

---

# NUEVAS TECNOLOGÍAS Y SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE AÉREO.

## LA COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA

---

**BERNARDO A. DELICADO**

Escuela Politécnica Superior  
Universidad Carlos III de Madrid

**LA INDUSTRIA AERONÁUTICA ES UNA DE LAS INDUSTRIAS MÁS EXIGENTES EN TÉRMINOS DE SEGURIDAD. GARANTIZAR UN GRADO ELEVADO DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE AÉREO ES UN ASPECTO PRIORITARIO PARA LOS FABRICANTES**

95

de aeronaves, operadores y autoridades competentes aeronáuticas que certifican la aptitud para vuelo.

El reglamento comunitario 3922/91, de 16 de diciembre de 1991, impulsó la armonización de las normativas técnicas y de procedimientos administrativos aplicables en el ámbito de la seguridad de la aviación civil, en particular al diseño, construcción, explotación y mantenimiento de aeronaves, a las personas y organismos implicados en dichas tareas.

Se ha avanzado mucho en la seguridad de las aeronaves en los últimos veinte

años, porque se han abordado aspectos nuevos que no tenían influencia en las antiguas generaciones de aeronaves. De gran importancia son las condiciones ambientales y atmosféricas críticas en cuanto a su influencia sobre aeronaves de última generación, más avanzadas desde el punto de vista tecnológico, entre las que incluimos la energía de radio frecuencia y los efectos de impacto de rayos.

Las aeronaves modernas incorporan cada vez más sistemas electrónicos con alta responsabilidad en el vuelo, pudiéndose clasificar en:

*Esenciales para el vuelo:* su pérdida o fallo produciría un riesgo de situación catastrófica de la aeronave.

*Críticos para la operación:* su pérdida o fallo llevaría a tener que abortar una operación o misión.

*No críticos:* su pérdida o fallo no afecta a la seguridad de vuelo ni operación.

La contaminación electromagnética externa e interna a la aeronave puede causar por tanto efectos adversos sobre los sistemas eléctricos y electrónicos embarcados pudiendo afectar su seguridad en las diferentes maniobras de vuelo.

## COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA = SEGURIDAD AÉREA

El transporte aéreo no es ajeno al aumento progresivo de los niveles de contaminación electromagnética ambiental actuales. Las aeronaves han incorporado tecnologías con marcado carácter electrónico que colaboran a dicha contaminación. Estos campos electromagnéticos contaminantes pueden haber sido creados por el hombre, por tanto artificiales, como son las señales de radiodifusión, comunicaciones en banda comercial, comunicaciones de navegación aérea, televisión, telefonía, radares y satélites entre otros.

Los radares localizados en tierra y los embarcados en las aeronaves son en la actualidad una de las mayores fuentes de contaminación electromagnética en zonas aeroportuarias debido a sus grandes picos de potencia pulsada y a su gran ancho de banda debido a la generación de armónicos al ser señales pulsadas. Además de la anterior contaminación debemos contar con aquella que es propia de la naturaleza y sobre la que en principio no podemos actuar como es: el campo magnético terrestre, rayos, descargas electrostáticas, ruido solar y cósmico entre otros. Los niveles de emisión de las fuentes artificiales se pueden y deben controlarse y de hecho están regulados y controlados por las autoridades.

En todas las aeronaves de última generación la realización de un vuelo satisfactorio, por tanto seguro, depende cada vez más del intercambio de información eléctrica (conducida) o electromagnética (radiada) que permiten al gran número de computadores electrónicos embarcados procesar los parámetros básicos para gobernar el vuelo.

Los efectos de las interferencias electromagnéticas en las aeronaves, pueden causar anomalías que en vuelo podrían llevar a situaciones de alto riesgo cuando afectan a computadores o equipos electrónicos críticos para la seguridad. Por tanto es inaceptable que la operación de una aeronave se vea degradada debido a



la susceptibilidad electromagnética ante interferencias radiadas o conducidas de otros equipos embarcados o fuentes externas de radiación a la aeronave.

Desde el diseño hasta la calificación para vuelo se debe garantizar por tanto su EMC (Compatibilidad Electromagnética), que puede definirse como la capacidad de los sistemas eléctricos y/o electrónicos y/o electromecánicos integrados e instalados en una aeronave para operar y electromagnéticamente en armonía, consigo mismos, con otros y dentro del escenario electromagnético de operación, en todas las condiciones y modos de funcionamiento garantizándose por tanto la seguridad de vuelo.

## LOS EFECTOS DE LAS AMENAZAS

El escenario electromagnético de amenazas de una aeronave es muy complejo y variado, dependiendo de muchos factores que iremos despejando en este artículo. La causa y el efecto de los diferentes ambientes electromagnéticos sobre la aeronave son día a día más conocidos debido a un mayor conocimiento de su naturaleza física de los fenómenos que los producen, de la aplicación de mayores

controles por las autoridades y fabricantes de aeronaves; así como del análisis de la información que se reportan de incidentes a bordo por los operadores y autoridades competentes. Ejemplos típicos de incidencias en los sistemas de la aeronave por interferencias electromagnéticas son:

- ✓ Cambios en la marcación de algún indicador de cabina.
- ✓ Pérdida o parpadeo de pantallas de cabina de vuelo.
- ✓ Aparición de avisos falsos de algún sistema
- ✓ Ruido en los interfonos de cabina.
- ✓ Pérdida de la memoria en algún computador de vuelo.
- ✓ Corrupción de señales eléctricas de algún sensor de datos de aire.

