

## RADARES SMART

Pablo Macchiavello Poblete\*

*Las unidades necesitan sensores que les permitan conocer y compilar los distintos panoramas. Dentro de estos sensores, la familia de radares 3D SMART ha vivido un auge, siendo utilizada en las más modernas plataformas antiaéreas alrededor del mundo.*



La palabra RADAR es un acrónimo del inglés "Radio Detection And Ranging".<sup>1</sup> El radar funciona apoyado en dos principios básicos de la física: la reflexión y la definición de velocidad. Las ondas cambian de dirección al chocar contra un cuerpo al mantenerse el medio de propagación, fenómeno conocido como reflexión. Por otro lado, la definición de velocidad corresponde al cociente entre la distancia recorrida por un cuerpo y el tiempo que le llevó efectuar dicho recorrido. El radar funciona, por tanto, transmitiendo una onda electromagnética y midiendo el tiempo que tarda en ir y regresar del objeto donde rebota. Los radares fueron desarrollados básicamente para satisfacer las necesidades de los servicios militares y siguen teniendo una participación crítica en los ámbitos relacionados con la defensa.

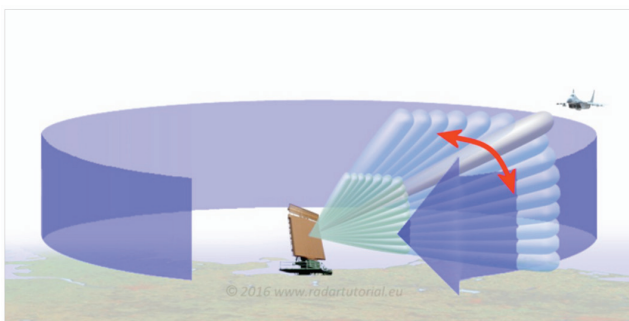
Los radares 3D son dispositivos que se desempeñan determinando demarcación y distancia a un blanco. Además permiten ubicar un contacto en el espacio a través de la determinación de la altura, dando a la posición una dimensión conocida en tres ejes. Este hecho se torna relevante, pues ayuda a efectuar el proceso de investigación y resolver el problema de control de fuego. De igual manera, estos datos pueden ser traspasados a un Radar de Control de Fuego (RCF) para el guiado de los sistemas de

armas del buque. Para poder determinar la altura, los radares cuentan con una antena que tiene la capacidad de rotar en el eje vertical, mecánica o electrónicamente, entregando el ángulo de elevación del contacto.

La empresa holandesa Thales Group es la responsable del desarrollo de los radares 3D SMART (*Signaal Multibeam Acquisition Radar for Targeting*). A los radares SMART se les asignó una dedicación prioritaria dentro de los planes de innovación del Ministerio de Defensa de Holanda. El proyecto fue asignado el año 1981 y comprendía el desarrollo de un radar 3D con la capacidad de detectar y adquirir blancos de baja RCS<sup>2</sup> y de traspasar datos para los sistemas de armas. El radar sufrió diversas modificaciones

\* Teniente 2º. (pablomacch@hotmail.com).

1. Detección y determinación de distancia por medio de ondas de radio.  
2. Sección Transversal de Radar, acrónimo del inglés Radar Cross Section.



■ Funcionamiento de radar 3D.

hasta su comercialización final en el año 1985 con el nombre de *SMART-S*. El éxito del radar aumentó a principios de la década de 1990 cuando la Armada de Holanda decidió instalarlo a bordo de las fragatas clase *Karel Doorman* y considerarlas en el proyecto de modernización de dos fragatas clase *Jacob Van Heemskerck*. El modelo *SMART-S* fue posteriormente elegido como parte del equipamiento de las fragatas alemanas F-123 clase *Brandenburg* y su instalación se expandió hacia una serie de otros buques, lo que condujo a la firma Thales a producir radares para buques más pequeños (versión MW08) y actualizar los modelos para aumentar la rebusca a una mayor distancia (*SMART-L* y *S1850M*) o de las capacidades electrónicas (*SMART-S MK2*), estando presente en buques de más de 20 marinas alrededor del mundo.

