

# LA COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA A BORDO

Antonio VALLES CASTRO



## Introducción



L 16 de mayo de 1986 el *Washington Post* reveló al público americano que el HMS *Sheffield*, el destructor británico hundido por un misil Exocet durante la Guerra de las Malvinas, tenía su radar apagado porque estaba estableciendo comunicaciones por radio con Inglaterra. Esto se debía a que el radar interfería las comunicaciones y por tanto el comandante ordenó apagarlo. En el transcurso de ese periodo el misil llegó sin ser detectado.

La revista *Navy Times* apuntó que el problema se había debido a una interferencia electromagnética (EMI) y que un problema similar podría producirse en un buque americano. La Marina estadounidense empezó entonces una campaña por la Compatibilidad Electromagnética (EMC) en sus buques.

La gran cantidad de equipos y sistemas electrónicos y de comunicaciones instalados a bordo hacen que el ambiente electromagnético (EME) en un buque moderno sea muy intenso. Sólo hay que contemplar la superestructura de un buque para ver la gran cantidad de elementos emisores que lleva instalados. Antenas de radar, comunicaciones, IFF, etc. Pero además de estas radiaciones intencionadas existen también, especialmente bajo cubierta, otro tipo de emisiones no intencionadas producidas por generadores, motores eléctricos y otros elementos que contribuyen a saturar más si cabe el ambiente electromagnético del buque.

Aunque la definición formal de la Compatibilidad Electromagnética la veremos más adelante en este artículo, se suele agrupar bajo este término al estudio de la problemática surgida por la generación, propagación e influencia sobre otros dispositivos, equipos o sistemas de las interferencias electromagnéticas, así como a las medidas tomadas para subsanarlas.

En este artículo el autor pretende divulgar, de una manera sencilla, la Compatibilidad Electromagnética y su aplicación a los buques. Es fundamen-

tal en la Armada la concienciación de todos a la hora de aplicar las medidas necesarias para evitar los posibles problemas que se produzcan por la incorrecta utilización del espectro electromagnético a bordo.

### **Un poco de historia**

Es hacia el año 1920 cuando se comienza a dar importancia a las interferencias electromagnéticas. Comienzan a generalizarse las emisiones de radio comercial y la preocupación de las emisoras se centraba en lo que se llamaba ruido de radio o ruido electromagnético.

Durante los años 30 aparecen los primeros informes técnicos, documentación y métodos de medida en el campo de las interferencias, básicamente centrados en la radio comercial. La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) se crea en el año 1933 y un año después, en 1934, se crea el Comité Especial Internacional de Perturbaciones Radioeléctricas (CISPR), que inmediatamente comienza a publicar normas en el ámbito de la Compatibilidad Electromagnética.

Durante la Segunda Guerra Mundial se intensifica la utilización del espectro electromagnético, tanto en comunicaciones como en radar. Se hace necesario entonces un control más exhaustivo de este espectro. Las frecuencias suben hasta los 20 MHz en los años cuarenta, a los 30 MHz en los cincuenta y a los 1.000 MHz en los sesenta. La normativa se hace cada vez más rígida, tanto en el ámbito militar como en el civil.

El rápido incremento en las comunicaciones no militares después de la guerra hizo necesaria una mayor disciplina en la utilización del espectro electromagnético. Aparecen las primeras normas en aparatos y sistemas electrónicos comerciales, como pueden ser radio y televisión, líneas de alimentación eléctrica, aparatos eléctricos del hogar, vehículos a motor, y en el área de industria, medicina y científica.

En los últimos años del siglo XX y principios del XXI, el avance de la electrónica y las comunicaciones es meteórico. Con las nuevas tecnologías, especialmente en comunicaciones y proceso de datos, el espectro electromagnético está cada vez más saturado a pesar del aumento de las bandas de frecuencia utilizados. Los equipos de proceso digital, aparecidos en los años ochenta, son más vulnerables a las interferencias electromagnéticas. Es fundamental cada vez más la publicación de nueva normativa en este campo. Además, la sociedad demanda el control del espectro por los efectos perniciosos que las ondas electromagnéticas puedan tener para la salud.

