

## 4.ELECTRÓNICA

### 4.1

# La oportunidad de sobrevivir en la última capa de la defensa antiaérea

Por el Coronel (R) Oficial Ingeniero Militar José Alberto Guglielmone\*

### INTRODUCCIÓN

El presente escrito se encuentra encuadrado en el apartado de electrónica dentro de TEC-1000, pero se puede afirmar, sin miedo a equivocarse, que los sistemas de defensa antiaérea, son tan complejos y utilizan una de las tecnologías más avanzadas, en donde la electrónica juega un papel fundamental, que se optó por escribir sobre esta disciplina, la cual tuvo un seguimiento pormenorizado de los temas y artículos publicados por el OTM, información que será volcada en este escrito.

Esta no es privativa del Ejército, sino también de la Armada y la Fuerza Aérea, claro está con diferentes responsabilidades, pero en muchos casos poseyendo materiales o sistemas de armas similares, lo que lo hace un tema sumamente apasionante que comprende a las tres Fuerzas y, particularmente, de actualidad si observamos los sucesos que se están viviendo cotidianamente en el mundo.

Los sistemas de armas antiaéreos, cada uno de ellos son sistemas en sí mismos, lo que hace dificultoso encarar el tema en toda su magnitud, si se pretende englobar todos las áreas temáticas o disciplinas técnicas que forman parte de ellos, ninguno queda exceptuado de la mecánica, la electrónica, la electricidad, el control, el software, y todas ellas orientadas y conformando la tecnología militar. Hablar de sensores es tratar sobre cámaras de visión diurna como térmicas, radares, y estos con sus características de cada uno con las diferentes tecnologías orientadas a sus diversos empleos operativos; de igual forma sucede con los armamentos como cañones y misiles, elementos de control tiro, los sistemas de comando, control, comunicaciones, etc. En virtud de esta complejidad es que se analizarán algunos de los sistemas o solo se mencionarán los más representativos, ya que cada título aquí mencionado se podría estudiar detalladamente, lo cual queda pendiente para artículos futuros.

Debido a que en la actualidad se trabaja conceptualmente a la defensa aérea, segmentándola en diferentes capas (concepto que se tratará más adelante), desde las mayores alturas y largas distancias, hasta las más bajas alturas y cortas distancias, que defienden los objetivos clave.

Siendo la última capa aquella que se encuentra cercana a los objetivos a defender, se la considera como la que reviste mayor importancia y en ella es en donde se sitúan los sistemas de armas de baja y muy baja cota. Por su importancia se ha seleccionado esta capa, a fin de pretender explicar las nociones generales de la nueva filosofía que debe primar para comprender la razón de su trascendencia, de la última capa ya que será la última oportunidad de sobrevivir, ante las nuevas amenazas que los países se disponen a enfrentar.

## **GENERALIDADES DE LA DEFENSA ANTIAÉREA**

### **Objetivos Vitales**

La Defensa Antiaérea de Baja Cota, tendrá sus particularidades en el accionar, según el tipo de objetivos a defender y de acuerdo a las características geográficas en donde se encuentren estos, ello llevará a considerar las diferencias en los tipos de aviones usados por el enemigo, el método ofensivo, la dirección y la intensidad del ataque.

Los ataques tendrán lugar principalmente a la luz del día, pero también podrán efectuarse en la oscuridad y en el peor de los casos en condiciones meteorológicas adversas.

Los Objetivos Vitales se pueden clasificar en objetivos de grandes áreas, puntuales y móviles o complejos.

El “objetivo de grandes áreas”, ocupa un terreno amplio, estos podrán ser pistas de aterrizaje, refineras o centrales eléctricas. Tal característica implicará un esfuerzo sustancial por parte del atacante, las actividades hostiles comenzarán con vuelos de reconocimiento, seguidos de ataques sobre los sistemas de defensa antiaérea y concluir con una serie de olas de ataque contra el objetivo real.

Para un máximo de protección de estos amplios objetivos, un gran número de sistemas de armas, deben ser empeñados, para proporcionar una efectiva defensa de estos.

Los “objetivos puntuales” son definidos como objetivos menores a 50 metros de diámetro: ellos pueden ser estaciones de radar, puestos de comando o logísticos, puentes o cruces de caminos. Desde el punto de vista del atacante, independientemente del modelo ofensivo considerado, el foco siempre estará sobre el mismo punto, ya que el objetivo es reducido. Bien conscientes de esta circunstancia, los sistemas que se desplegarán para la defensa del objetivo puntual, deberán poder estar en capacidad de combatir al enemigo aéreo, cuando estos se aproximen desde cualquier dirección.

Los “objetivos móviles” no tienen una posición fija, durante un largo período de tiempo, comparados con otros objetivos, ellos ofrecen una superficie de ataque más bien limitada. Por lo general, varios de estos objetivos son combinados para formar unidades tácticas u otras organizaciones, principalmente estarán en desplazamiento, como columnas de marcha o en actividades de combate, también se los conocen como un “objetivo complejo”.

Si la defensa es mantenida permanentemente, esta debe ser móvil; por eso la movilidad es el criterio para la selección de los sistemas de defensa antiaérea, más convenientes.

Los mencionados se denominaron objetivos vitales, dentro de las guerras convencionales o bien asimétricas, pero en la actualidad podemos encontrar otro tipo de objetivo, no distinto, pero sí conceptualmente diferente; si bien pueden ser algunos de los clasificados anteriormente, poseen la particularidad de que están dentro de las operaciones militares, las cuales son distintas a la guerra (*Military Operation Other Than War – MOOTW*). Estos son objetivos que participan o se encuentran inmersos en determinadas circunstancias o situaciones. Algunos de estos pueden ser un objetivo dentro de las tropas desplegadas para la Paz, un objetivo nacional que se desee proteger por determinado evento, estadios con gran concentración de personas, el lugar en don-

de se desarrolla una reunión cumbre de autoridades. Un claro ejemplo de esto será el G20, que se desarrollará en la Argentina, el cual está integrado por 19 países y un organismo multinacional que es la Unión Europea; si bien en la agenda hay varias reuniones de trabajo en diferentes lugares del país, la última y más importante será la “Cumbre de Líderes” (30 de noviembre y 1 de diciembre de 2018), ésta será un objetivo clave del tipo de los nombrados que se deberá proteger. Al término de este artículo, se deja como ejercicio intelectual al lector, que se formule la pregunta de rigor, con la posibilidad de encontrar una lamentable respuesta.

### Tácticas de Ataques Aéreos

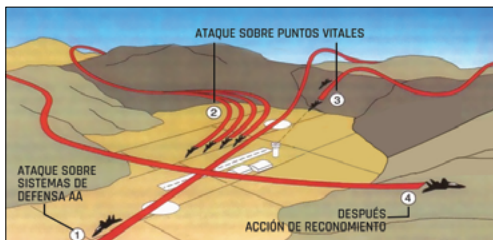
A fin de dar una breve descripción acerca de la ofensiva del enemigo aéreo, se dice que la misión de ataque es planificada minuciosamente y puede ser dividida en tres fases: aproximación, ataque y escape.