De todas las incidencias de vuelo analizadas por diferentes estudios internacionales, se puede concluir que el cincuenta por ciento pueden ser consideradas debidas a interferencias electromagnéticas. De todas ellas el 10% son debidas a transmisores localizados en tierra por tanto externos al avión, el 15% al impacto de rayos de que existe una tasa de un impacto cada 2900 horas de vuelo, 20% se deben a equipos emisivos y cargas eléctricas en el propio avión, y el otro 5% a dispositivos portátiles electrónicos (PEDs) que llevan los pasajeros en vuelo como son los teléfonos móviles y ordenadores portátiles fundamentalmente.

Una aeronave que está sometida a radiación externa de radiofrecuencia o de microondas, se comporta de forma similar a una combinación de antenas receptoras. Transforma el campo electromagnético externo en flujo de corriente eléctrica sobre la superficie de la aeronave, que penetra y radia dentro de la estructura; pudiéndose acoplar sobre el cableado y equipos electrónicos embarcados.

No solamente existen amenazas electromagnéticas externas sino que la propia aeronave en sí, por la naturaleza de sus componentes, equipos y subsistemas em-

barcados pueden conducir o radiar energía electromagnética que son potenciales fuentes de interferencias en vuelo. Este ambiente electromagnético interno de la aeronave se debe controlar para evitar que un equipo embarcado perturbe a otro durante su funcionamiento normal en el vuelo. En este apartado también se pueden incluir los dispositivos electrónicos portátiles que llevan los pasajeros durante el vuelo, tales como: teléfonos móviles, ordenadores, video juegos, etc. cuyo uso debe estar bajo la estricta supervisión de la tripulación y en algunos casos está totalmente prohibido su uso por el riesgo conocido que existe.

Los rayos pueden causar daños sobre la estructura e instalaciones debido a la disipación de energía y el paso de corrientes de alta intensidad, siendo de especial preocupación las zonas del avión con combustible por los riesgos de explosión. Además un rayo puede actuar sobre el funcionamiento de equipos y subsistemas embarcados debido a transitorios de corrientes y tensiones inducidos por él sobre el cableado y que pueden penetrar en los equipos.

## ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● LAS PROTECCIONES ELECTROMAGNÉTICAS, GARANTÍA DE SEGURIDAD EN VUELO

La única solución a todas las amenazas electromagnéticas es el diseño de protecciones adecuadas contemplando esta problemática desde el mismo instante en que se define conceptualmente el avión en la fase preliminar de diseño. Para poder abordar este diseño debo partir de un potencial escenario electromagnético de amenazas que me lo proporciona la normativa a través de modelos de ingeniería, y que dependerá del tipo y características de operación de la aeronave.

La práctica habitual para proteger los equipos electrónicos y sus instalaciones eléctricas auxiliares embarcadas de interferencias electromagnéticas es segregar los cables de una forma selectiva en virtud a la naturaleza de la señales eléctricas



que conducen (p.e. de alimentación, de control de actuadores, de sensores, etc.), además de una adecuada puesta a masa de sus pantallas protectoras vía la estructura metálica primaria de la aeronave.

En el rutado de cable se deben evitar bucles que actúen de antena receptora de radiación y además zonas estructurales del fuselaje que sean abiertas a la radiación, por tanto se debe garantizar utilizar zonas que presenten un atenuación estructural inicial de la radiación externa obteniendo de esta forma una primera protección al disminuir los niveles que penetran en el interior de la aeronave. A nivel de equipo se les suele dotar de unas carcasas metálicas con alto nivel de atenuación y puestas a masa que garantizan una segunda protección y por tanto una nueva disminución de los niveles que definitivamente llega a la circuitería del equipo.

La filosofía que debe seguir una buena protección contra rayos está basada en evitar la perforación (daños no admisibles) de los revestimientos de la aeronave, y procurar que los impulsos de corriente inyectados por el rayo sean conducidos de manera segura, sin producir efectos tales como calentamiento y arcos (eléctricos y térmicos). La probabilidad de que se produzcan arcos eléctricos entre dos elementos conductores depende de factores tales como la diferencia de

potencial entre ellos, presión ambiente, temperatura ambiente, etc así como la rigidez dieléctrica del material que se interpone entre ellos y de la posible propagación de la superficie húmeda de su elemento aislante.

Los rayos pueden impactar en cualquier punto con una probabilidad matemática conocida por la experiencia de la industria aeronáutica que depende de la zona de la superficie de la aeronave de la que se trate, por tanto esto determinará aquellos ámbitos que necesitan una protección más exigente si es de una alta probabilidad de impacto en servicio. La descarga de un rayo sobre la aeronave produce tensiones y corrientes eléctricas muy altas a través de la estructura. Por este motivo, como medida básica de protección, todos los elementos estructurales del avión deben tener una conexión eléctrica perfecta, para conducir la corriente de descarga lejos de las zonas donde sus efectos comprometen la seguridad del avión: depósitos de combustible, superficies de control de vuelo, equipos electrónicos de aviónica entre otros.