En el ámbito naval, a finales del siglo diecinueve aparece la telegrafía sin hilos. Surgen por tanto las primeras interferencias electromagnéticas. El 26 de octubre de 1899 la Marina de los Estados Unidos hace los primeros experimentos con la telegrafía sin hilos a bordo de un buque. Además de las pruebas

de enlace, realizan pruebas también de interferencias utilizando dos transmisores simultáneamente. L. S. Howeth escribe en su *History of Communications-Electronics in the United States Navy* con mucho sentido del humor: «El resultado de las pruebas de interferencia fue perfecto. Es decir, la interferencia fue perfecta. Durante el periodo en que la estación de tierra transmite al mismo tiempo que dos buques que están intentando comunicarse, la confusión es tal que la comunicación es imposible».

En 1906 aparece en las comunicaciones navales el concepto de circuito «primario» y «secundario», con frecuencias separadas para evitar interferencias. En 1914 se experimenta con las comunicaciones en escenarios de guerra con resultado poco satisfactorio. Los descargadores de arco de los transmisores generaban una gran cantidad de interferencias. En los años veinte, con la aparición de las válvulas de vacío, dejaron de utilizarse los descargadores de arco.

Durante la Segunda Guerra Mundial aumenta de manera considerable el número de equipos electrónicos instalados a bordo de los buques participantes en la guerra. Un buque de tipo medio llevaba instalados 12 transmisores de radio, 18 receptores y dos radares. Todos estos equipos hacían que el ambiente electromagnético fuera ya importante y que aparecieran interferencias entre buques (*inter-ship*) y dentro del mismo buque (*intra-ship*).

Después de la Segunda Guerra Mundial, con el aumento de los equipos y de los márgenes de frecuencia, la necesidad del control del ambiente electromagnético fue mayor. En 1957 el IEEE creó la Sociedad Profesional para Interferencias de Radio. En el año 1958 se establecieron en la Marina de los Estados Unidos las primeras ordenanzas sobre RADHAZ (peligro de radiación).

En los años 60 un portaaviones, por ejemplo, podía llevar instalados 35 transmisores de radio, 56 receptores, 5 radares y hasta 100 antenas. Aparece entonces formalmente el término «Compatibilidad Electromagnética».

El desarrollo de la electrónica y las comunicaciones llevó implícito una gran cantidad de normas para controlar el ambiente electromagnético en los buques. En la actualidad, el problema de compatibilidad electromagnética requiere un control exhaustivo. Ya desde su construcción en el astillero se estudia la compatibilidad electromagnética del buque y se desarrollan protocolos de prueba y simulación para optimizar el control del entorno electromagnético a bordo, y una vez construido, para subsanar los problemas de interferencias electromagnéticas que se puedan encontrar.

## Terminología

*Compatibilidad electromagnética (EMC)*: habilidad de un dispositivo, equipo o sistema de funcionar satisfactoriamente en un entorno electromagnético sin introducir perturbaciones electromagnéticas intolerables para cualquier otro dispositivo situado en ese entorno.

## TEMAS PROFESIONALES

*Perturbación electromagnética*: cualquier fenómeno electromagnético que pueda degradar el funcionamiento de cualquier dispositivo, equipo o sistema o afectar de forma perniciosa a la materia viva o inerte.

*Entorno electromagnético (EME)*: es la totalidad de los fenómenos electromagnéticos que existen en una región dada. Incluye las emisiones electromagnéticas deseadas y no deseadas.

*Susceptibilidad electromagnética (EMS)*: incapacidad de un dispositivo, equipo o sistema para funcionar sin degradación en presencia de una perturbación electromagnética.

*Inmunidad electromagnética*: capacidad de un dispositivo, equipo o sistema de funcionar sin degradación en presencia de una perturbación electromagnética. Se puede hablar de inmunidad de un determinado equipo con respecto a una determinada perturbación.