### SMART-S MK1

El radar *SMART-S MK1* fue diseñado para proveer al sistema de mando y control con datos sobre misiles anti superficie. Con un costo aproximado de US\$ 6 M, está pensado para ser capaz de detectar misiles de sección transversal de radar de 0,1 m<sup>2</sup>, volando a baja altura o en picada con velocidad de hasta Mach 3. Los blancos pueden tener perfiles de vuelo del tipo roza olas o aproximarse con un ángulo de hasta 70°. La principal característica del *SMART-S* es su capacidad de entregar altura sin límite mecánico desde el horizonte hasta el zenit y detección automática de blancos, seguido de la inicialización y capacidad de traqueo en 3D. Los datos entregados en las tres dimensiones permiten que los trackers

asociados a los RCF puedan seguir los blancos, que se dirijan los montajes del buque en acciones antiaéreas y en modo superficie y que se efectúe el guiado de los misiles semi activos en conjunto con los iluminadores de onda continua. Lo anterior, puede ser llevado a cabo mediante la utilización de métodos avanzados de procesamiento de señales FFT (*Fast Fourier Transform*), procesadores de efecto Doppler, detección automática, iniciación y traqueo de blancos y por contar con equipamiento integrado que permite efectuar pruebas operativas, asegurando la detección y diagnóstico inmediato de fallas (BITE<sup>3</sup>).

El diseño del radar fue realizado de manera de obtener una buena *performance* en cualquier condición de tiempo y para ser instalado en unidades navales. El radar ha demostrado poder desempeñarse en condiciones climáticas adversas, para lo cual transmite en la banda F (antigua banda S, de donde saca su denominación), siendo este el mejor equilibrio entre distancia, discriminación y la dimensión de la antena. Para combatir en la guerra electrónica, el radar fue diseñado con ciertas contramedidas tales como capacidad de recibir múltiples haces, análisis de *clutter*, transmisión en ancho de banda, agilidad de PRF y frecuencia y detección de *jamming*. Con todas estas medidas el fabricante asegura que el radar es capaz de traquear más de 160 contactos aéreos y 40 unidades de superficie en forma simultánea.



■ Radar *SMART-S MK1*.

3. Built In Test Equipment.

El sistema del radar *SMART-S* comprende una antena y tres unidades bajo cubierta. La antena, estabilizada hidráulicamente, está compuesta por un solo elemento transmisor y un receptor lineal múltiple, compuesto por 16 arreglos. Para mantener la sensibilidad, el procesamiento de las señales recibidas se realiza en la misma unidad de antena. La señal entregada por cada uno de los 16 receptores es transformada en una señal digital de red. A través del método FFT se procesan para obtener finalmente traqueo de forma automática. El transmisor está conformado por un TWT (Tubo de Ondas Progresivas) pulsado, de transmisión coherente (lo que permite el análisis del efecto doppler) y de gran potencia (97 kW), pudiendo integrar como equipamiento adicional un módulo de IFF. En resumen, el *SMART-S* puede tener detecciones hasta 65 mn, y obtener su altura entre 3 y 60.000 pies.

## MW08

Este es un radar de corto a mediano alcance, con capacidad 3D, elegido y diseñado para ser instalado en las fragatas Meko y pequeñas fragatas o corbetas. Fundamentalmente el MW08 es una versión en banda G/H (antigua banda C) del *SMART-S*, financiado por recursos corporativos. El radar transmite seis haces de 2° de ancho horizontal y 12° de ancho vertical, logrando discriminaciones desde el horizonte hasta los 70° de altura. Tiene capacidades de detección y traqueo automático (ADT) y puede dirigir sistemas de armas contra blancos de superficie, mediante el uso de tres ventanas de traqueo mientras permanece en rebusca (TWS), utilizando el método de traqueo por plot discreto. De acuerdo a datos informales tendría un costo entre US\$ 6M y 8M. En 1996 fue informado por la publicación *Jane's International Defence Review* que el radar no sería ofrecido a nuevos clientes debido a que Thales intentaba privilegiar el radar de desarrollo francés MRR 3D, sin embargo, esta

información fue desmentida al comercializarse hasta el año 2010.



■ Radar MW08 a bordo de Meko 200.

