

CINCUENTA AÑOS DE RADAR

...y vio el hombre que podía prolongar sus sentidos y extender su voz, su oído y su mirada hasta el lugar más remoto de la Tierra.

(Génesis).

José G. MARTÍNEZ RATERO



Prólogo

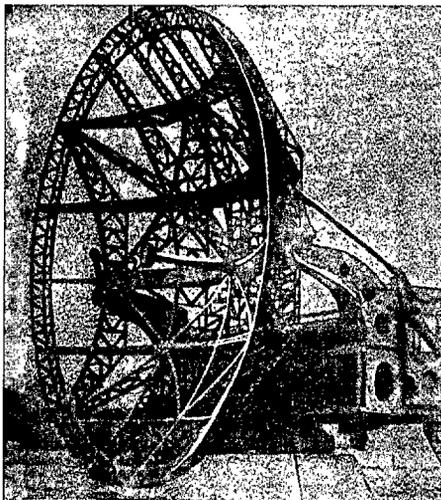


UENO..., realmente son algo más de cincuenta años de radar, pero enlaza bien con mi anterior artículo de *Cien años de radio* (julio 98), que sí era más exacto.

Año 1912, 14 de abril, medianoche en el Atlántico Norte; nada parece indicar la tragedia que se avecina cuando el *serviola* avisa del peligro; ya poco se puede hacer y una enorme grieta en la amura de estribor, producida por un gigantesco *iceberg*, va a hundir al barco más grande construido hasta entonces. Más de mil personas murieron en el *Titanic* y los supervivientes fueron recogidos gracias al SOS enviado por la incipiente radio de a bordo. Que, por cierto, ningún barco emitirá nunca más, al haber sido sustituido recientemente por el Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítima (GMDSS).

Pero esa tragedia se habría evitado si los *icebergs* a la deriva se hubiesen detectado sobre una pantalla radar de hoy día. Como sabemos, el radar, basado en la radio, tardaría decenas de años en aparecer. Este sistema electromagnético para detección y localización de objetos, similar al de ultrasonidos que emite el murciélago, se usa para aumentar la capacidad de la visión humana, aunque su valor no reside en ser un sustituto del ojo sino en hacer lo que no puede éste. No es capaz de conocer los detalles tan bien ni de reconocer el color de los objetos, pero puede ver donde no puede el ojo, en la oscuridad, y tiene la ventaja de medir la distancia a los objetos, siendo ésta su característica más importante.

Hoy día, gracias a radares en satélites, descubrimos los ecos de la gran explosión que originó el Universo y vehículos espaciales viajan a lejanos confines interplanetarios detectando por radar y explorando nuevos mundos para perderse luego agotados en las inmensas soledades, frías, oscuras y silenciosas, como heraldos de nuestra civilización ante el infinito. Rindamos tributo y reconocimiento a aquellas lejanas épocas de navegantes de hierro en barcos de madera, cuando todavía no conocían la mayor ayuda a la navegación que ha sido y es el radar naval de hoy.



Radar antiaéreo alemán Würzburg de 6 Mh (1940).

Un poco de historia

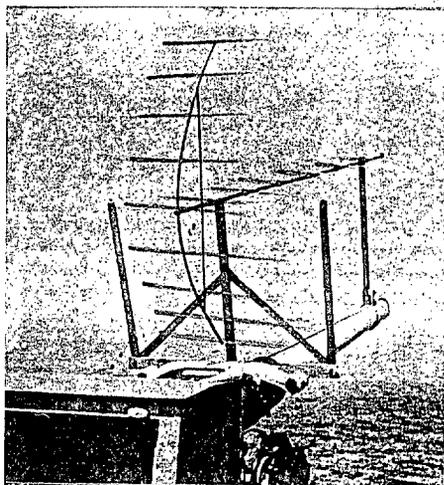
Como tantos otros avances en tecnología, fue la guerra, desgraciadamente, la que influyó en el rápido desarrollo y aplicaciones del radar. El radar se concibió inicialmente para uso militar. Fue desarrollado como una aplicación de la radio, para detectar y determinar la posición de los barcos y aviones enemigos. La palabra radar fue acuñada como acrónimo de Radio Detection and Ranging.

Heinritz Hertz, a finales del siglo XIX, demostró que tanto los objetos metálicos como los dieléctricos podían reflejar las ondas de radio. En 1903 el alemán Hulsmeyer observó experimentalmente la detección de ondas radio reflejadas por los barcos. Patentó su método como una ayuda para la navegación y para evitar colisiones en la mar. La demostración ante la Marina alemana resultó un fracaso porque los alcances fueron de una milla escasa y no aventajaban en mucho a los serviolas.