*Nivel de compatibilidad electromagnética*: máximo nivel de perturbación electromagnética a que se espera sea sometido un dispositivo, equipo o sistema.

*Nivel de inmunidad electromagnética*: máximo nivel de una perturbación dada que incide sobre un dispositivo determinado, pudiendo éste funcionar con el rendimiento requerido.

*Interferencia electromagnética (EMI)*: alteración electromagnética que degrada el rendimiento de los equipos electrónicos.

*Efectos del ambiente electromagnético (E3)*: es el impacto del ambiente electromagnético sobre la operatividad de los equipos, sistemas y plataformas. Abarca la compatibilidad electromagnética, el control de las EMI y el RADHAZ.

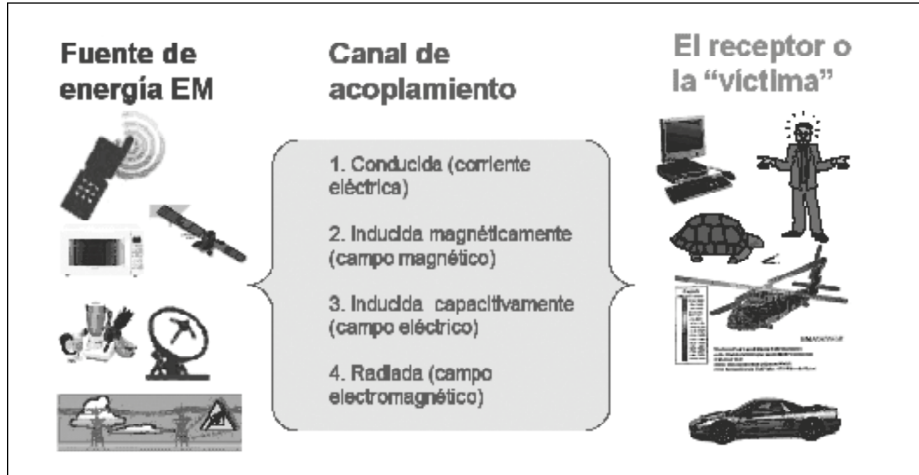
*Electromagnetic Radiation Hazard (RADHAZ)*: estudia los efectos perniciosos producidos por las perturbaciones electromagnéticas sobre el personal, combustibles y dispositivos electroexplosivos.

Cuando no existe ningún problema de interferencia interna se dice que el equipo es compatible intrasistema, y cuando no existe problema de interferencia externa es compatible intersistemas.

### Elementos de un problema de EMC

Para que exista un problema de EMC deben existir simultáneamente los siguientes elementos:

- Origen, fuente o generador de interferencias.
- Medios de propagación o caminos de acoplamiento de las interferencias.
- Receptores afectados por las interferencias (víctimas).



Elementos de un problema de EMC.

Los medios por los cuales se pueden acoplar las interferencias son:

- Conducción.
- Radiación electromagnética.
- Inducción, debido al campo magnético (acoplo inductivo) o al eléctrico (acoplo capacitivo).

Por tanto, podemos hacer una clasificación de las interferencias por su camino de acoplamiento:

- Interferencias conducidas: se propagan a través de un conductor.
- Interferencias radiadas: se propagan por la radiación de un campo electromagnético.
- Interferencias acopladas: se propagan a través de un campo eléctrico o magnético. Acoplo capacitivo e inductivo, respectivamente.

Las fuentes de interferencias pueden ser de diferentes tipos. Pueden ser naturales o generadas por el hombre y, dentro de éstas, intencionadas o no intencionadas.

Los receptores «víctimas» son aquellos dispositivos —o también seres vivos— afectados por las interferencias. Todos sabemos la preocupación de la sociedad por el tema de las ondas electromagnéticas, especialmente por las antenas de telefonía móvil y líneas de alta tensión.

## Fuentes de interferencias a bordo

Para este pequeño estudio vamos a clasificar las fuentes de interferencia en tres tipos: naturales, producidas por el hombre y generadas por el casco.

