



EL CENTRO DE MEDIDAS ELECTROMAGNÉTICAS DE LA ARMADA EN 2025 Y EN EL HORIZONTE DE LA ARMADA 2050

Introducción

El Centro de Medidas Electromagnéticas de la Armada (CEMEDEM) se describe oficialmente como «el centro especializado de la Armada en los aspectos relacionados con el electromagnetismo e infrarrojo aplicado al entorno naval». Esto abarca todos los sensores y factores de detección del buque en la guerra por encima de la superficie (AWW).

Se crea en 1987 por Orden Ministerial Delegada del AJEMA, integrado en la Escuela de Transmisiones y Electrónica de la Armada (ETEA), y en 2002 se traslada a la Escuela Naval Militar (ENM) debido al cierre de las instalaciones de la primera. El CEMEDEM dependía orgánicamente del ALPER-director de la ENM y funcionalmente del AJAL-jefe del Ramo Técnico de Sistemas de la Subdirección General de Ingeniería y Construcciones (SUBDING).

En 2018, al implantarse la nueva Estructura Orgánica de la Armada (Proyecto PROA), el AJEMA ordenó que la dependencia del CEMEDEM fuera del AJAL, integrándose plenamente en su organización a través del Ramo Técnico de Sistemas de la SUBDING en la Dirección de Ingeniería y Construcciones Navales (DIC), dependiendo del director de la ENM en todo

aquello subordinado al jefe de las instalaciones donde se ubica.

Este artículo se redacta para difusión y con formato libre o de opinión, sin referencias. Con él se pretende describir cómo se llegó hasta aquí, contar la actualidad y dibujar el esbozo del CEMEDEM futuro para el horizonte de la Armada 2050.

Un poco de historia. El CEMEDEM desde su origen hasta hoy

En sus inicios en la ETEA, el CEMEDEM comenzó afrontando la necesidad del estudio de interferencias (EMI) y, progresivamente, derivado de ello, vio la necesidad de levantar diagramas de cobertura y/o radiación de todas las antenas. Esto lo efectuaba un ingeniero de la Armada especialista IE en Telecomunicaciones (rama de Comunicaciones), apoyado con los medios materiales y humanos necesarios de esa escuela. Desde la ETEA se estableció una relación fluida con el Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones de la Universidad de Vigo por la necesidad de apoyo de ingenieros y doctores en Telecomunicaciones, tanto para reforzar la enseñanza como para avanzar ante problemas complejos que le surgían al CEMEDEM en los barcos.

José Luis GARCÍA AMADOR
 Jefe del Centro de Medidas Electromagnéticas (CEMEDEM)
 (diciembre 2018 a julio 2025)



Lo que no se mide no se puede mejorar.

(Peter Drucker)

Fruto de ello nació un estrecho vínculo con un grupo de investigación dentro de ese departamento, dedicado a sensores y factores de detección de los buques de guerra. Lo describiremos detalladamente en un apartado de este artículo.

Pero la formación del embrión del actual CEMEDEM se hizo realmente a partir del traslado a la ENM, entre 2002 y 2006, configurando una plantilla propia de personal y adquiriendo el primer equipamiento de analizadores de espectros avanzados, muy valioso, para el levantamiento de los diagramas de radiación/coertura. En esa época, la colaboración con la Universidad de Vigo iniciada en la ETEA empezó a dar frutos, explotando el *software* de diagramas y poniendo en marcha el sistema LIBRA, lo que expondremos más adelante. Por otra parte, se identificó la necesidad de que el CEMEDEM se hiciera cargo de las comprobaciones en los barcos en materia de peligrosidad de las radiaciones no ionizantes —RADHAZ (peligros de la radiación) y HERP (peligros de la radiación electromagnética para el personal)—, asignándole la responsabilidad como organismo que da cobertura en medidas a todos los buques de la Armada en esta importante área de la prevención de riesgos laborales.

Posteriormente, entre 2006 y 2011, con las adaptaciones necesarias en la Armada ante la crisis económica, el CEMEDEM pasó por una época de muy poca actividad y se pensó incluso en cerrarlo, de manera que sus funciones serían contratadas a empresas. Pero se salvó al valorar la importancia de mantener sus funciones básicas de comprobación y supervisión al margen de los intereses económicos, además de que el coste de la externalización era muy alto.