## SMART-S MK2

Corresponde al más reciente diseño de la familia de radares *SMART*. Opera en la banda F y está optimizado para convertirse en un radar de vigilancia, detección y designación en ambientes saturados de mediano a largo alcance. Dentro de la concepción de diseño se consideró para ser compatible con la más amplia gama de misiles SAM tales como el ESSM,<sup>4</sup> perfeccionado para detectar múltiples blancos, incluyendo pequeñas embarcaciones, helicópteros y misiles antibuque incluso en ambientes complejos cercanos al litoral. Fue presentado al mercado en septiembre del año 2003 reutilizando tecnología incorporada en el desarrollo del radar *SMART-L* y *Flycatcher* MK2.<sup>5</sup> Se conoció el primer contrato que la marina de guerra de Dinamarca había contraído para equipar a su reciente programa de Buque de Apoyo Flexible junto con el anuncio de su desarrollo. Sólo seis años después de su primera comercialización, más de 40 sistemas habían sido vendidos, para ser implementados en distintas unidades.

Las características de diseño propuestas fueron: confiabilidad para enfrentar periodos de despliegue y facilidades de mantención y operación. Thales decidió adquirir el módulo T/R de la empresa de defensa de Turquía Aselsan, demostrando ser capaz

4. Evolved Sea Sparrow Missile.

5. Radar terrestre de vigilancia aérea, que fue incorporado como parte del sistema móvil del ejército de Alemania y de Venezuela, pudiendo cumplir también la acción de director de armas tales como montajes de 35, 40 mm y misiles.

de detecciones de blancos de 0,01 m<sup>2</sup> de RCS. Cuenta con dos modos de operación principales: alcance medio de hasta 150 km, con velocidad de rotación de la antena de 27 RPM y largo alcance de hasta 250 km con velocidad de rotación de 13,5 RPM. Cuenta además con un modo especial para detección de helicópteros y canales para dirigir sistemas de armas en modo superficie. El sistema fue optimizado en relación al MK1, al reducir a sólo dos los módulos instalados bajo cubierta integrando el transmisor de estado sólido a la antena, lo que significó en la práctica que no se contemplara bajo cubierta la instalación de un módulo de transmisión ni la necesidad de contar con guías de onda. Para determinación de altura, el radar cuenta 12 haces divididos digitalmente del pulso emitido por el transmisor. Puede ser configurado para transmitir en pulsos muy cortos, permitiéndole guiar helicópteros y UAV en fases finales de aproximación. La antena está estabilizada electrónicamente y se le incorporaron mejoras en el procesamiento tales como:

supresores del efecto multipath, compresión de pulso digital, procesador de doppler con filtros FIR,<sup>6</sup> determinación de velocidad radial, detección automática de *clutter* y *jamming*, apoyo en la clasificación de contactos, técnicas avanzadas de CFAR<sup>7</sup> y múltiples hipótesis de traqueo basadas en el tipo de blanco. A través del procesamiento doppler, el SMART-S MK2 puede intuir la diferencia entre blancos y clutter, pudiendo efectuar mediciones certeras mediante el procesamiento doppler de cada haz. El diseño modular y la calidad de los componentes utilizados aseguran una alta MTBF<sup>8</sup> y en casos de falla una baja MTTR,<sup>9</sup> siendo posible efectuar despliegues sin necesidad de efectuar reparaciones ni mantenimiento.

En resumen, el SMART-S cuenta con degradación secuencial y con múltiples elementos redundantes permitiendo una disponibilidad del equipo

cercana al 100%. El diseño simple permite una fácil instalación con mínimo impacto bajo cubierta y la integración tanto para sistemas afines al grupo Thales como sistemas de otras procedencias. El radar ha demostrado en sus recientes años de operación en distintas plataformas detecciones de misiles antibuque a 50 km, aeronaves de exploración aeromarítima a 200 km y traqueo de 500 blancos simultáneos con un error de 20 m. Se comercializa en valores cercanos a los US\$ 12M.



■ Módulo del radar SMART-S MK2.