### *Naturales*

*Ruido atmosférico:* se presenta en frecuencias muy bajas, hasta 100 MHz. Es la fuente de ruido predominante por debajo de los 30 MHz y varía con las estaciones, el tiempo meteorológico y los periodos de noche y de día. Afecta principalmente a las comunicaciones en HF.

Está generado principalmente por las descargas eléctricas entre nubes cargadas y entre nubes y tierra, y constituyen en determinadas situaciones fuentes de interferencias muy intensas. Se pueden producir tres formas de perturbación: por incidencia directa de un rayo en un conductor (por ejemplo, una línea de alta tensión); por el campo eléctrico asociado a las nubes cargadas, que se colapsa cuando cae el rayo, y por el cambio rápido de corriente a lo largo del camino de descarga del rayo, que produce el efecto de una antena y emite una señal de radiofrecuencia de 50 a 100 MHz.

*Ruido cósmico:* son las interferencias producidas mas allá de la atmósfera, en el espacio exterior, y empieza a ser significativo a partir de los 20 MHz. Es una combinación de emisiones galácticas, térmicas y de ruido interestelar. Por debajo de los 10 MHz su nivel es bajo; sin embargo, aumenta considerablemente por encima de los 50 MHz. Este ruido es de banda ancha y puede llegar a los 30 GHz.

Hay veces, durante el periodo de máxima actividad solar, que las ráfagas de ruido cósmico pueden afectar también a las comunicaciones en la banda de HF durante varios minutos.

### *Producidas por el hombre*

*Descargas electrostáticas (ESD):* ocurre entre dos objetos que están en contacto y en movimiento uno respecto a otro. Se produce entonces un intercambio de electrones, quedando cada cuerpo cargado con cargas de signo opuesto. Este proceso puede dar lugar a potenciales de tensión muy altos, hasta 25 kW.

Las perturbaciones que generan los distintos tipos de descargas electrostáticas son perturbaciones de tipo AF (alta frecuencia) que se producen por conducción, pero que se pueden acoplar a otros dispositivos por radiación.

Como curiosidad diré que en el transcurso de la asignatura de Electrónica Digital que imparto en la Escuela «Antonio de Escaño», a la hora de estudiar

los circuitos integrados CMOS explico a los alumnos cómo deben manipularse estos dispositivos debido a la poca tolerancia que tienen a las descargas electrostáticas.

*Variaciones de la tensión de alimentación:* la tensión de alimentación produce varios tipos de interferencias conducidas. Estas interferencias son producidas por las variaciones de diferentes tipos que se producen en el suministro de la alimentación. Pueden ser de baja frecuencia (por ejemplo, por variaciones de la carga en la red o fluctuaciones de baja frecuencia), caídas de tensión, y variaciones de alta frecuencia (debidas a los procesos de conmutación en los sistemas de alimentación, que originan transitorios rápidos con espectros de banda muy ancha).

*Transitorios y conmutaciones en circuitos electrónicos:* son una de las principales fuentes de interferencias en equipos electrónicos, especialmente en los digitales. Se producen por los transitorios y conmutaciones que tienen lugar en circuitos próximos. Normalmente se producen por transitorios en contactos de relés, contactores e interruptores y por transitorios en conmutadores con contactos estáticos (semiconductores o válvulas de gas).

*Aparatos eléctricos:* como se ha dicho anteriormente en la introducción de este artículo, algunas de las interferencias a bordo se producen bajo cubierta, debido principalmente a los aparatos eléctricos que allí se encuentran:

- Motores eléctricos: los motores con escobillas y colector generan perturbaciones tipo transitorias que se producen en la fase de conmutación de las escobillas. Los motores asíncronos perturban debido a que la saturación magnética hace que la carga deje de ser lineal y produce armónicos.
- Alumbrado fluorescente: este término se refiere a todas las fuentes de alumbrado que funcionan con el principio de un arco eléctrico que se enciende y se apaga alternativamente. La corriente absorbida por los tubos fluorescentes no es senoidal y lleva muchos armónicos. Produce interferencias de baja frecuencia que se acoplan por conducción.
- *Grupos eléctricos de soldadura:* la soldadura se efectúa haciendo pasar una corriente elevada a través de las piezas que se quieren soldar. Esta corriente produce tensiones armónicas de 200 Hz a 20 KHz.
- *Interruptores y relés:* las interferencias se producen por el mismo mecanismo que el de la conmutación en equipos electrónicos vista anteriormente.