Casi veinte años pasaron hasta que el asunto fue propuesto en público, cuando en 1922 Marconi sugirió en una conferencia que radiando un haz de ondas electromagnéticas sobre un objeto como un barco éste debería reflejar al emisor información sobre su presencia, localización y velocidad relativa, incluso con niebla o mal tiempo.

Este mismo año, dos científicos del Laboratorio de Investigación Naval Americano (NRL), Taylor y Young, demostraron las especulaciones de Marconi.

Realizando experimentos con transmisiones radio de onda continua y alta frecuencia a través del río Potomac en Washington, se dieron cuenta que cuando pasaba un barco interfería sus operaciones. El barco podía ser



Antena radar de 20 Mh sobre un cañón del destructor *USS Leary* en 1937.

detectado a distancias superiores a tres millas y pronto se dieron cuenta de que habían descubierto un método que permitiría la detección de los barcos en la mar, tanto con niebla como en la oscuridad o tras cortinas de humo.

Por aquellas fechas se usaban pulsos de radiofrecuencia para investigar las propiedades de la ionosfera, deduciendo su altura calculando el tiempo entre la transmisión inicial y el retorno de la energía reflejada. También entonces se lograron avances tales como el tubo de rayos catódicos para presentación de información, válvulas transmisoras de alta potencia para frecuencias altas y válvulas receptoras muy mejoradas. Con estos componentes y las incipientes amenazas de guerra mundial, el desarrollo del radar empezó a acelerarse hasta su punto culminante, a finales de los años 30 y comienzos de los 40.

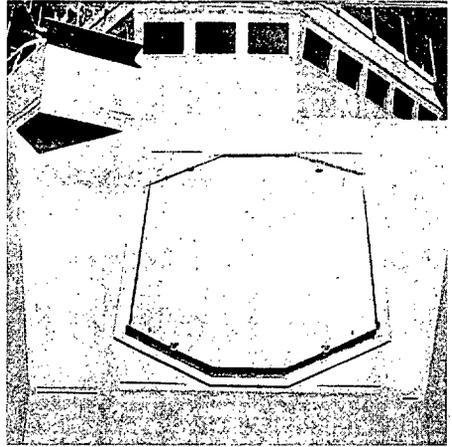
En junio de 1935 Sir Watson-Watt, de Inglaterra, consiguió recibir ecos de pulsos radiados sobre una embarcación a 15 millas. En septiembre, con una frecuencia de 12 Mh, se obtuvieron alcances de 40 millas sobre un bombardero.

En América, abril de 1936, Page y Young, del NRL, construyeron el primer radar de pulsos, detectando aviones hasta unas diez millas. Este equipo, que trabajaba en una frecuencia de 28,6 Mh y cinco microsegundos de ancho de pulso, detectó aviones a 25 millas en junio de 1936.

Uno de los mayores problemas de esa época era que las antenas radar eran demasiado grandes para ser instaladas a bordo. El NRL superó este gran obstáculo inventando el Duplexer, un dispositivo interruptor que permitía tanto la transmisión como la recepción con una misma antena. Debido a las bajas frecuencias utilizadas, incluso una sola antena era demasiado grande para instalar en el tope del palo. Para lograr antenas más pequeñas era necesario usar equipos de frecuencia más alta; sin embargo, no existían entonces elementos de alta potencia en frecuencias de microondas.

En un esfuerzo para reducir la antena a un tamaño razonable para uso a bordo, la Marina norteamericana decidió en mayo de 1936 aumentar la frecuencia de trabajo y desarrollar un radar en el margen de VHF a 200 Mh.

Este equipo experimental fue el primer radar que se instaló, en 1937, en un barco de esa Marina, el destructor USS *Leary*, usando una antena del tipo YAGI montada en un cañón de cinco pulgadas que al girarlo indicaba también la demora del blanco.



Una de las cuatro antenas planas del radar AN/SPY-1A.

La RCA produjo 20 modelos, que fueron instalados en grandes acorazados justo antes de la segunda guerra mundial, usando la frecuencia de 200 Mh durante muchos años para detección aérea a gran distancia con antenas de formación de dipolos.

El sistema radar terrestre biestático de la Chain Home, realmente una cadena costera de radares con cinco estaciones separadas 25 millas que protegían el estuario del Támesis, que funcionó en Inglaterra 24 horas diarias desde septiembre de 1938, durante la batalla de Inglaterra y hasta el final de la segunda guerra mundial, estaba diseñado para trabajar en la banda de HF entre 22 y 28 Mh. Este mismo radar siguió el vuelo del avión que llevó a Chamberlain a Munich para reunirse con Hitler y Mussolini antes de la guerra.