La aproximación y el escape normalmente son realizados a la máxima altura favorable, el vuelo de aproximación será realizado a muy baja altura, a fin de evadir los radares que controlan los sistemas de armas. Durante el ataque, la altitud de vuelo y el ángulo de ataque, previamente al disparo, estarán determinados por el tipo de arma empleada.

Los cazabombarderos vuelan de a dos o cuatro, los acercamientos los realizan en una cierta formación, que es reorganizada para el ataque al final, a fin de crear una sobresaturación sobre el objetivo.

La misión es precedida por una fase de planificación detallada y preparación para asegurar una probabilidad de máximo éxito; por lo general esto causará la decisión para volar varias olas de ataque contra objetivos diferentes. La primera y segunda ola, indudablemente deberán ser acompañadas por Contra Medidas Electrónicas (ECM), atacarán las posiciones

FIGURA 1: OLAS DE ATAQUES ENEMIGO



de defensa antiaérea, alrededor de los objetivos vitales, las olas siguientes buscarán la destrucción total del objetivo. Por último, se hará un vuelo de reconocimiento y evaluación de daños. Mientras la misión es completada con todas las olas de ataque, es un asunto de minutos, pero la planificación y la preparación podrán tomar horas o aún días; como toda planificación, a mayor detalle, mayores probabilidades de éxito.

Además del tamaño físico de un objetivo, así también se deben tener en cuenta las zonas de emplazamiento, su diseño, e igualmente deben ser tenidos en cuenta por el atacante, el factor de calidad del objetivo, el material con el cual está construido, si es de hormigón macizo, la superficie, áreas difíciles, o instalaciones electrónicas de radiación, todo ello obviamente afecta la selección de las armas a emplear por las fuerzas enemigas.

Construcciones de concreto serán atacadas con bombas grandes o misiles teledirigidos; mientras mayor sea la superficie y más complejos sean los accesos y las áreas, mayores serán los costos de los ataques, teniendo que utilizar sub-municiones o dotar a una línea de ataque con armas dirigidas. Para asegurarse de que las descargas impacten en el blanco con precisión, durante un cierto período, según las armas empleadas por el atacante, el piloto debe acercarse al objetivo en un ángulo preseleccionado en una línea directa, antes de que él pueda lanzar su arma. Esta restricción influye en la etapa final de la decisión de un ataque aéreo.

En el siguiente cuadro está representado cómo es el ataque aéreo: de acuerdo al objetivo se seleccionan los tipos de armas a ser empleadas, los ángulos de ataque, el tiempo de permanencia de visión al blanco y las distancia a las que se deben lanzar dichas armas.

FIGURA 2: TÁCTICAS DE ATAQUES AÉREOS<sup>1</sup>

Tipo	Objetivo	Probable tipo de arma	Ángulo Ataque	Tiempo Visión	Distancia Arma - Blanco
Gran Área	Pista de aterrizaje	Bombas Cluster	0 - 15°	4 - 6 seg	400 - 2000 m
	Infraestructura	Bombas Guiadas	5 - 45°	No Aplicable	Varios Km
	Refinería	Cohetes No Guiados	10 - 30°	3 - 8 seg	800 - 2000 m
	Planta Energía	Bombas Balísticas	15 - 45°	3 - 7 seg	1000 - 2000 m
Puntual	Estación Radar	Misil Anti Radar	5 - 45°	No Aplicable	Varios Km
	Cuartel General	Bomba Retardante	0 - 15°	4 - 6 seg	400 - 2000 m
	Intersección de Rutas	Bombas Balísticas	15-45°	3 - 7 seg	1000 - 2500 m
Móvil	Blindados	Bombas Cluster	0 - 15°	4 - 6 seg	400 - 2000 m
	Sistemas de Armas	Cohetes No Guiados	10 - 30 °	3 - 8 seg	800 - 2000 m
	Columna de Vehículos	Cañones Aéreos	5 - 20°	3 - 8 seg	2000 m

El empleo de armas de tiro y olvide (stand-off) indudablemente reduce el riesgo de exposición al fuego de la defensa antiaérea. Es de asumir que misiles cruceros juegan un papel cada vez más importante en el combate contra objetivos terrestres, aunque la tasa de éxito de ataques convencionales aún no haya sido igualada.

Así también los misiles anti radar han sido y son una verdadera amenaza. Vale mencionar y nunca está de más, honrar y recordar, que el día 3 de junio de 1982, en el conflicto armado de la Guerra de Malvinas, un avión inglés Vulcan arrojaba dos misiles anti-radar Shrike sobre Puerto Argentino, uno de los cuales impactó en el Director de Tiro SKYGUARD de la batería A del GADA 601, que tenía la misión de cubrir "la ruta de los Harrier", que ingresaban por el norte de la bahía con el objetivo de destruir la pista del aeropuerto; a causa de este, mueren en combate el Teniente Alejandro Dachary y su dotación, el Sargento Pascual Blanco y los Soldados Clase 62 Oscar Daniel Diarte y Jorge Alberto Llamas. De este conflicto se puede decir, que es la última guerra totalmente convencional y, con ello, los ataques aéreos, como la defensa antiaérea, de ambos bandos, tanto los ingleses como de las tropas argentinas, fueron estudiadas y ejecutadas, siguiendo fielmente las doctrinas vigentes.

Conocer al enemigo aéreo, saber de sus tácticas, de sus capacidades, tener un conocimiento acabado del poder de sus armas, es la premisa primordial para planificar y conformar una defensa antiaérea eficaz.

### Criterios de Defensa Antiaérea

Hay tres criterios básicos que son aplicados para planificar la defensa con unidades antiaéreas y que puedan emplearse para la protección de uno o varios objetivos distribuidos en una zona, ellos son: masa de fuego, mixtura de sistemas y movilidad.

<sup>1</sup> Fuente: Anti-Aircraft Tactics – Oerlikon Contraves Defence - Edition 1998

Cuando se los pone en práctica, estos criterios son independientes unos de otros, pero cuando se aplican en un contexto amplio, deben ser vistos en su conjunto y son decisivos para la eficacia de la defensa antiaérea.

El criterio de “masa de fuego”, se consigue desplegando un número adecuado de armas antiaéreas para proteger un objetivo vital, contra la amenaza aérea; de este modo, se proporciona apoyo mutuo y se solapa el fuego de los sistemas de armas, junto con una cierta profundidad de la defensa.

La idea es disponer de un número de armas antiaéreas suficientes para permitir el combate simultáneo a varios blancos y con un balance de diferentes armas antiaéreas, se consigue también una suficiente y necesaria letalidad.

El principio “mixtura de sistemas” se logra operando conjuntamente diferentes sistemas de armas, a fin de que los mismos se complementen mutuamente, ello va de la mano del principio de masa de fuego, el despliegue de una combinación de armas antiaéreas en números adecuados dificulta considerablemente la tarea del enemigo. Para planificar el ataque, el agresor tendrá que considerar la amenaza de dos o más sistemas de armas, cada uno con sus características propias, que requerirá optimizar las tácticas y técnicas de ataque para minimizar las bajas. Pero al enfrentarse a una combinación de armas antiaéreas, sus pérdidas experimentarán un sensible aumento, cuando sus aeronaves penetren en el área dotada de defensa antiaérea.