*Transmisiones a bordo:* en un buque existe un gran número de emisores de comunicaciones, satélite, radar, TACAN, IFF, etc. La mayoría de ellos transmite con altas potencias y algunos transmiten en los 360° y de manera continua. Como consecuencia de ello los diferentes sistemas se pueden interferir

## TEMAS PROFESIONALES

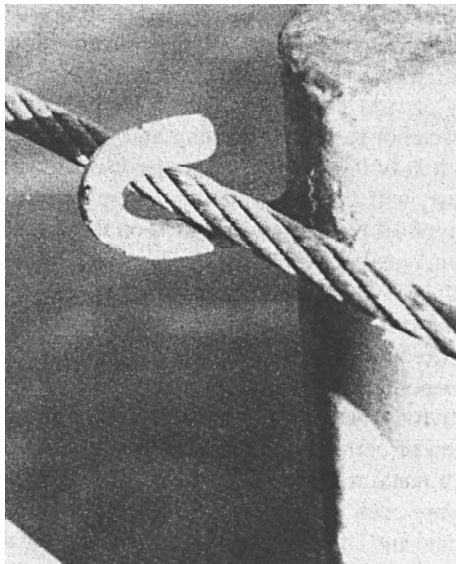
mutuamente, por lo que el diseño debe ser muy cuidadoso. A pesar de que muchos de estos sistemas tienen circuitos supresores de interferencias, se producen efectos perniciosos, como creación de armónicos, productos de intermodulación (IMI), oscilaciones parásitas, ruido de banda ancha producido por arcos y pérdidas en líneas coaxiales y guías de onda.

### *Generadas por el casco*

Las interferencias generadas por el casco son producidas por la interacción de la energía electromagnética con elementos de la compleja superestructura del buque. Estas interferencias son consecuencia directa de:

- La cantidad de transmisores a bordo y sus niveles de potencia de radiación.
- La cantidad de receptores a bordo y sus niveles de sensibilidad.
- La cantidad de antenas y su situación.
- La cantidad de frecuencias en uso.
- La cantidad de puntos de discontinuidad y juntas en la superestructura.

La consecuencia de este fenómeno, llamado a menudo *rusty bolt effect* (efecto del perno oxidado), es la generación de productos de intermodulación.



Unión no lineal.

Una unión no lineal es el área de contacto entre dos superficies metálicas que, cuando se les aplica voltaje, exhiben características de transferencia voltaje-corriente no lineal (igual que un diodo semiconductor). Esto ocurre a menudo en la superestructura del buque debido a la corrosión. Típico ejemplo es el que se puede ver en la figura: el candelero que pierde la pintura y se oxida en la zona de contacto con el cable. Si a esas discontinuidades les llega energía electromagnética de suficiente nivel procedente de los emisores del buque, se produce una serie de señales de frecuencias discretas llamadas «productos de intermodulación». Cuantas más señales de distintas frecuencias lleguen a esas discontinuidades más productos de intermo-



dulación se generarán. Como curiosidad diré que con 10 transmisores con la suficiente potencia se generarían 670 productos de intermodulación de orden 3 y hasta 20 millones de orden 13.