En 1937 el dirigible alemán *Graff Zeppelin*, en viaje de propaganda por el mar del Norte, intentó observar y estudiar este radar, aunque inútilmente, pues en aquellos días la Chain Home guardó silencio absoluto. Durante la batalla de Inglaterra, los aviones de caza ingleses dotados de equipos radar de interceptación lograron detectar y atacar con bastante antelación a los bombarderos alemanes hasta hacer que Alemania renunciase a invadir Inglaterra.

A principios de los 40, con la guerra devastando Europa, se produjo uno de los más importantes avances en el desarrollo del radar, en la búsqueda de frecuencias de trabajo más altas. Durante los años anteriores, EE. UU. e Inglaterra habían trabajado independientemente en la investigación radar. Entonces, durante una misión conjunta para intercambiar tecnología, la información recibida de Inglaterra sobre el magnetrón de cavidades resonantes capaz de producir un kilovatio de potencia a 300 Mh dio un gran impulso a la investigación y desarrollo del radar en EE. UU.

En Pearl Harbour, el 7 de diciembre de 1941, fue un radar del ejército americano el que indicaba en su pantalla de presentación un increíble número de posibles contactos aéreos aproximándose, siendo desechada inexplicablemente esta información, con los trágicos resultados ya conocidos.

Los alemanes desarrollaron diferentes tipos de radar durante la segunda guerra mundial, tanto terrestres como embarcados. En 1938 el radar naval de pulsos Freya, de Telefunken, detectaba barcos hasta 60 km trabajando en 125 Mh y a 20 kW de pico. En 1940 disponían del radar antiaéreo Würzburg de pulsos y a 600 Mh gracias a un triodos de potencia de 10 kW. En 1943 un comando inglés en la costa francesa capturó un radar de este modelo para interferirlo mediante lanzamientos de nubes *chaff* durante los bombardeos de Hamburgo. Después desarrollaron el radar Lichtenstein de 130 Mh para los aviones de caza nocturnos, que fue un gran éxito hasta ser también interferido. A finales de 1943 y a costa de los restos del radar de un avión aliado derribado en Holanda, obtuvieron información del Magnetrón, pero la situación bélica de Alemania por esas fechas impidió un mayor desarrollo del radar de microondas en ese país.

En Japón los experimentos sobre el radar recibieron ayuda alemana

en 1940, y avanzaron tras la captura en 1942 de un radar de pulsos americano en las Filipinas de 200 Mh.

En el verano de 1941, la Unión Soviética había desplegado radares de alerta aérea de 80 Mh para la defensa de Moscú contra la invasión alemana, pero el desarrollo se interrumpió con el transcurso de la guerra.

El radar, desarrollado en muchos países, antes y durante la segunda guerra mundial, no tuvo un único inventor, sino muchos padres, y fue consecuencia de la necesidad de protegerse contra la amenaza militar de una aviación ya muy desarrollada.

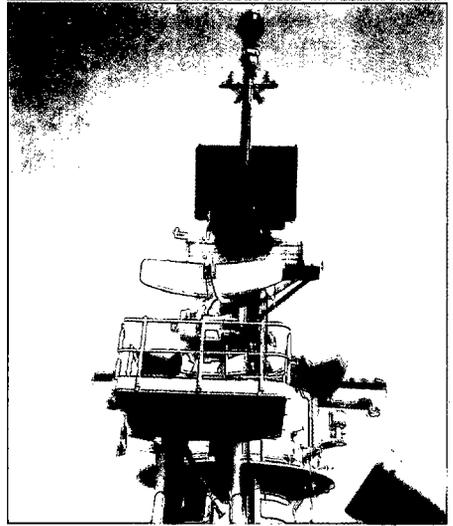
Desde esos comienzos, el radar ha evolucionado tanto que hoy es el principal sensor a bordo de barcos y aviones, el corazón de muchos sistemas de navegación, vigilancia y control de armas. El hombre de mar confía hoy en el radar como una ayuda indispensable para extender su sentido de la vista más allá de los límites humanos, viendo a través de la oscuridad, niebla, lluvia o nieve más lejos que el ojo humano, aunque sin la perfección de éste pero sobre todo midiendo distancias.