La mixtura incluye la importante capacidad de poder utilizar conjuntamente sistemas de armas tales como misiles y cañones, como así también nuevos sistemas actuales o futuros, cada uno con diferentes características técnicas y operativas, proporcionando la mejor protección antiaérea, para un objetivo de alta prioridad.

El principio de movilidad es indispensable que actúe en conjunto con los de masa de fuego y mixtura de sistemas, ya que así permitirá que la movilidad de los sistemas se vea protegida y actúe coordinadamente para realizar los cambios de posiciones y movimientos de acompañamiento de unidades necesarios para lograr mayor eficacia. Resulta costoso fortificar las unidades antiaéreas y tales fortificaciones son fáciles de descubrir y combatir, un buen nivel de movilidad constituye el mejor factor de defensa y garantiza la supervivencia de la unidad antiaérea, contra ataques de aviación como de las unidades terrestres.

### **Entender la Defensa Antiaérea**

Cuando un agresor o una imprevista amenaza aérea se aproxima tiene que ser detectada y combatida antes de que el atacante lance sus armas contra el objetivo defendido, el que haga fuego primero y consiga un efecto en el blanco ganará cualquier situación de combate, es por ello que “hacer fuego primero” es esencial no solo para proteger y apoyar objetivos de unidades propias, sino también para sobrevivir en el campo de batalla moderno.

Si se combinan sistemas con distintas características teniendo en cuenta que estos fueron desarrollados para similares misiones, se puede acrecentar el umbral de la defensa o bien de la intimidación hacia el enemigo.

La combinación de los sistemas antiaéreos obliga a los aviones de ataque a adoptar una disposición de combate, inferior a la óptima, al mismo tiempo que el defensor puede garantizar con mayor seguridad la supervivencia del objetivo a defender. La adaptación a las tácticas forzadas por un sistema antiaéreo dará como resultado pérdidas causadas por el otro sistema que se encuentra en combinación con el anterior.

La forma en que los aviones de ataque se ven afectados por una combinación de armas de defensa que actúan de forma simultánea con alta movilidad y un grado de masa de fuego adecuado puede expresarse de dos maneras:

- a. El avión de ataque se ve forzado a ajustar sus tácticas, lo cual requiere, un mayor número de aviones o armas, ataque a mayor altura o bien una operación con armas más avanzadas.
- b. Si se encuentra enfrentada a una mixtura de sistemas, con suficiente nivel de masa de fuego, la fuerza atacante puede decidir que las pérdidas serán tan grandes o el ataque tan costoso con relación al beneficio, que será muy posible que lo realice cometiendo errores o renuncie a efectuar el ataque.

Cuando se usa un número adecuado de unidades de tiro en una combinación de diferentes sistemas y siendo estos reconocidos por sus efectos y mejor aún si fueron probados exitosamente en combate, la defensa antiaérea produce un “efecto indirecto”, que probablemente sea más importante que el “efecto directo” de las propias armas. La supervivencia es la condición necesaria para el efecto.

La defensa antiaérea se puede resumir en cuatro factores: alta precisión sobre blancos que se aproximan, lo cual estará dado por el primero en hacer fuego y dar en el blanco; inmunidad a las perturbaciones, tanto hostiles como naturales; supervivencia a través de bajo perfil táctico y gran movilidad; y por último integración de sistemas de defensa antiaérea, intercambio de inteligencia y control de combate en los sistemas que colaboran.

## **LA EVOLUCIÓN DE LA DEFENSA ANTIAÉREA**

### **El Concepto de Capas**

La nueva filosofía que se ha incorporado entre los países más avanzados es la de los Sistemas de Defensa Aérea, integrados por Capas y llevan la iniciativa en su implementación, China, Rusia, Estados Unidos, Alemania, Francia, Israel y Japón, este último ante una necesidad inminente por las muestras de poderío de su vecino. Estas Capas están virtualmente definidas por un volumen, enmarcadas en diferentes semiesferas, las cuales van desde las más altas y largas distancias, hasta las más bajas y cortas distancias, actúan como barreras, son las que el enemigo deberá tener que sortear o traspasar para lograr llegar a destruir los objetivos vitales.

Estas capas se encontrarán determinadas o delimitadas, teniendo en cuenta los tipos de sistemas de armas antiaéreos propios, los elementos de ataques y amenazas que posee el enemigo y los tiempos de reacción que existen para realizar una defensa exitosa.

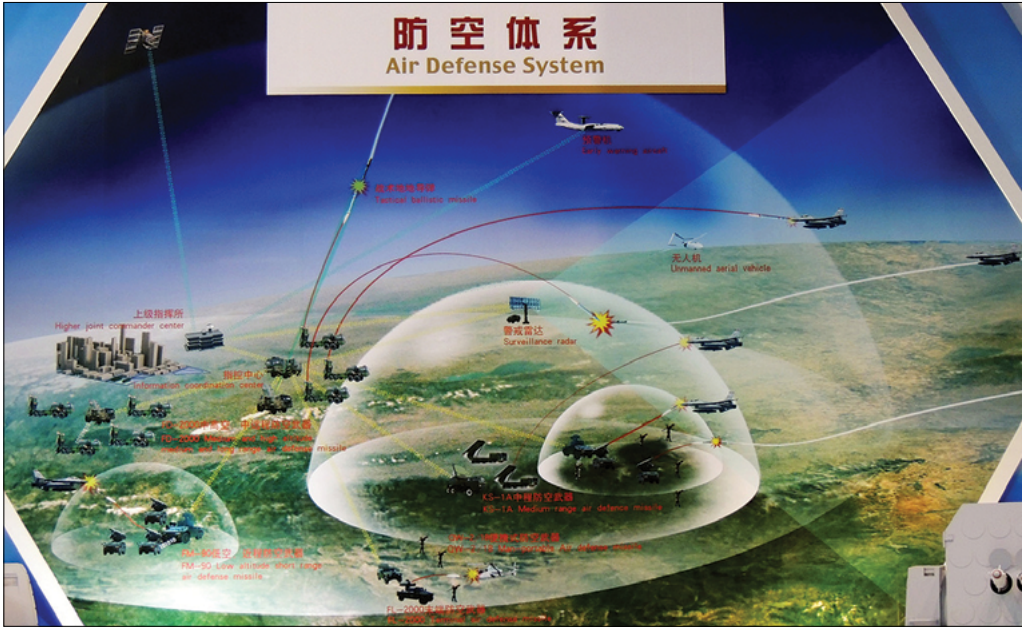
Estas estarán asociadas a los sistemas de armas que les correspondan, de acuerdo con las características técnicas necesarias para llevar a cabo la adquisición e interceptación de los blancos aéreos, siendo que las de mayor altura y alcance, corresponderán a las primeras capas y las más bajas y menor alcance serán representadas por las últimas o capas en las que generalmente se encontrarán los objetivos vitales a defender, es por ello que estas serán las que no podrán faltar y a las que se les consigne la mayor importancia, ya que en ella tendrán la última posibilidad de batir el blanco.

Es por ello que no necesariamente son configuradas para todos los escenarios o teatros de operaciones, de igual manera, pero claro está que los países que poseen los sistemas de armas de defensa aérea más avanzados serán aquellos que integrarán la mayor cantidad de capas necesarias para lograr la defensa, obteniendo menos vulnerabilidad a los ataques del enemigo.