### Efectos de las interferencias

Los efectos de la degradación de los equipos a bordo producidos por las interferencias son muy variados. A continuación vamos a repasar algunos de los más importantes:

- Falsos ecos: aparecen en las pantallas de radar debido a las transmisiones de HF o de otros radares acoplados a través de las antenas a cables y guías de onda. También se producen por el multitrayecto de las ondas recibidas por las antenas de radar.
- Falsas alarmas: producidas en los sistemas de control de plataforma de los buques, llegando incluso a la parada del sistema. Es debido principalmente a las transmisiones de HF acopladas a través de los cables que se encuentran por debajo de cubierta y a las EMI generadas por la maquinaria existente bajo cubierta.
- Demoras falsas: se observan en la información de demora de sistemas como el TACAN. Normalmente son causadas por las reflexiones de energía en las estructuras cercanas y por las transmisiones de HF que se acoplan en el cableado del equipo.
- Falsos acoplamientos: sintonía errática en los acopladores de antenas producida por la energía acoplada desde transmisores situados en las cercanías.
- Distorsión en las comunicaciones: alto BER (*Bit Error Rate*) y aumento de ruido en los equipos de comunicaciones, causado por la intermodulación generada por las no linealidades del casco. También se producen por el acoplo de la antena transmisora de HF al cableado de los equipos receptores de UHF.
- Distorsión en las pantallas de presentación: aparición de interferencias erráticas producidas por el acoplo entre radares cercanos y por los equipos de HF acoplados al cableado de los sistemas de radar.
- Bloqueo de radiación: se produce en las antenas omnidireccionales, como las de comunicaciones en HF, VHF y UHF, y en las antenas que giran, como las de radar, EW y TACAN. Se produce por las múltiples obstrucciones en el campo de radiación.
- Riesgo de radiaciones peligrosas: riesgo de aparición de niveles de radiación peligrosos para el personal, combustibles, munición, etc. Es debido a la exposición de estos materiales a la radiación de alta potencia de los radares y equipos de RF.

### Técnicas de control del EME

Para asegurar la efectividad de los sistemas electrónicos del buque es esencial llevar un control adecuado sobre el ambiente electromagnético. Para conseguir una buena EMC es necesario:

- Reconocer el problema como una degradación producida por una interferencia
- Identificar las fuentes de interferencia y los métodos de acoplo
- Tomar las acciones necesarias para solucionar el problema

Existen una gran cantidad de medidas de carácter técnico que se toman para conseguir la compatibilidad electromagnética a bordo. No es el propósito de este artículo, ni su extensión lo permite, estudiar todas estas técnicas. Nombraré algunas de ellas:

- Desacoplo.
- Gestión de frecuencias.
- Apantallamiento.
- Masas.
- Filtrado/*blanking*.
- Disposición / Reducción de antenas.
- Reducción de potencia.
- Reducción de objetos metálicos de la superestructura.
- Empleo de materiales RAM.

### Aplicación de las medidas EMC

Para conseguir una compatibilidad electromagnética es fundamental que se desarrolle un plan de compatibilidad electromagnética (EMCPP). Ese plan debe nacer en la fase de diseño y construcción del buque y mantenerse durante toda su vida operativa. En ese plan se aplica una serie de medidas encaminadas a conseguir y mejorar la EMC en el buque. Estas medidas serían:

*Estudio del espectro de frecuencias:* la utilización intensiva del tan saturado espectro de frecuencias da lugar, como hemos visto anteriormente, a la proliferación de interferencias a bordo. El problema se agudiza en los buques donde hay una gran cantidad de emisores con diferentes márgenes de frecuencia. Todo ello exige —durante la fase de diseño y construcción del buque, y antes de las posibles modificaciones que puedan tener a lo largo de su vida operativa— un detallado estudio de las frecuencias de los emisores que va a llevar instalados.

*Diseño e instalación de sistemas y equipos:* el estudio de la EMC en los buques comienza en su diseño y construcción. Durante ese periodo el astillero se encargará de implementar los niveles requeridos de EMC a bordo. Cualquier modificación posterior exige un estudio previo para que no modifique las características EMC del buque.

*Matriz EMI:* es una herramienta muy interesante para el control de la EMC. Muestra las potenciales fuentes y víctimas de las interferencias.