Entre 2011 y 2018, el CEMEDEM vivió una fase de recuperación de la actividad y búsqueda de su esencia. Se efectuó la revisión completa de sus protocolos y se identificó el documento base de su actividad, el *AECTP-500* de la OTAN, que detalla las pruebas necesarias para la comprobación del entorno electromagnético (EM). Fruto de ello, se reorganizaron sus protocolos y se pusieron las bases de su organización actual. También se derivó la obtención de la certificación de calidad PECAL 2120 en 2016, pero no pudo mantenerse en el tiempo de forma documental por la falta de personal (debido a la necesidad de documentación muy precisa de todas las tareas que se llevan a cabo), aunque se ha conservado en la forma de trabajar.

Paralelamente, en el seno de la PLATINDGAM (Subdirección General de Planificación,

Tecnología e Innovación-Dirección General de Armamento y Material) se desarrollaron dos importantes programas de I + D —DIAR (Demostrador Instrumental de Alta Resolución) y DIFI (Demostrador Instrumental de Firma Infra-roja)—, que dieron como fruto los actuales sistemas para cálculos de firmas radar e infra-roja (IR) de los buques, así como la renovación de su laboratorio móvil.

En 2018 se puso en marcha un programa enfocado a optimizar los procesos de planificación y medida en base a la disponibilidad de las unidades y de los propios medios del CEMEDEM, especialmente a partir de la recepción de los nuevos sistemas en octubre de 2019. En primer lugar, se afianzó su organización en el seno de la JAL y se redactó la Instrucción de Ingeniería y Construcciones (IPIC) 01/2020 del AJAL, en la que se establecen sus funciones en base al AECTP-500. Inmediatamente se identificaron las necesidades pendientes de medidas de to-

das las unidades de la Armada. Del estudio resultante —incorporando también las nuevas medidas de firmas radar e IR, con los protocolos de comisiones, prioridades entre buques y ritmo de medidas habitual— se deducía que, si no se reconducía la organización de las medidas, éstas serían inabarcables en menos de 10 años. Además, en 2020 la pandemia frenó la actividad. Pero a pesar de ello, entre 2021 y 2025 el CEMEDEM ha logrado revisar prácticamente todos los buques de la Armada, aunque por la falta de tiempo y de medios en algunos los trabajos fueron limitados. Actualmente todos cuentan al menos con un informe del Centro. Esto fue posible gracias a disponer de protocolos eficientes para las medidas, establecer prioridades claras y mejorar de la logística de las comisiones.

El CEMEDEM está edificado sobre cimientos sólidos, pero tiene muchos retos que afrontar y algunas debilidades que superar.



Instalaciones del CEMEDEM en la ENM. (Fotografía del autor)



Medios móviles de medidas del CEMEDEM. (Fotografía del autor)

El CEMEDEM en la actualidad

Actualmente cuenta con unas instalaciones modernas y adecuadas dentro del recinto de la ENM, situadas en el extremo que da directamente a la entrada de la ría de Marín, y desde una explanada al borde de la mar se pueden situar sus medios para medidas a buques evolucionando dentro de la ría. También tiene la posibilidad de medir desde una balconada del edificio principal, y dispone de pañoles y garajes para los vehículos y equipos asignados.

Sus medios principales de medidas son:

Laboratorio móvil: sobre un camión IVECO de 10 t se ha diseñado un contenedor en el que se incluyen un generador auxiliar, el *rack* de analizadores de espectros, un servidor y tres puestos de trabajo que se pueden configurar para medir simultáneamente diagramas y firmas radar e IR. También cuenta con los equipos de comunicaciones necesarios para enlazar con los buques, cámara de seguimiento y radar de navegación. El contenedor tiene medidas y sujeciones estándar, y puede ser removido del

camión y transportado en cualquier otra plataforma portacontenedores.

