desplazadas de un lugar a otro de una base aérea, e incluso entre bases aéreas.

Existen en la actualidad barreras móviles que disponen de elementos absorbedores de igual capacidad que los sistemas estáticos. En consecuencia, cualquier aeronave, en maniobras o en emergencia, puede ser detenida por este tipo de barreras.

Estos sistemas permiten realizar detenciones de aeronaves en lugares de emergencia, no previstos para el aterrizaje, o en pistas que han sido deterioradas, en parte, por bombardeos.

Asimismo, permiten disponer de la seguridad del frenado de emergencia en aeródromos que circunstancialmente deben acoger aeronaves militares ■