SOURCE \ VICTIM	VICTIM														
	IFF	TACAN	Surface Search Radar	Air Search Radar	UHF LOS COMM	UHF SATCOM	BRDC-BRDC COMM	SHIP-AIR COMM	Fleet Broadcast	VHF Transceivers	SSES Receive	SATNAV	OMEGA NAV	HF Receiver	HF Transmitters
IFF	•	•				•									
TACAN	•														
Surface Search Radar															
Air Search Radar	•	•	•			•									
UHF LOS COMM					•	•			•			•			
UHF SATCOM					•	•									
BRDC-BRDC COMM								•							
SHIP-AIR COMM							•								
VHF Transceivers									•						
HF Transmitters									•		•			•	•

Matriz EMI.

En la Marina estadounidense la matriz EMI la genera un comité asesor en EMC: el EMCAB (*Electro-Magnetic Compatibility Advisory Board*).

*Gestión y control de la configuración:* para poder efectuar su cometido todo buque lleva instalado a bordo un conjunto de equipos y sistemas tales como radares, comunicaciones, direcciones de tiro, etc. Para mantener el nivel EMC en los valores establecidos es crucial un estudio detallado del efecto que tendrá cualquier cambio en la configuración del buque. La instalación de equipos nuevos sólo deberá realizarse después de efectuar las correcciones necesarias para no degradar el nivel de ECM del buque. La EMC deberá ser también un criterio a tener en cuenta a la hora de la compra de los equipos o sistemas que se van a instalar a bordo.

*Concienciación EMC/Degradación/Mantenimiento:* para mantener el nivel EMC del buque es fundamental la concienciación de toda la dotación en la importancia que tiene el control de las EMI. En particular, el personal que se dedica a tareas de mantenimiento en equipos y sistemas de electricidad, electrónicos y de comunicaciones debe estar especialmente sensibilizado en la EMC. Este personal debe además estar adiestrado en las causas de las EMI y en los efectos que pueden provocar a bordo, con el fin de evitarlas en lo posible. Cualquier mantenimiento mal hecho puede dar lugar a problemas EMC. Por citar algún ejemplo: cuando se trabaja en la parte de frecuencia intermedia de un receptor, que normalmente viene dentro de una carcasa metálica para su apantallado, una vez solucionada la avería esta carcasa queda frecuentemente sin colocar, bien por prisas o por cualquier otro motivo, ya que la avería está solucionada y el equipo funciona bien. El mantenedor no se da cuenta de que esta acción puede provocar efectos perniciosos, a los que solemos llamar «meigas», debido a que al faltar el apantallamiento se puede acoplar energía electromagnética en el receptor. Otro ejemplo muy frecuente es la costumbre de dejar los equipos con las puertas abiertas. La puerta en muchos equipos sirve como apantallamiento por lo que, como en el caso anterior, se puede producir mal funcionamiento por acoplo de energía electromagnética.

En estos dos ejemplos se puede ver la necesidad del adiestramiento y de la concienciación del problema de la EMC a bordo, especialmente por parte de los mantenedores de equipos y sistemas eléctricos y electrónicos.

### **Oficial de Control de EMIs**

Además de la concienciación, se hace preciso contar con una figura como la del oficial de control de EMI, responsable de mantener la compatibilidad electromagnética a bordo. De esta forma, para implementar la EMC a bordo el oficial de control EMI se encargaría de:

- Desarrollar un programa de adiestramiento para informar al personal del buque, en especial a los mantenedores de los equipos eléctricos y electrónicos, de la necesidad de mantener la EMC.
- Desarrollar y coordinar los procedimientos y calendario de trabajo e inspección para asegurar y mejorar la EMC.
- Asegurarse de que el mantenimiento correctivo realizado en un equipo o sistema no producirá EMI.
- Solicitar y mantener calibrados los equipos de medida necesarios para la realización de las comprobaciones de EMC a bordo.
- Asegurarse de que se realizan las tareas de inspección, prueba, conexión de masas y de tierra para detectar y suprimir las EMI.