Hoy día, las elevadas potencias de transmisión, junto con unas características de antena muy mejoradas, grandes ganancias de hasta 40 decibelios, anchos de haz muy estrechos, de décimas de grado, y lóbulos laterales muy bajos permiten una resolución y exactitud mucho mayores que los antiguos equipos de la segunda guerra mundial.

Radares terrestres usados para control de aviones y vehículos espaciales; navales, para ayuda a la navegación y detección de barcos aerotransportados para detectar aviones, barcos y levantamiento de mapas terrestres; en satélites, como sensores remotos para detectar el tiempo atmosférico, recursos hidrológicos, estados de la mar, agricultura, formaciones geológicas y polución medioambiental terrestre, y en vehículos espaciales para encuentros en el espacio, así como para sondas y aterrizajes en planetas.

Los principales usuarios del radar y máximos responsables de su desarrollo han sido las Fuerzas Armadas. Las aplicaciones militares del radar han sido para vigilancia, navegación y control y guiado de armas, representando el mayor uso del radar hasta la fecha.

Radares con alcances de hasta varios miles de millas náuticas más allá del horizonte (OTH) usando alta frecuencia (HF) y propagación de onda celeste



Radares de la fragata *Baleares*.
(Foto: A. Pintos Pintos).

por reflexión en la ionosfera, pudiendo dar información además de aviones, barcos y misiles; sobre vientos y corrientes oceánicas con grandes antenas de hasta 40 x 100 metros (transmisora y receptora separadas hasta 100 km) para frecuencias altas del margen HF o frecuencias diurnas.

Radars aerotransportados de apertura sintética (SAR) basados en la generación de una gran antena virtual mediante técnicas de almacenamiento de señal, usando una única y pequeña antena física que va ocupando las sucesivas posiciones de una formación lineal de antenas a medida que avanza el avión que lleva este tipo de radar para levantar mapas del relieve terrestre.

Radars, desde frecuencias de HF, VHF y UHF, pasando por las de microondas y llegando hasta las de ondas milimétricas y láser de regiones infrarroja, luz visible y ultravioleta del espectro, cada uno con sus ventajas y limitaciones, cada uno para una finalidad específica.

Grandes antenas de formación de dipolos para radares de alarma aérea temprana (AEW), de reflector parabólico truncado para radares de exploración aérea y de superficie, de guía de onda ranurada para radar de navegación de precisión, *arrays* planos de ranuras con exploración electrónica para radares tridimensionales, fijas y planas controladas electrónicamente hasta las clásicas de plato de los radares de seguimiento de blancos y guiado de misiles; todas ellas, junto a las de radiocomunicaciones, forman una verdadera jungla a bordo que desafía la curiosidad del profesional especialista en este campo de la electrónica naval y nos aleja cien años de los primeros experimentos de aquel visionario llamado Marconi, cuya intuición todavía nos guía hoy seguros por la mar y en contacto lejano con nuestras bases y centros de mando.

El radar en la Armada

Parece ser que el primer buque de la Armada en el que se instaló un radar de navegación comercial fue el cañonero *Pizarro* en el año 1948. Después, y durante unos diez años, se montaron algunos más en otros barcos, aunque todos de poca fiabilidad. Prácticamente los primeros radares navales en la Armada fueron los de aquellos buques cedidos por los EE. UU. a finales de los años 50, los famosos «latinos» y dragaminas.

Luego, durante la modernización de los 60 se instalaron radares de exploración de superficie, aérea, de identificación IFF y de control de tiro en diversas clases de buques, como los antiguos minadores, fragatas y destructores. Eran equipos americanos, por supuesto, que supusieron un paso muy importante en aquellos años. Entonces, al igual que los americanos, no se instalaban radares de navegación propiamente dichos, pues se utilizaba para ello el de exploración de superficie que, debido a su ancho de pulso relativamente grande, hacía difícil controlar distancias pequeñas en formaciones y si, además no estaba bien ajustado, provocaba públicas llamadas al orden del jefe de escua-

drilla por radioteléfono para mantener exactamente el puesto. Mucho después se instalaron los radares comerciales de navegación de gran discriminación y precisión y hasta con posibilidades de control automático del tráfico alrededor. Y así hasta principios de los 70, con las nuevas fragatas clase *Baleares*, con sus modernos equipos, especialmente el radar tridimensional de exploración aérea, el AN/SPS-52, cuyo complicado y crítico diseño de antena de formación plana de ranuras, con decenas de ranuras en cada una de las 60 guías de onda que la forman, similar a la del avión del sistema AWACS, permitía el movimiento vertical de un haz de radiación muy fino, tipo lápiz, para medir el ángulo de elevación del avión y, en definitiva, su altura por eso del famoso teorema de Pitágoras, pero para ello necesitaba emitir en diversas frecuencias que variaban ese ángulo, y este control de frecuencias lo decidía el ordenador.