### SMART-L

En 1991, Thales anunció el desarrollo de una versión del radar SMART de larga distancia y en banda D (antigua banda L) denominado SMART-L. El proyecto estaba pensado para ser parte del sistema de guerra antiaérea de la OTAN (NAAWS). Es actualmente el principal sensor de la nueva generación holandesa de sistemas de guerra AAW y opera en conjunto con los misiles ESSM y el radar de control de fuego APAR. El SMART-L está instalado en las fragatas antiaéreas clase *De Zeven Provinciën* (Holanda) y en la clase *Sachsen* (Alemania), entre otros. Entre 1997 y 1998 el radar SMART-L pasó las pruebas de aprobación del fabricante. Los test incluyeron pruebas desde MIG29 volando a velocidades superiores a Mach 2 hasta blancos simulando aeronaves con tecnología *stealth*. En 2003 y posteriormente en 2004 el

6. Finite Impulse Response, tipo de filtro digital cuya respuesta a una señal de entrada tendrá un número finito de términos no nulos.

7. Constant False Alarm Rate, uso de algoritmo para detectar blancos ante la presencia de ruido, clutter o interferencias.

8. Mean Time Between Failure (tiempo entre fallas).

9. Mean Time To Repair (tiempo para efectuar reparaciones).

radar *SMART-L* fue probado en conjunto con el radar *APAR* en una serie de pruebas de defensa real contra misiles *ASM* y *SSM*. El radar cumplió con las funciones de detección a larga distancia y traspaso de datos para los sistemas de armas.



■ Radar *SMART-L*.

El radar *SMART-L* fue desarrollado considerando capacidades de detectar a mediano alcance amenazas con capacidad *stealth* y detección a larga distancia de aeronaves convencionales, buen desempeño ECCM, capacidad de brindar apoyo a aeronaves de exploración amigas y vigilancia de superficie. Además de las unidades mencionadas anteriormente, está instalado actualmente en unidades tipo *Iver Huitfeldt* (Dinamarca), *Dokdo LPH* (Corea del Sur) y sistemas terrestres de defensa aérea de Holanda.

Es un radar 3D que cuenta con recepción simultánea de 16 haces para determinar la altura de los contactos. La antena es de 8,2 m de largo y estabilizada electrónicamente, rota a 12 RPM, pesa 6,2 toneladas, es polarizada de forma vertical y cuenta con 24 arreglos de antena lineales, todos estos se utilizan para transmisión y sólo 16 para recepción. Además, el radar viene equipado con un módulo integral banda I de onda continua y modulada en frecuencia (FMCW) que usa la misma tecnología de baja probabilidad de interceptación del radar *SCOUT* y funciona como apoyo en el modo de superficie. En el arreglo principal se encuentra montado el sistema IFF. La señal de salida es transmitida mediante la unidad transmisora D-SSTX, compuesta por siete amplificadores de estado sólido, con la capacidad de generar hasta

100 kW. Debido a la configuración SSA, la falla de uno de estos elementos es prácticamente imperceptible, mientras que la falla de 10 de las 32 unidades PA reduce sólo el 10%. El eco del blanco es recibido por 16 arreglos lineales, cada uno de los cuales recibe señales de la totalidad de cobertura vertical. Esta combinación resulta en la producción de 12 haces virtuales, los cuales logran una cobertura de 90° de elevación. La medición de la altura se logra de forma precisa mediante la formación de un haz digital, que combina todas las señales de salida de las antenas receptoras en base a procesamiento FFT, además se evalúan datos de velocidad y se suprimen los efectos de *jamming* y de *clutter*. Finalmente se logra la inicialización y posterior traqueo de los contactos de forma automática dentro del *envelope* del radar mediante la integración de dos computadores de propósito general, entregando los datos a los sistemas de mando y control a través de interfaces digitales.

Su configuración utiliza un amplio espectro de técnicas para desempeñarse en el ámbito de la guerra electrónica. Cuenta con capacidad de traqueo de aeronaves comerciales a 220 mn y de 35 mn de distancia contra misiles de baja RCS, han sido probadas experimentalmente capacidades para detectar un blanco del tipo F-117 con tecnología *stealth* a 55 km. Incluye la capacidad de plotear 1.000 contactos aéreos y 100 unidades de superficie. El radar asegura un compromiso favorable entre detecciones a largas distancias y la capacidad de vigilancia a bajo nivel, discriminación de *clutter* y el tamaño de la antena, gracias a múltiples canales receptores de bajo ruido. Además, la cadena de transmisión coherente permite análisis doppler, operación en ancho de banda con posibilidad de agilidad en frecuencia, alta potencia de RF, selección automática de PRF y RF, capacidad de procesar lóbulos laterales muy bajos, detección automática de *jamming*, compresión de pulso, control de sensibilidad de tiempo automática, entre otros.