En resumen, ésta es una tarea ardua. Exige un esfuerzo continuo de concienciación y adiestramiento, sobre todo entre los operadores y los mantenedores de los equipos y sistemas. Es esencial conseguir una detección temprana de los problemas de EMC y ejecutar una acción correctiva inmediata para conseguir el funcionamiento sin degradación de todos los sistemas electromagnéticos del buque.

La figura del *EMI Control Officer* ya existe en la Marina de los Estados Unidos. De hecho, las misiones reseñadas anteriormente están extraídas de la norma americana. Creo que en la Armada deberíamos tener a bordo un oficial que con una preparación previa pudiera hacerse cargo del control de las interferencias a bordo. Sería un primer escalón en la cadena y actuaría como enlace del buque cuando se necesitara acudir a otros estamentos por problemas de EMI.

Yendo un poco más allá, quizás habría que pensar en un futuro destino de EMC dada la entidad del ambiente electromagnético de los buques. Tendría que ser un personal con conocimientos de electrónica y adiestrado especialmente en EMC, que se encargaría de un control más exhaustivo de las EMI a bordo.

Como herramientas, existen tarjetas de mantenimiento (MRC) que incluyen comprobaciones de fuentes de EMI y de víctimas. Estas MRC incluyen inspecciones visuales y pruebas en equipos y sistemas. La instrumentación para la detección de EMI está muy avanzada. Actualmente hay en el mercado gran cantidad de modelos para todos los márgenes de frecuencia. Por último, está el software para análisis de EMC. Como ejemplo podemos citar el *Electromagnetic Compatibility Analysis Program* (EMCAP), que ya tenemos en la Armada.

Con todas estas herramientas, y una adecuada preparación, el personal de EMC del buque podría detectar y resolver muchos de los problemas de EMI a bordo.

## Conclusiones

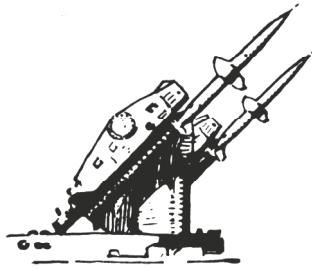
A lo largo del artículo hemos visto, de una manera somera y superficial, lo que es la Compatibilidad Electromagnética y su importancia. El ambiente electromagnético a bordo es muy intenso debido a la gran cantidad de fuentes de energía electromagnética que existe. Como además existe también una gran cantidad de equipos receptores, potenciales víctimas, y una gran cantidad de caminos de acoplamiento, el problema de la EMC está planteado.

El resultado de este problema es la generación de EMI. Estas interferencias son perniciosas para el funcionamiento de los equipos del buque. Es necesario entonces, bajo mi punto de vista, un personal a bordo con un conocimiento profundo de la EMC, que se encargue de detectar las posibles interferencias e

### TEMAS PROFESIONALES

intentar solucionar los problemas que puedan acarrear. Se encargaría, además, de concienciar y adiestrar a toda la dotación y en especial a los mantenedores de los sistemas eléctricos y electrónicos de los buques.

En ese aspecto, como un primer paso, considero necesaria en nuestra Armada la figura, igual que la tienen otras marinas, del oficial de Control de EMI que, con las herramientas necesarias, llevaría a cabo una tarea esencial en un buque moderno. Y no sólo a la hora de detectar y solucionar los problemas, sino para concienciar y adiestrar a los mantenedores.



### BIBLIOGRAFÍA

- PRASAD KODALI, V.: *Engineering Electromagnetic Compatibility*. IEE Press Marketing. 1996.  
PRESTON E. LAW: *Shipboards Electromagnetics*. Artech House. 1987.  
SEBASTIÁN, José Luis: *Fundamentos de Compatibilidad Electromagnética*. Addison-Wesley. 1999.  
Centro de Formación Schneider Electric. *Compatibilidad Electromagnética*. 2002.  
MIL-HDBK-237C. *Electromagnetic Environmental Effect and Spectrum Certification Guidance for the Acquisition Process*. 2002.