No solo esta concepción está llamada a delimitar las capas, y con ellas la responsabilidad que les cabe a los sistemas de armas involucrados en cada una de ellas, sino que lo importante, fundamental y novedoso, debido al avance de la tecnología, es la inter operatividad entre ellas y con sus medios implicados, mediante un sistema confiable de comunicaciones e información.

Esta concepción de los Sistemas Integrados de Defensa Aérea interrelacionados por capas, tiene un alcance más amplio; se podría decir que no es un sistema sino una filosofía de ver

FIGURA 3: SISTEMAS DE DEFENSA AÉREA INTEGRADOS POR CAPAS



la defensa aérea como un todo, en donde no solo participa el Ejército sino también la Fuerza Aérea y la Armada.

Esto se obtiene mediante el intercambio seguro de información que juega un papel crucial en el éxito de la misión y la transferencia de información entre los diversos sistemas de armas involucrados.

El acrónimo C4I (Comando, Control, Comunicaciones, Computación e Inteligencia), en el ámbito de las operaciones es conocido; si bien es concebido para el control y desarrollo de las operaciones puesto a disposición del comandante para la toma de las decisiones, el sistema C4I se inicia en un proceso previo a las operaciones, continúa a lo largo del desarrollo y persiste una vez finalizadas estas, se lo resume en un sistema que se aplica de forma continua y permanente. Este será ni más ni menos el encargado de interactuar para que se comuniquen entre las diferentes capas de los sistemas de defensa aérea.

Haciendo esta salvedad, los sistemas de sensores que poseen los sistemas de defensa aérea, como así también los recursos humanos y tecnológicos disponibles tienen la tarea de adquirir, recabar y recopilar los datos relevantes de las diferentes amenazas y comunicarlos con precisión por la cadena de mandos, luego será el momento del procesamiento de los datos disponibles para posteriormente asignar las misiones para batir blancos o simple comunicación de datos para conocimiento, transfiriéndole a las diferentes capas que correspondan. Lograr la “superioridad de la información” es un elemento clave que proporciona a los sistemas de armas los elementos necesarios para conseguir una posición ventajosa que contribuya a lograr el éxito en la defensa de los objetivos.

Este proceso de recopilación de información necesariamente debe ser “compartido” entre todos los medios que participan de las operaciones, con la finalidad de que se encuentren al tanto

de la situación y participen activamente de las diferentes acciones que se adopten para efectuar la defensa antiaérea.

En este sentido, la digitalización de las Fuerzas Armadas, es el paso prioritario para alcanzar un sistema centrado en una única red que es la integración de soluciones tecnológicas dentro de un sistema C4I para compartir la información obtenida durante las diferentes fases operativas en el momento adecuado. Digitalizar también significa interactuar con los mismos protocolos de comunicaciones con similares medios de transmisión y plataformas para que sean utilizados en forma conjunta por las Fuerzas Armadas.

Estos sistemas no son exclusivos para operaciones en desarrollo, sino que son sistemas que deben estar activados de manera continua, incluso durante la paz, debido a que los Sistemas Integrados de Defensa Aérea son la garantía y protección para un país que puede ser víctima de amenazas y ataques, tanto convencionales como terroristas, asegurando un trabajo integrado bajo un sistema de C4I único.

En el último tiempo se ha podido apreciar que, bajo esta concepción, determinados países han salido al mercado a adquirir Sistemas Integrados de Defensa Aérea, desde ya que siempre van a encontrar vendedores, esto es mucho más que un software que coordina y relaciona los sistemas de armas; como se dijo con anterioridad es una filosofía que no se logra adquiriendo el sistema y el vendedor ilustrándolo sobre este, sino que se aprende llevando adelante las buenas prácticas de las acciones coordinadas y conjuntas, esto se consigue permitiendo que los más altos mandos interpreten y generen la necesidad de que sean utilizados estos sistemas, para permitir tener una adecuada defensa, siempre junto a los medios técnicos para cumplir la misión en las diferentes capas que se conciben.

## **LAS AMENAZAS**

### **Noción de Radar Cross Section**

En general, podemos diferenciar a los Blancos detectados por un Radar en dos tipos: blancos activos y blancos pasivos. Los blancos activos son aquellos que disponen de un dispositivo detector de la energía recibida, retransmitiendo la señal amplificada hacia el radar, dicho dispositivo es conocido como transponder (transmisor / receptor automático); el otro tipo, los blancos pasivos, son aquellos que su posible detección está dada por las características físicas y propias de los materiales con los que está compuesto, estos tipos de blancos son de interés para analizar.

Todo blanco pasivo que recibe las señales de un radar, estará caracterizado por la presencia de dos fenómenos:

- > Absorción / Transmisión
- > Reflexión / Dispersión (Scattering)

La primera dependerá en principio del tipo de material del que está compuesto el blanco, y su estudio ha sido y es de gran interés para los investigadores que tratan de lograr algún tipo de recubrimiento, que pueda tener el mayor grado de absorción a la energía incidente, siendo esta una Contra Medida Electrónica (ECM -Electronic Counter Measures).

La segunda es de mayor transcendencia a considerar y dependerá de las propiedades de reflexión de la superficie del blanco, que son de características extremadamente complejas.

Se podría pensar que la señal recibida de los blancos ubicados a una cierta distancia del radar, deberían ser constantes en función del tiempo y con mayor razón si los blancos son fijos, pero la realidad muestra que todos los ecos de los blancos especialmente si son móviles, son esencialmente "fluctuantes", debido a que estarán afectados por distintos factores:



- > Por su “superficie reflectante compleja”, en la medida que el blanco se mueve, la energía reflejada por cada elemento diferencial de área, en que puede descomponerse su superficie, variará en magnitud y fase de acuerdo a la orientación respecto del blanco-radar; por lo tanto, la sumatoria de los efectos será también una magnitud variable.
- > Por sus “reflexiones múltiples”, si el blanco está cerca de otro obstáculo reflectante, podría recibir ecos a través de distintos caminos, y si el blanco se mueve recibiría variaciones de señales debido a las distintas fases con que se reciben estas.
- > Por su “turbulencia de la atmósfera”, si el blanco se encuentra a cierta distancia del radar, el índice de refracción puede no ser constante a lo largo de ellas y variará de acuerdo a las características de la zona y a la variación de los agentes atmosféricos en función del tiempo.

Los tres factores mencionados pueden afectar a las señales provenientes de todo “blanco móvil”, como así también y por lo dicho dependerá de la frecuencia y polarización de la onda.

De esta manera, llegamos a la necesidad de determinar el área efectiva o superficie reflectante equivalente más conocida como “Radar Cross Section” (RCS), lo cual se concibe como el tamaño y la capacidad de un blanco para reflejar la energía del radar, pudiendo resumirlo en un único término, “ $\sigma$ ”, cuya unidad está expresada en  $m^2$ , revelando así que la RCS es definitivamente estudiada como un área.

Si absolutamente toda la energía del radar incidente en el objetivo se reflejara igualmente en todas las direcciones, entonces la RCS sería igual al área del blanco, pero en la práctica, parte de la energía se absorbe y la energía reflejada no se distribuye por igual en todas las direcciones, por lo tanto, la RCS es bastante difícil de calcular; para ello se utilizan ecuaciones sumamente complejas o bien se realiza una estimación del área, normalmente se determina por medición.