## S1850M

El radar *SMARTELLO* fue el radar desarrollado por parte de la oficina técnica conjunta para

el desarrollo del proyecto Horizon, el cual contemplaba la construcción de una fragata anglo-italo-francesa común (CNGF<sup>10</sup>). Finalmente llamado S1850M es esencialmente un radar de vigilancia aérea de muy larga distancia que combina la tecnología del *SMART-L* con la ofrecida por BAE System en su radar *MARTELLO*. Usando el arreglo de antena del *SMART* y el transmisor de estado sólido del radar italiano, obtiene como resultado una mínima penetración de equipos bajo cubierta y simplificación del sistema de rotación de la antena a través de un rotador de fase. Actualmente es el radar instalado a bordo de los destructores ingleses tipo 45, del portaviones tipo Queen Elizabeth y de las fragatas italianas y francesas FREMM.

En Octubre de 1999 los ingleses terminaron su participación en el proyecto Horizon para enfocarse en la construcción de los nuevos destructores tipo 45, lo que no impidió que Italia, Francia e Inglaterra siguieran trabajando juntos para obtener las nuevas tecnologías del tipo S1850M. Durante el año 2004 el S1850M demostró su efectividad al ser capaz de traquear la totalidad de aeronaves que transitaban en las cercanías del aeropuerto de *Heathrow*, *Charles de Gaulle*, *Schiphol* y *Frankfurt* y mantener capacidades remanentes de traqueo.

El radar mantiene gran parte de las características probadas por el *SMART-L*, incorporando la capacidad de traquear contactos fuera de la atmósfera, siendo considerado como un complemento para el Sistema de Defensa contra Misiles Balísticos (TBMD). Además, ha demostrado su compatibilidad siendo probado en el traspaso de información a sistemas de mando y control de diversa procedencia y la fluida comunicación con los radares multifunción *SAMPSON* (Inglés) y *EMPAR* (Italia y Francia). El radar mantiene las características de transmisión en la Banda D con un amplificador de estado sólido, procesamiento doppler, medición de velocidad radial instantánea, supresión de clutter, capacidad de discriminar para operar con la frecuencia menos jameada

y un procesamiento de señales que garantiza su desempeño en condiciones adversas. Además, el radar está optimizado para operar de manera conjunta con los misiles SAM ESSM y SM-2.

### Conclusión y consideraciones para el futuro

En el último tiempo la empresa Thales ha perfeccionado el desempeño de los radares *SMART-L* y *SMART-S*. Respecto de este último las mejoras en relación del modelo anterior han sido significativas, siendo la alternativa preferida para más de 40 plataformas en el mundo. Respecto del *SMART-L*, se presentó recientemente una versión mejorada del radar denominada *SMART-L-EWC (Early Warning)*. Esta última aumentó a 400 km el rango para detección de misiles balísticos. Lo anterior se logró mediante la actualización del proceso de inicialización, medidos por diferencias de velocidad y aceleración, siendo el sistema capaz de determinar el punto de lanzamiento y el punto de impacto de un misil balístico, al mismo tiempo que permanece buscando en grandes volúmenes de espacio aéreo.

El impacto de la familia *SMART* ha sido tan exitoso que distintas empresas han trabajado para probar la capacidad de sus sistemas de armas para comunicarse con el radar. Debido al nuevo sistema modular de construcción, se permite introducir actualizaciones de software mejorando el rendimiento del radar a lo largo de su vida útil. Finalmente, se concluye que la familia de radares *SMART* cumple con la misión de proveer a las unidades que cuentan con estos sensores de capacidades de detección de primer nivel, cooperando a la compilación del panorama antiaéreo de una fuerza, elemento vital para defenderse de amenazas. Sin lugar a dudas en los años venideros podremos observar nuevos avances en este aspecto y estaremos expectantes ante la implementación de nuevas tecnologías en el ámbito militar.

\*\*\*

10. Common New Generation Frigate.