Sistema de Firmas Radar (DIAR): sobre una camioneta Toyota Hilux se transporta el sistema DIAR en un contenedor especial (AMU), que contiene los equipos radar transmisor/receptor y unidades de procesamiento diseñadas para el cálculo de las firmas radar utilizando equipos comerciales. Las antenas van montadas sobre una plataforma móvil que permite efectuar el seguimiento del blanco en medición mediante la señal radar, GPS o cámara visible.

Sistema de Firmas IR (DIFI): sobre una camioneta Volkswagen Amarok se transporta el sistema DIFI en un AMU, que contiene dos cámaras IR y una visible, el sistema electrónico de procesamiento de las señales crudas de las cámaras IR con fines de medida y un cuerpo negro para calibración. Las cámaras van montadas en una plataforma móvil que permite el seguimiento del blanco en medición mediante señal GPS o las imágenes de las cámaras visible e infrarrojas.

Las AMU de DIAR y DIFI se aseguran sobre cuatro patas al firme y pueden separarse de los vehículos.

Completan los medios del CEMEDEM otros equipos electrónicos de medida para *rack* o portátiles muy valiosos e importantes, que sería tedioso enumerar.

Y una vez descrito lo que es, ¿qué hace el CEMEDEM?

La responsabilidad genérica de «todo lo concerniente al electromagnetismo en el entorno naval» se traduce técnicamente en todas las comprobaciones o verificaciones necesarias a los buques de la Armada en lo correspondiente a la compatibilidad electromagnética de sistemas radiantes y que se nombra habitual y brevemente por las siglas en inglés EMC.

Este campo es muy amplio y está en continua evolución, por lo que el papel del CEMEDEM incluye asesoramientos en las fases de diseño y construcción, comprobación y verificación completa en las altas de buques y revisiones periódicas durante todo el ciclo de vida.

Así, en la actualidad, el campo de medidas del CEMEDEM conforme a la IPIC citada comprende las siguientes tareas:

- Comprobaciones de los grupos de líneas entre antenas y transmisores o receptores. Medidas que se efectúan a bordo con equipos portátiles. Cálculos de ROE (onda reflejada) y detección de fallos en líneas o acopladores.
- Revisiones RADHAZ-HERP. Consistentes en medir los niveles del campo eléctrico y magnético producidos por radiaciones no ionizantes en todas las áreas afectadas del buque y transitadas por el personal. Igual que las anteriores, se efectúan a bordo.

- Caracterización espectral de emisiones, captándolas con equipos propios a bordo o desde fuera del barco.

- Levantamiento de diagramas de cobertura/radiación en 2D de todas las antenas. Se efectúan desde el laboratorio móvil con el buque evolucionando en la mar.

- Informes de firma radar: en ellos se incluyen diagramas polares en 2D de la superficie equivalente radar en frecuencias entre 6 y 18 GHz, imágenes ISAR (radar de apertura sintética inversa) y perfiles de alta resolución longitudinal. Igualmente, se efectúa con el buque evolucionando en la mar a una distancia de entre dos y seis millas (según la eslora del buque).

- Informes de firma IR: análisis en las subbandas MWIR (infrarrojo de onda media) y LWIR (infrarrojo de onda larga) de imágenes y diagramas polares en 2D de la respuesta global IR. Para ello, además de tener al buque evolucionando en la mar, se debe hacer a una distancia muy cercana a la costa, entre 1 y 1,5 millas, y la parte principal de las medidas debe efectuarse de noche.

- Estudios de interferencias (EMI): diseñados específicamente en base a EMI observadas por los operadores en los barcos.

- Además, se efectúan toda clase de informes EMC y recomendaciones sobre las situaciones elegidas o posibles para la instalación de antenas para cualquier jefe de programa, Inspección de Construcciones y Obras (ICO) o jefatura de mantenimiento, a través del Ramo Técnico de Sistemas de la SUBDING.

Todas estas tareas en cada buque de la Armada suponen un volumen muy grande de trabajo, aunque necesario para que en sus fases de alistamiento final éstos conozcan fielmente el estado de sus sensores para obtener su máximo rendimiento en los períodos operativos.

Después de ver lo que es en material y en tareas, vamos a hablar de puntos de mejora y fortalezas.