La RCS del blanco depende de:

- > La geometría física del blanco y sus características exteriores
- > La frecuencia de los transmisores de radar
- > Los tipos de materiales usados

Estas características que participan en la determinación de la RCS se han tenido que considerar y para el desarrollo de la tecnología “Stealth” (también conocida como invisible, furtivo o sigilo) a fin de reducir esos parámetros y así aumentar la capacidad de supervivencia, lo que disminuye la detección de objetivos militares. Esta tecnología tuvo su máxima expresión con la aparición en operaciones durante la Guerra del Golfo, del “F 117 Nighthawk”.

FIGURA 4: F 117 NIGHTHAWK



Pero la tecnología Stealth también depende de la frecuencia de los transmisores de radar usados y no tiene ningún efecto contra los radares VHF como P-12 o P-18, ambos utilizados por las unidades de defensa aérea serbias durante la guerra de Kosovo.

Para dar un orden de magnitud de la RCS.

Tipos de blanco	RCS - "σ"	Observaciones
Barco mediano	100 m <sup>2</sup>	N/C para DA
Avión Boeing 707	25 m <sup>2</sup>	N/C para DA
Avión Caravelle	10 m <sup>2</sup>	N/C para DA
Avión de Caza	1 m <sup>2</sup>	Blanco NATO
Proyectiles	RCS - "σ"	Observaciones
155 mm	3000 cm <sup>2</sup>	RAM
120 mm	1400 cm <sup>2</sup>	RAM
105 mm	600 cm <sup>2</sup>	RAM
40 mm	10 cm <sup>2</sup>	
20 mm	0,5 cm <sup>2</sup>	

cia y adquisición. Para esto se debe considerar los medios de adquisición a emplear, aunque la tecnología en los sensores ha progresado.

Otra amenaza que está en desarrollo son los misiles hipersónicos, los cuales cubren largas distancias con velocidades muy superiores a las del sonido, hasta siete veces más, el "Zircon" es de origen ruso, y desde ya que Estados Unidos se encuentra abocado a sus desarrollos, con estas características hasta el momento se hace prácticamente imposible para los sistemas antimisiles, poder interceptarlos.

Con el correr de los años evolucionaron los Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV - Unmanned Aerial Vehicles), alrededor de estos se desarrolló una verdadera industria, que ha perfeccionado la capacidad principal de reconocimiento y observación, con autonomía de vuelo verdaderamente sorprendentes y siendo plataformas portadoras de equipamiento de muy alta tecnología. Estos avances no se han detenido, y las experiencias obtenidas en combate se han visto capitalizadas, transformándolos en losUCAV (Unmanned Combat Aerial Vehicles) sobre plataformas de gran envergadura, a obtener configuraciones que poseen distintos tipos de armamentos, pasando a ser amenazas con piloto que se instalan dentro de una cabina o un *shelter*, muy lejos de la zona de combate, sin ninguna posibilidad de riesgo para la vida humana, pero a la vez tan avezados como cualquier otro piloto, siendo una probada amenaza para la defensa antiaérea. Algunos de los más renombradosUCAV, son el "Taranis Drone" del Reino Unido, "Dassault Neuron" de Francia, "Northrop Grumman X-47B" de EEUU, "Anjian" (Dark Sword) de China, todos ellos utilizan la tecnología Stealth. ElUCAV "Taranis" desarrollado por la empresa BAE Systems del Reino Unido, posee 8 toneladas y 11 metros de largo, con una

### Las nuevas amenazas

En puntos anteriores se han descripto diferentes tácticas de ataque convencionales de aeronaves, incluso se mencionaron las tres fases de aproximación, ataque y escape, y también los misiles cruceros fueron mencionados.

Dentro de la defensa antiaérea aparece un nuevo concepto llamado Rocket - Artillery - Mortar (RAM), estos cohetes, artillería y mortero son considerados nuevos blancos que la defensa antiaérea debe entender y considerar. Tanto las Smart ammunitions (munición inteligente), las bombas guiadas como las RAM poseen una RCS muy pequeñas, según lo visto en el cuadro demostrativo del punto anterior que dificultan la posibilidad de vigilan-

FIGURA 5: MISIL HIPERSÓNICO ZIRCON - RUSIA



envergadura de unos 9 metros, es un dron semiautónomo diseñado para llevar a cabo vuelos intercontinentales y ataques letales contra objetivos aéreos y terrestres; aunque el avión no tripulado posee la capacidad de auto-seleccionar objetivos y de activar su modo auto-kill, este tipo de modo, que muchos de estosUCAV lo poseen, aun es un tema que se encuentra en discusión y existen grandes polémicas para su implementación.

FIGURA 6:UCAV ANJIAN (DARK SWORD) - CHINA



FIGURA 7:UCAV TARANIS - REINO UNIDO



Un desprendimiento de los UAV, han sido los llamados genéricamente “drones” o “UAV multirrotores”, también son citados como LSS (Low Slow Small), con su característica específica de hacer vuelos estáticos, que varían en una gran cantidad de tipos, cada uno con su complejidad, sus precios cada vez más accesibles, como así también la tecnología que se puede conseguir para lograr un simple desarrollo, suficiente como para que porte un pequeño peso, como cámara o simplemente una carga explosiva. De esta manera se puede decir que este tipo de vehículos se encuentra al alcance de las manos de cualquier individuo u organización, siendo utilizadas por atacantes asimétricos o grupos terroristas.

Es así que los requisitos impuestos a la defensa antiaérea de baja cota se han vuelto mucho más complejos, y tanto en cantidad como en calidad, la amenaza aérea continúa mutando y multiplicándose, cada vez más se hace hincapié en los vehículos aéreos no tripulados y las municiones guiadas de precisión que son más pequeñas, más rápidas y más ágiles que nunca.

En la actualidad, no solo lo que se ha descrito como objetivos vitales, sino también pequeñas instalaciones en centros urbanos, medios de transportes como trenes, aviones e incluso individuos, pueden ser blancos de ataques terroristas, con la utilización de drones comerciales. Sus tácticas bien conocidas, de ocultamiento dentro de la población y grupos de pocas personas se caracterizan por atacar inesperadamente sobre blancos insospechados, siendo más difícil de contrarrestar este tipo de ataques asimétricos, los cuales han sido sufridos en los últimos años, incluso durante el tiempo de paz.

Sin dar descanso a la investigación y desarrollo, tanto desde el uso militar como civil, en la evolución de los drones, se ve con sorpresa la posibilidad de actuar en grandes cantidades en forma simultánea y coordinadamente.

La empresa “Intel” realizó en forma demostrativa, con los acordes de una orquesta al aire libre y al ritmo de la música puso en el cielo, 100 (cien) drones con luces volando organizadamente, no contenta con ello en febrero de 2017, en el mayor evento del fútbol americano y detrás de una famosa cantante, logró armonizar y coreografiar, 300 (trescientos) drones, que formaron en el aire distintas figuras, incluso la bandera norteamericana, pero apostando aún más, en junio del mismo año, aumentó el número a 500 (quinientos), lo que al momento se encuentra en el récord

Guinness. Para ello se usó un cuadricóptero llamado "Shooting Star": esta empresa demostró la integración de la computación, la comunicación, los sensores y la tecnología en la nube, en un espectáculo de luces nítidas de 500 drones. Para no ser menos, en China, en una versión terrestre más de 540 robots bailaron una coreografía y 29 drones iluminados volaban sobre el escenario bien formados, esto fue el show para celebrar el Año Nuevo Chino, la gran gala de esta celebración se realizó en la provincia de Guangdong y estuvo a cargo del canal chino CCTV, que deslumbró con su coordinación y su acción de control sobre los mismos.