También montaban esos barcos un equipo que podía analizar todas las emisiones electromagnéticas y en especial las de radar. Un equipo totalmente pasivo que iniciaba la era de la guerra electrónica en nuestra Armada y que permitía reconocer al enemigo mucho antes que el radar a más del doble de la distancia radar, y sobre todo sin delatarse, discretamente. Desde entonces, los especialistas en radar de la Armada hemos estado involucrados en estos equipos, que ya fueron sustituidos por otros mucho más modernos y que gracias a su reacción automática pueden interferir o engañar activamente a las emisiones radar enemigas, especialmente las que proceden de radares de seguimiento amenaza. Todo ello en un avance espectacular desde aquellos primeros equipos de antenas giratorias de gran velocidad (300 rpm) a las actuales goniométricas fijas, de gran ancho de banda y elevada probabilidad de interceptación, e incluso gran sensibilidad.

Y a primeros de los 80 ya navegan las nuevas corbetas clase *Descubierta*, que montan unos equipos radar holandeses de navegación y exploración aérea, el robusto y fiable DA-05, con posibilidad de transmisión en seis frecuencias diferentes seleccionables y potencia de pico de un megavatio, así como eficaz circuitería antiinterferencias en receptor y antena parabólica, cosecante cuadrado, de más de 30 db de ganancia, con polarización horizontal o circular.

Por otra parte, el nuevo radar de la Dirección de Tiro, el famoso de la



Radares de una corbeta clase *Descubierta*.
(Foto: J. Montoro Fort).

«bola», de frecuencia ágil, y en cuyo interior, dividido en dos hemisferios, giraba en el inferior una antena parabólica de exploración circular y en el superior se movía una antena Cassegrain monopolso para seguimiento automático e iluminación del misil.

Y volviendo al radar de exploración, y a primeros de los 80, la construcción de las fragatas clase *Santa María* traería unos nuevos equipos radar, el nuevo radar de exploración de superficie y navegación AN/SPS-55, que reúne ambas características debido a su potencia, frecuencia y ancho de pulso seleccionables según necesidades operativas, y posibilidad de usar polarización horizontal o circular gracias a su doble antena de guía de ondas ranurada con transmisión por delante o detrás.

Mención especial merece el radar de exploración aérea de estas fragatas, el AN/SPS-49, que, sin ser tridimensional, es de una gran fiabilidad en la detección aérea a muy larga distancia y baja cota, el mayor problema de la detección, logrando esta eficacia debido a mantener siempre el haz del radar barriendo el horizonte gracias al pequeño movimiento de cabeceo de la antena de reflector parabólico durante su giro, para deshacer los balances y cabezadas del barco, mediante un servomecanismo controlado por microprocesador.

A la gran distancia de detección, lograda con un pulso muy largo y baja potencia de pico, une una gran discriminación, debido a la técnica de compresión de pulsos, disponiendo además de frecuencia variable aleatoria de cada pulso transmitido, unos eficaces circuitos de indicación de blancos móviles respecto a los fijos, así como una compleja circuitería antiinterferencias que hace de este radar uno de los más eficaces para la defensa antiaérea de la fuerza.

Y el próximo futuro nos traerá la novedad del radar de exploración aérea y control de tiro AN/SPY-1 de las nuevas fragatas *F-100* actualmente en construcción.

Éste es un radar multifunción de antena fija y haz orientable electrónicamente, permitiendo exploración automática, detección, seguimiento, evaluación de la amenaza y comunicación con el misil. Forma parte del sistema AEGIS diseñado como un virtual escudo impenetrable contra ataques aéreos. Es un sistema integrado a bordo, de detección, control y asignación que, con una reacción instantánea y completamente automática, dirige el armamento antiaéreo contra blancos hostiles. Este radar, utilizando un control por ordenador, tiene capacidad para seguimiento de múltiples blancos. Con desplazamiento automático de frecuencia y MTI, el radar será muy eficaz incluso en ambientes operativos totalmente adversos, tales como intenso *clutter* y ECMs.

Su antena, tipo *array* con control del haz por defasaje electrónico, se compone de cuatro caras octogonales (a proa, popa y a cada banda) para dar una cobertura hemisférica, con más de 4.000 elementos radiantes tipo bocina por cada cara. Hoy en día es el radar naval más avanzado del mundo.

* * *