El primer punto de mejora está en el factor fundamental de toda organización, que es el humano. La base humana del CEMEDEM siguen siendo, como en su origen, los ingenieros de Telecomunicaciones de la rama de Comunicaciones, que efectúan tareas de análisis, planificación, desarrollo y supervisión. La mayoría de los trabajos para obtener los datos y exponerlos depurada y ordenadamente para la elaboración de los informes lo hacen técnicos, que en la Armada son los suboficiales y, en este caso, electrónicos o de comunicaciones con mucha experiencia. Éstas son las dos columnas humanas que sostienen al CEMEDEM.

Pero, además, por el volumen de material e infraestructura que se maneja, se necesita personal auxiliar, marinería, y de otras categorías para tareas generales, ya que si éstas no se reparten sobrecargan a los primeros, que no podrán dedicarse a las labores fundamentales. Esto se considera un factor mejorable porque la plantilla del CEMEDEM es pequeña y haría falta aumentarla.

El otro punto sensible del Centro es la renovación del equipamiento de medida que, por tratarse de material electrónico sofisticado en que el estado del arte avanza rápido, hace falta actualizar de una forma cíclica y ágil, aunque es muy costoso.

Además, la necesidad de mantener las capacidades de levantar firmas radar e IR, obtenidas a través de programas de I + D, debería sostenerse con otros sucesivos en los que se mejoren estos sistemas con la experiencia obtenida entre el CEMEDEM y la Universidad.

A pesar de estos puntos susceptibles de mejora, las fortalezas son:

La producción del CEMEDEM: entre 2021 y 2025 se ha conseguido mantener al menos una campaña anual en los arsenales de Cartagena y Cádiz. Se logró ir por primera vez a Canarias en 2023 con equipos portátiles, y en 2025 con los tres vehículos de medidas. Se atiende a los barcos apoyados en Ferrol todo el año, con campañas breves por la cercanía entre Ferrol y Marín. También durante todo el año se hacen medidas con todos los medios del CEMEDEM a los barcos que arriban a Marín. Para mantener estas posibilidades en el campo de la experimentación, se participa en maniobras tipo EW-Trials, como son ALBORÁN a nivel nacional y NEMO de la OTAN.

El CEMEDEM mantiene una vocalía por razón de cargo en el Grupo de Doctrina de la Guerra de Superficie (GRUTSU) para atender los problemas técnicos o la necesidad de datos sobre sensores o factores de detección y guerra electrónica.

Y por último, el CEMEDEM ha sido ofrecido por España a la OTAN dentro del Programa de Inversiones en Seguridad de la OTAN (NSIP), con la finalidad principal de obtener mejoras en los muelles y equipamiento de la ENM para facilitar el ataque para medidas CEMEDEM a un mayor número de buques en Marín, lo que implicará más actividad para el Centro.

La relación del CEMEDEM con el Grupo de Antenas, Radar y Comunicaciones Ópticas (COMO SC7) de la Universidad de Vigo y la spin-off EM3WORKS

La relación formal con el Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones (TSC)



Aspecto de la ETEA durante uno de sus actos militares. (Fuente: www.farodevigo.es)

de la Universidad de Vigo arrancaba a finales de los años 90, cuando el CEMEDEM todavía estaba en la ETEA, con la elaboración de un *software* para la medida de diagramas de radiación/cobertura de antenas en buques, realizado por el profesor Fernando Isasi de Vicente, recientemente fallecido. Paralelamente a dicha colaboración, en 1998, fruto de la iniciativa de su jefe —el hoy vicealmirante del Cuerpo de Ingenieros de la Armada (R) José Francisco Pérez-Ojeda y Pérez— para su tesis doctoral, con financiación del Centro de Investigación y Desarrollo de la Armada, surgió una fructífera línea de investigación con el grupo COM (SC7), del departamento TSC de la Universidad de Vigo (UV), concretamente con el equipo de Electromagnetismo y Radar (SC7-B), dirigido por los profesores Fernando Obelleiro Basteiro y José Luis Rodríguez Rodríguez, actualmente catedráticos, para el diseño de un sistema de medida de la firma radar de buques en su entorno real. Al amparo de esta línea de investigación nació el sistema LIBRA, diseñado

por ellos y construido por Indra, que supuso un salto para la Armada en las capacidades de evaluación operativa de sus unidades en el campo de la sección equivalente radar, y le permitió participar activamente en maniobras OTAN tipo EW-Trials en Italia (2005), España (2006) y Noruega (2007). Con LIBRA, nuestro país comenzó a tener voz en los grupos de expertos de la STO (Science and Technology Organization) de la OTAN, en el ámbito de la firma radar de buques, donde desde entonces está como vocal el catedrático José Luis Rodríguez.