FIGURA 8: ESPECTÁCULO DE 500 DRONES CON LUCES COORDINADOS EN EL AIRE - EMPRESA INTEL



De lo expuesto surge la inmediata pregunta: ¿se estará en las puertas de una nueva amenaza para la defensa antiaérea, con un ataque de "enjambre de drones"?; la respuesta se puede contestar casi de inmediato, no por un análisis profundo, sino con hechos; por lo que se tiene conocimiento, China ha estado realizando ejercicios militares de ataques con enjambre de drones y el Departamento de Defensa de Estados Unidos ha demostrado cómo usar un centenar de drones lanzados desde un caza. Según el Ministerio de Defensa, la prueba se realizó el pasado mes de octubre, en la que un caza F/A-18 Super Hornet lanzó 103 mini drones Perdix, capaces de comunicarse entre ellos y tomar decisiones dependiendo de la situación y adaptarse a formaciones de vuelo, esto es obra de ingenieros del Massachusetts Institute of Technology (MIT). No se dice para qué lo usarán, pero sí que se podrían usar en misiones en las que antes disponían de un UAV grande y caro; en comparación, estos drones son muy baratos y capaces de controlarse remotamente. En ataques selectivos en los que antes había un dron, ahora se pueden lanzar un enjambre; al ser tantos, la defensa antiaérea, podría derribar unos cuantos, quizá una veintena, pero todavía quedarían muchos para acabar la misión asignada.

Ahora bien, si pudiera suceder un ataque de enjambre de drones, conociendo el arte de la guerra, se buscaría defender con similares armas llevándolo al mismo terreno de combate, de forma tal que se podría contrarrestar el ataque, con un contraataque de otro enjambre de drones, mejor preparados y con tácticas e inteligencia superiores. Algo similar organizó DARPA, llevando a cabo un ejercicio de juego de guerra, entre los cadetes de los institutos militares, la Fuerza Aérea, el Ejército y la Marina, cada uno de los institutos contaba con su propio enjambre de un tipo y con tácticas diferentes que debían programar, curiosamente resultaron ganadores de los combates aéreos no tripulados, los cadetes de la marina. De esta manera, se aprecia cómo desde un organismo de investigación, se piensa en el futuro desde su formación.

## LAS ARMAS ANTIAÉREAS

### Misiles vs. Cañones

Es sabido que todos los sistemas de armas tienen sus ventajas y limitaciones, se puede compensar alguna de esas limitaciones de las prestaciones de un sistema de armas con las características superiores de otro sistema. Para la defensa antiaérea de baja y muy baja cota, la combinación de sistemas de misiles y de cañones ha venido siendo la solución más conveniente.

Se pueden mencionar algunas características de los sistemas de misiles tales como:

- > Alta probabilidad de derribo de cada misil en forma individual

- > Mayor alcance y alto nivel de precisión a larga distancia
- > Gran probabilidad de derribo sobre blancos que efectúen maniobras evasivas

Con respecto a los cañones se mencionan como sus ventajas:

- > Corto tiempo entre disparo y acierto en cada combate
- > Gran cadencia de fuego
- > Capacidad de efectuar fuego terrestre contra variedad de tipos de blancos
- > Bajo costo por cada ráfaga de disparo, pese a los nuevos tipos de proyectiles

Los estudios realizados de los efectos que tiene la defensa antiaérea sobre el enemigo han venido determinando que un grupo reducido de unidades de fuego sería suficiente para producir un cierto efecto letal, teniendo que ser considerados e inaceptables para el agresor.

Las combinaciones de las armas deberían ser tales que proporcionen una defensa antiaérea de baja y muy baja cota, eficiente y totalmente versátil, a fin de explotar todas las características y ventajas.

La polémica que se produce a la hora de adquirir material de defensa antiaérea de cañones o misiles, como también qué tipos de misiles, si con puestos de tiro o Man-Portable Air Defense Systems (MANPADS), se encuentra totalmente descalificada y no existe posibilidad de discusión alguna. Un sistema de defensa aérea como ya se ha mencionado, debe ser concebido como un sistema mixto; si bien siempre existió ese pensamiento, en la práctica no siempre se ha visto plasmado así por contar con escasos recursos económicos que adopten una solución de compromiso en el momento de la decisión o disponer de diferentes sistemas de armas; generalmente, los objetivos a cubrir excede la cantidad de sistemas de armas con que se cuenta para realizar la correcta defensa de todos los objetivos que se pretenden defender.

Si se logra la mixtura de las armas de defensa antiaérea, una combinación de sistemas antiaéreos deberá constar de tales cantidades de números que la protección antiaérea total no pueda ser saturada por ninguna oleada de ataque, lo cual significa un alto umbral de saturación.

Esta mixtura de sistemas dificulta considerablemente la adaptación de las tácticas del enemigo, que incluyen las operaciones de perturbación.

Las operaciones con armas pueden optimizarse, dado que existen distintos sistemas antiaéreos, los cuales están diseñados para usar el mismo sistema de control tiro.

Las siguientes son las capacidades básicas que deben poseer la Defensa Antiaérea de baja cota:

- > Capacidad para combatir blancos a corta distancia
- > Capacidad para combatir varios blancos durante un corto período de tiempo
- > Capacidad de reacción en un tiempo muy breve ante el ataque enemigo
- > Capacidad para combatir las 24 horas del día, bajo condiciones climáticas adversas
- > Capacidad de combatir blancos terrestres para autodefensa

### **Armas para las nuevas amenazas**

Para poder hacer frente a estas nuevas amenazas, solo con sistemas integrados de defensa aérea y con los sistemas de armas de defensa antiaérea más sofisticados, se las puede detener; estos deben encontrarse en alerta permanente incluso en tiempo de paz.

Los sistemas de cañones continúan siendo utilizados para muy baja cota; actualmente se los identifica como Sistemas **CIWS** (Close-in Weapon System). Estos “Sistemas de Armamento de Proximidad”, ya hace tiempo que han ido cambiando su concepción, buscando lograr “masa de fuego”, en algunos casos lograda por la cadencia de fuego de los cañones y en otros casos lograda por características particulares de la munición.