En cuanto a equipos embarcados y dispositivos electrónicos portátiles se debe garantizar que cumplen normativa que de como resultado bajos niveles de emisión y susceptibilidad electromagnética a nivel de dispositivo.

## NUEVAS TECNOLOGÍAS VERSUS COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA

Los materiales compuestos se están introduciendo a gran escala en estructuras de responsabilidad primaria en las últimas generaciones de aeronaves, como superficies de ala, largueros de las superficies de control además de los fuselajes. Desde el punto de vista de la protección electromagnética de las aeronaves imponen importantes retos para el diseñador de aviones debido a sus insuficientes propiedades eléctricas.

Es conocido que en los fuselajes metálicos la corriente eléctrica y el calor se conducen fácilmente y también que un revestimiento de metal proporciona una buena atenuación de campos radiados; circunstancia que no se da por sí sola en los fuselajes de material compuesto. Por tanto una estructura de material compuesto impone una nueva filosofía para el diseño de la protección contra amenazas electromagnéticas, tanto frente a impacto de rayos como campos radiados de alta intensidad externos a la aeronave.

Los materiales compuestos son lo suficientemente conductores para atraer la descarga del rayo, pero no poseen capacidad de transferir la energía acumulada en el proceso, por lo que se requieren nuevos conceptos de diseño. Actualmente las técnicas de protección electromagnética de estructuras en materiales compuestos, consisten en diversas clases de metalizaciones de las superficies externas, dependiendo de la zona a proteger, o bien la instalación de conductores metálicos capaces de drenar la corriente y conducirla de manera controlada tanto

frente a frente al impacto de rayos como a la atenuación frente a interferencias electromagnéticas radiadas.

Con esta metalización de la estructura de material compuesto se pretende obtener una Jaula de Faraday (zona apantallada metálica y cerrada) en zonas más críticas desde un punto de vista electromagnético, como es el caso de las bodegas de aviónica donde van montados los equipos electrónicos/eléctricos de alta responsabilidad en vuelo. Esta metalización también se utiliza para el diseño de protecciones frente al impacto de rayos, estableciendo así caminos de descarga de baja resistencia para la corriente que la permita fluir por zonas menos comprometidas del fuselaje.

El funcionamiento óptimo de las metalizaciones depende fundamentalmente de la obtención de un adecuado contacto eléctrico entre elementos metálicos y no metálicos, tarea nada fácil en la que incluso hay que utilizar sellantes especiales. El conseguir un contacto eléctrico es por tanto básico desde el montaje estructural hasta la instalación de equipos, ya que garantiza la puesta a masa de equipos a través de la estructura metálica del avión, permite obtener planos de referencia de masa en los revestimientos para sistemas radiantes como antenas, así como para minimizar diferencias de potencial entre diferentes partes conductoras con el fin de evitar interferencias, evitar arcos eléctricos y drenajes de carga electroestática.

## CONCLUSIONES

La seguridad del transporte aéreo en cuanto a los fenómenos electromagnéticos tiene un coste económico desde el diseño preliminar del avión, continuando después en la fabricación de dichas protecciones y siguiendo en el mantenimiento de dichas protecciones por el operador en servicio. Este coste será mayor para sistemas esenciales ya que se debe garantizar su redundancia funcional en caso de fallo.

Antes de la obtención del Certificado de Tipo para vuelo de una aeronave las autoridades aeronáuticas exigen al fabricante que verifique que funcionan adecuadamente las protecciones electromagnéticas diseñadas. Para ello el fabricante se debe dotar de instalaciones que reproduzcan las amenazas electromagnéticas en tierra y se pueda verificar sobre la aeronave el adecuado funcionamiento de la protección. Debido a que son instalaciones muy caras se suele apoyar esa verificación mediante análisis usando una modelización matemática de la aeronave usando herramientas de software que me permiten evaluar que los márgenes de seguridad son los adecuados. Este proceso de certificación culminará dando información de las limitaciones operacionales de la aeronave.

La industria aeronáutica al igual que otros ámbitos industriales en Europa son muy sensibles a la importancia de la Compatibilidad Electromagnética (EMC) de sus productos desde la aparición de la Directiva EMC 89/336/EEC. En el caso aeronáutico han surgido además recomendaciones del ámbito militar extrapoladas al mundo civil, concretamente del desarrollo de aviones de combate, donde el concepto de guerra ha evolucionado y se utilizan fuentes de radiación interferente intencionadas sobre las aeronaves enemigas que han obligado a evolucionar hacia protecciones mucho más severas que las que puedan encontrarse en el mundo aéreo civil.

En los foros de armonización de normativa civil de compatibilidad electromagnética en aeronaves en el ámbito internacional se están incorporando recomendaciones que vienen de la industria militar con el único fin de obtener un transporte aéreo más seguro.