LIBRA estuvo operativo entre los años 2000 y 2012. A partir de entonces cayó en la obsolescencia y se puso en marcha un nuevo proyecto para diseñar su sustituto, el sistema DIAR. Éste se desarrolló entre 2014 y 2019 en varias fases, mediante un programa de I + D de PLATINDGAM. Actualmente operativo y ya descrito brevemente, supuso un salto significativo respecto a LIBRA, proporcionando la capacidad de generar imagen radar en tiempo real, siendo el

único sistema de medida de firma radar en el mundo con esta capacidad.

Ante el éxito del DIAR, y repitiendo el mismo esquema de contratación, PLATIN-DGAM encargó al COM-Universidad de Vigo el sistema DIFI, que se desarrolló entre 2016 y 2019.

En los últimos años, el DIAR ha despertado mucho interés en otras marinas, siendo varios los países —Gran Bretaña, Estados Unidos, Turquía, Italia y Arabia Saudí— que han manifestado su interés por adquirir unidades, aunque todavía no se ha materializado ningún encargo.

Dentro de esta línea de sistemas instrumentales ajeno al CEMEDEM, se encuentra el DIGE (Demostrador Instrumental de Guerra Electrónica), diseñado y construido por el COM-UV, con financiación de PLATIN-DGAM, entre 2021 y 2022. El DIGE está asignado al Centro de Instrucción y Adiestramiento de la Flota (CIA) del Centro de Evaluación y Certificación para el Combate (CEVACO), siendo una herramienta que permite a los buques entrenar a sus operadores y calibrar y conocer el estado de sus sistemas de guerra electrónica.

La colaboración del CEMEDEM con el grupo COM-UV del catedrático Fernando Obelleiro no se limita a la línea de medida de firmas radar e infrarroja. En este sentido, cabe mencionar la estrecha colaboración mantenida entre el CEMEDEM y el COM-UV en el ámbito de la simulación electromagnética.

El grupo de Obelleiro es un equipo de referencia a nivel mundial en el ámbito de la simulación electromagnética. A lo largo de los últimos 30 años, conjuntamente con investigadores de la Universidad de Extremadura (UEX), que también se formaron en dicho grupo, se ha consolidado

un equipo interuniversitario UV-UEX (en adelante EM3W), que ha sido el responsable de la creación del código de simulación electromagnética M3 (inicialmente denominado HEMCUVE), reconocido como uno de los más prestigiosos y contrastados del mundo en el ámbito del electromagnetismo computacional.

Desde finales de los años 90, y bajo diferentes contratos de la UV con Navantia, el equipo EM3W ha sido responsable del diseño electromagnético de la superestructura de prácticamente todos los buques construidos por Navantia, tanto para España como para otros países, y del diseño, fabricación y suministro de antenas en unidades como LHD, BAC, BAM, BAM-IS, *F-105*, *F-110* y la modernización de FFG (España); *F-310* (Noruega); POLA (México); LPD y AWD (Australia); AVT (Arabia Saudí); PHM (Marruecos) y FSS (Gran Bretaña).