El antiguo concepto de Ametralladora Gatling, diseñada por el estadounidense Richard J. Gatling en 1861, fue la primera arma de repetición que tuvo éxito, basada en el principio de eje rotativo y una cadencia de 200 dpm. Si bien no fue usada durante la Guerra de Secesión (1861-1865) por ser considerada por ambos bandos, un arma con consecuencias devastadoras, lo sería en otras guerras sin miramientos a sus resultados. Esta idea ha evolucionado y fue adoptada por varios fabricantes de armamentos, convirtiendo cañones rotativos con varios tubos, con munición de calibres entre 20mm y 30mm, con cadencias de disparos que van desde los 3.000 a 10.000 dpm y con distancias desde los 1.500 metros a los 4.000 metros de alcance. En principio, estos sistemas han sido desarrollados para ser utilizados por las Armadas de diferentes países, a fin de contrarrestar las amenazas aéreas o misiles cruceros que se aproximan a pocos metros sobre el mar. Estos sistemas CIWS, están siendo actualmente adoptados por los sistemas de armas de defensa antiaérea de los ejércitos, montados sobre camiones o blindados, no solo para poseer masa de fuego sino también movilidad. Estos siempre se encuentran asociados individualmente a sistemas de control tiro de gran precisión, amalgamándose en un sistema totalmente autónomo.

FIGURA 9: CIWS PHALANX - RAYTHEON - EEUU



FIGURA 10: CIWS PHALANX MONTADO EN VEHÍCULO "CENTURION"- RAYTHEON - EEUU



Otros tipos de cañones son los denominados Oerlikon Revolver Gun MK2 de 35mm (Oerlikon revolver: se menciona el desarrollado por Oerlikon Contraves, hoy perteneciente a Rheinmetall Defence, que reemplazó a los cañones Oerlikon bitubos GDF 35mm en sus distintas versiones (el Ejército Argentino posee la versión GDF-003, Fuerza Aérea Argentina el GDF-001); estos poseen una cadencia de disparo de

1000dpm, tienen la particularidad y ventaja de que utilizan la munición AHEAD (Advanced Hit Efficiency and Destruction), están equipados con tres bobinas, dos de ellas miden la velocidad exacta del proyectil, esta medición es usada para calcular la configuración de la espoleta a fin de lograr el tiempo de vuelo adecuado, así es que la tercera bobina le proporciona estos datos a la espoleta a través de un sistema de inducción eléctrica, la espoleta en sí es un temporizador de alta precisión que detona la carga a una distancia dada en frente del objetivo, expulsando 152 sub-municiones de tungsteno; si se efectúan 25 disparos a un blanco, se dispersarán 3.800 pequeños proyectiles y se conformará una gran nube de estos que proporcionarán una alta probabilidad de derribo. De esta manera, con la munición se logra la masa de fuego que, de otra forma, la

obtienen con varios cañones con una cadencia de fuego aún más alta. Este tipo de munición se asemeja a la desarrollada por Bofors, de 40mm llamada 3P (Prefragmented Programmable Proximity Fuzed ammunition).

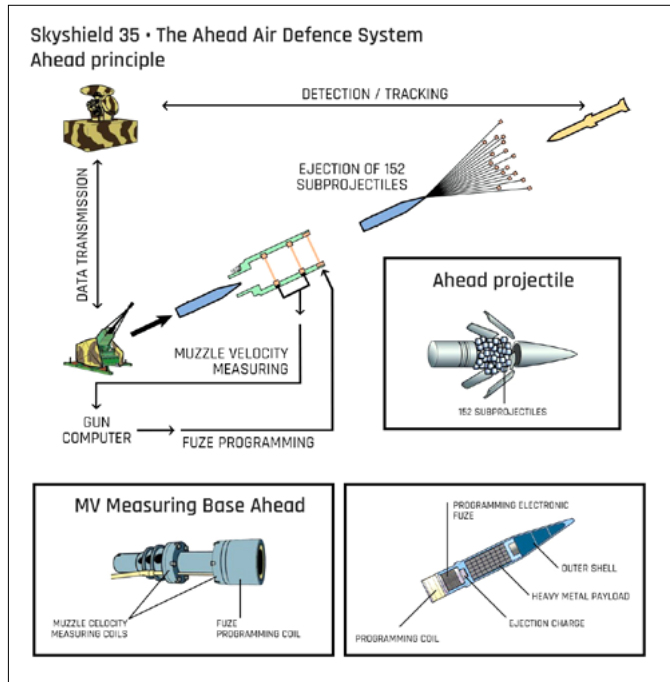
Si de sistemas de misiles debemos hablar, otro tema extenso para tratar, estos son uno de los sectores más complejos y amplios dentro de la industria de defensa. Estos se encuentran caracterizados por su tecnología de punta, tanto en sistemas de propulsión como en equipos de guiado y control, la restricción en la información y confidencialidad de las características en los nuevos desarrollos, a todo esto se le suma la variedad de armas de muy diversas prestaciones y utilidades, tales como misiles aire-aire, aire-superficie, superficie-superficie y superficie-aire. Estos últimos son los de interés, en particular, los que son utilizados para defensa antiaérea de baja cota. El mayor porcentaje de los desarrollos de misiles en las empresas de defensa del mundo es adjudicado a los misiles superficie-aire, lo que marca la trascendencia que conlleva en la búsqueda permanente de obtener nuevos productos para la defensa aérea ante las nuevas amenazas que surgen.

Dentro de la gran gama de misiles encontramos los llamados MANPADS (Man Portable Air Defense System), en este tipo se puede hallar una amplia variedad que va desde los más simples hasta los más complejos, en algunos de ellos la mayor tecnología se encuentra concentrada en el propio misil, estos son los denominados “tira y olvida”, los cuales una vez lanzados el misil, poseen la inteligencia suficiente y necesaria para seguir al blanco según diferentes métodos de control y guiado. Tales son los casos del sistema “STINGER” (EEUU) y el “9K333 VERBA” (Rusia). Este último entró en servicio en las Fuerzas Armadas rusas en el año 2014 para reemplazar a su antecesor el “Igla S”. El “Verba” es un sistema de misil de última generación contra aviones de ala fija, helicópteros, misiles cruceros, UAVs y objetivos de muy baja RCS. Posee un buscador de tres canales, con sensores en la frecuencia

FIGURA 11- CAÑÓN REVOLVER OERLIKON SKYSHIELD 35MM- RHEINMETALL - SUIZA



FIGURA 12- PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO MUNICIÓN AHEAD-RHEINMETALL - SUIZA



del ultravioleta, infrarrojo cercano e infrarrojo medio, las entradas de los sensores se controlan de forma cruzada para determinar los objetivos contra los señuelos, mejorar así la precisión y evitar las contramedidas electrónicas. El buscador tiene la capacidad de detectar el calor emanado de las alas y el fuselaje, debido a la resistencia del aire, además de los métodos convencionales de búsqueda de temperatura del motor, lo que permite el enfoque frontal al objetivo y no solamente disparado luego de que pase el blanco en persecución y evitar los señuelos de bengalas traseras utilizadas por la mayoría de los aviones.

Otro sistema MANPADS, en el que, a diferencia de los anteriores, la mayor tecnología no se encuentra en el misil, sino en el lanzador, de reconocida actuación es el "RBS 70" de origen sueco de la empresa Bofors, el cual se encuentra operativo en una gran cantidad de países. Para su desarrollo, las Fuerzas Armadas suecas plantearon uno de los requisitos más rigurosos: "debía ser imperturbable"; es por ello que el control y guiado es efectuado por "línea de mira" (lanzador - misil - blanco) y "haz de rayo láser"; esto le proporciona la capacidad de ser lanzado frontalmente, combinada con su alta precisión a larga distancia e inmunidad a todo tipo de perturbaciones naturales o del enemigo. La restricción que hace que el operador, una vez lanzado el misil, deba continuar con el rayo láser dirigido al blanco, también lo convierte en una capacidad ya que este puede tomar la decisión de cambiar el blanco con el vector en vuelo o hasta puede destruir el misil antes que impacte si el operador lo considera necesario. La evolución del RBS-70 se centró en perfeccionar la tecnología de la mira en el puesto de tiro y las diferentes versiones de misiles cada vez con mejores prestaciones: MK 1, MK2 y NG.