En cooperación con EM3W, Navantia es hoy en día líder mundial en simulación EM de buques, lo que le proporciona una ventaja al competir, exportando tanto los diseños como la metodología implantada en el exitoso círculo Armada/Navantia/UV/Armada. La Armada específica, Navantia propone, EM3W simula y, finalmente, el CEMEDEM-Armada cierra el círculo verificando los diseños con medidas a bordo. Esta colaboración ha sido simbiótica para las tres partes, proporcionando al CEMEDEM medios para poder realizar mejor sus tareas de especificar y verificar el correcto funcionamiento de los sistemas embarcados en sus buques en términos de E3 de forma más eficaz; a Navantia una mejora muy significativa de sus diseños virtuales (consolidados con la simulación) y, por tanto, ahorro y simplificación de los procesos constructivos, evitando costosas modificaciones a los diseños por problemas de E3 que se detectan *a posteriori* en la cons-

trucción de los buques. Al equipo EM3W, su cooperación con el CEMEDEM, tanto en términos de problemas de E3 como en el ámbito de las firmas electromagnéticas (radar e IR), le ha supuesto la oportunidad de enfrentarse a dificultades reales a bordo de buques con sistemas en el límite de la tecnología, problemas altamente demandantes que obligaron a evolucionar/perfeccionar el código de simulación M3 o los diseños de DIAR y DIFI, llevándolos más allá hasta llegar a su estado actual, lo que los sitúa en una posición de liderazgo a nivel mundial en capacidad de análisis y exactitud de los resultados proporcionados.

La intensa colaboración CEMEDEM-UV no ha dado únicamente frutos en transferencia tecnológica, sino que también ha sido beneficiosa en el ámbito científico y de formación, sirviendo para realizar algunas publicaciones (a pesar de la dificultad asociada a la naturaleza confidencial de los problemas abordados) y para la

formación investigadora de oficiales de la Armada. Al amparo de esta línea y bajo la dirección de los profesores del equipo SC7-B, se han desarrollado tres tesis doctorales por parte de oficiales de la Armada, y se está trabajando en la siguiente.

El futuro del CEMEDEM

El CEMEDEM es un referente en España en el campo de la comprobación EMC o E3 de los buques de la Armada. Pero no dispone de medios para abarcar todo.

Cada vez se demanda a sus ingenieros un mayor número de informes EMC para nuevas construcciones o equipos radiantes a instalar en los buques.

Con el horizonte de construcción de buques de la Armada 2050, el trabajo más prioritario

Fragata de la clase F-100 *Almirante Juan de Borbón* (F-102). (Fuente: Armada)



del CEMEDEM, que son las medidas de entrada en servicio en cumplimiento de las directivas del AJEMA, se incrementará en los próximos años. Ya están aquí el BAM-IS, los submarinos S-82 y S-83 y las fragatas F-110. Y próximamente vendrán más.

Para que el CEMEDEM mantenga las capacidades actuales en esa futura Armada es necesario que crezca en recursos humanos y materiales; pero, además, si así fuera se podrían asumir nuevas capacidades que son necesarias para las comprobaciones a los buques de la Armada, como por ejemplo las medidas TEMPEST, bajo la dirección del Centro Criptológico Nacional. Concentrar capacidades en un organismo es un axioma de organización eficaz, y el CEMEDEM es el que debería tener los mejores especialistas de telecomunicaciones de la Armada en el ámbito EMC.

La necesidad de aumentar la plantilla y actualizar el equipamiento ya está propuesta por el cauce reglamentario, y la colaboración con la Universidad está asegurada hasta 2029 mediante un acuerdo marco con la *spin-off* EM3W, que se desarrolla anualmente mediante contratos basados.

En cuanto al apoyo a programas de I+D de la DGAM-PLATIN, está propuesta desde 2023 una fase II del programa DIFI y está previsto el desarrollo de un nuevo demostrador para firma radar que supere las capacidades del actual DIAR. Mientras tanto, hay que mantener de manera eficiente el DIAR y realizar alguna mejora necesaria hasta que pueda entrar en servicio su relevo.

En cualquier caso, una Armada que crecerá en número de barcos debería, en mi opinión, potenciar a los organismos que verifican sus capacidades.

En cuestión de comprobación de sensores, éstos son el CEMEDEM por encima de la superficie y el CEMCAM bajo el agua, ambos coordinados desde la DIC a través del Ramo Técnico de Sistemas de la SUBDING.

Agradecimientos: al catedrático Fernando Obelleiro Besteiro por su aportación en el apartado sobre la Universidad y a todos los oficiales del CEMEDEM por su ayuda en la revisión y corrección final de este artículo.