Estos sistemas MANPADS, en su mayoría los más avanzados, tienen la posibilidad no solamente de poder ser lanzados por un hombre desde el hombro, sino que están concebidos como un sistema misilístico completo y tienen la versatilidad de ser instalados sobre vehículos a rueda o a orugas, en sus configuraciones simples o de varios lanzadores. También tienen el potencial de interactuar con sistema integrado de control, lo que les permite el uso de datos proporcionados desde radares de alerta temprana u otros sistemas de adquisición, dándoles así el tiempo necesario a los operadores para actuar. Como opcionales se les puede adosar sistemas de IFF (Identification Friend or Foe).

Entre los diferentes tipos mencionados como aquellos que poseen un buscador IR de alta tecnología sobre el misil y aquellos con línea de mira por rayo láser, cada uno tiene sus ventajas y desventajas, que no es intención aquí mostrarlas, ya que cuando de argumentación se trata, sucede que la mitad de la biblioteca está a favor de un tipo y la otra mitad a favor del otro tipo.

FIGURA 13- MANPADS VERBA - RUSIA



FIGURA 14- MANPADS RBS 70 MONTADO EN VEHÍCULO - BOFORS - SUECIA





Dejando de lado los sistemas portables, uno de los sistemas antiaéreos más afamados y apreciados de Israel, por su importancia y la seguridad que le proporciona a su población, es el que se encuentra actualmente en operaciones permanentes, principalmente en la zona de Gaza. La empresa RAFAEL Advanced Defense Systems (Raytheon se ha unido para la fabricación de los misiles Tamir), ha desarrollado un sistema de misiles que se ha dado en llamar “Iron Dome”, o también haciendo la analogía, adjetivándola a una cúpula de hierro, como si esta fuera infranqueable y lograr así la confianza no solamente por su nombre sino, lo que es primordial, por sus resultados.

Este sistema se encuentra preparado para actuar en la capa más baja o última capa, posee la singular característica y única en su tipo, que es tener la posibilidad de actuar operativamente con doble propósito, pudiendo ser empleado como sistema misilístico de muy corto alcance (VSHORAD - Very Short Range Air Defence) contra objetivos aéreos tradicionales, tales como aviones, helicópteros, UAVs, o bien la otra misión que es la que le permite actuar contra amenazas asimétricas, como cohetes lanzados de corto alcance desde los cuatro kilómetros hasta los 70 kilómetros, artillería y morteros (C-RAM). Cuenta con el primer lanzador multi-misión en su tipo, diseñado para disparar diferentes misiles interceptores de acuerdo con el tipo de la amenaza. Otra capacidad de estos sistemas es que posibilitan discriminar entre amenazas dirigidas hacia un área poblada y aquellas que caerán al mar o campos abiertos, así se reducen los costos y limitan los lanzamientos innecesarios; es así que el radar, detectadas las amenazas, puede descomponer la trayectoria prediciendo el lugar donde va a caer y, habiendo delimitado la zona en donde se encuentra la población, podrá tomar la determinación de realizar la interceptación o no. Es una solución efectiva e innovadora, diseñada para detección rápida, discriminación e interceptación, con una cabeza de guerra especial que detona los objetivos en el aire, dentro de la capa baja del paraguas de defensa aérea de Israel. Una sola batería puede proteger una ciudad de tamaño mediano aproximadamente de 96 km<sup>2</sup>. Si bien proyectiles de muy bajo costo, los cuales son usados como amenazas asimétricas y en grandes cantidades, son interceptados por estos sistemas sofisticados, según la relación costo- beneficio, cuando se trata de vidas humanas, está totalmente justificado.

Ante el gran número de proyectiles y cohetes provenientes desde sus vecinos en la Franja de Gaza, la cantidad de interceptaciones realizadas, si bien no existe información oficial, se estima que el rango de efectividad obtenida es de aproximadamente del 90 por ciento, de allí su popularidad entre los habitantes.

De más está decir que este sistema no actúa en forma individual, sino dentro de un todo como es la defensa del Estado de Israel.

FIGURA 15- IRON DOME -RAFAEL - ISRAEL



## Arma Láser

Las armas láser se hallan encuadradas en aquellas llamadas de Energía Directa, en las cuales también se encuentran las armas de pulso electromagnético, armas de haces de partículas, armas de microondas de alta potencia, entre otras.

El primer LASER (Light Amplification by Stimulated of Radiation – amplificación de luz por emisión estimulada de radiación), funcionó en mayo de 1960, construido por Theodore Maiman; a partir de su descubrimiento, los incesantes y continuos estudios en el mundo de la ciencia, relacionados con el Laser dieron varios premios Nobel, y un sinnúmero de aplicaciones que no se hicieron esperar en diferentes áreas, principalmente para la medicina, pero la industria de la defensa, si bien entre otras aplicaciones usaba telémetros e iluminadores, esta sentenciaba, que tarde o temprano llegaría el desarrollo para algún tipo de armamento. Como hecho curioso en el Boletín Técnico Nro 27, de fecha 9 de marzo de 1964, emitido por el “Centro de Instrucción de Artillería de Defensa Aérea” del Ejército Argentino, se mencionaba como novedad un arma de rayos láser, según un vocero de la Maser Optics Ind.<sup>2</sup>, sin saber el entonces Director del Centro que esa noticia se iba a concretar cincuenta años después y que, entre las prestaciones, serían destinadas justamente a la defensa aérea.

Los estudiosos de Nikola Tesla (1856-1943) con más de 700 patentes y su elucubración del “rayo de la muerte”, o los fervientes seguidores de la “guerra de las galaxias”, con sus armas de energía dirigida, todos ellos pueden verse colmados y satisfechos , que lo que parecía solo ficción y fantasía, hoy es una realidad.

Mediante la Vigilancia Tecnológica, que se ha venido realizando en el Observatorio Tecnológico Militar del CEPTM “Grl Mosconi”, esta temática se ha seguido muy de cerca con todas las noticias, y se ha podido advertir cómo los diferentes países junto a sus Fuerzas Armadas y las empresas para la defensa, se apresuran a informar por los distintos medios, de los logros obtenidos respecto de las armas de Energía Directa principalmente las HEL (High Energy Laser) o LaWS (Laser Weapon System), ya que estas se encuentran en un nivel de desarrollo sumamente aceptable e incluso algunos han dejado de ser demostradores o prototipos, para pasar a la producción y provisión de las Fuerzas Armadas, tal es el caso del anuncio del Viceministro de Defensa de Rusia. También Matthew Ketner<sup>3</sup>, dijo lo propio: que el Ejército y la Armada de Estados Unidos, están incorporando cada vez más armas láser en diferentes plataformas y que la Marina estadounidense con su sistema LaWS de 30 KW, montado en un barco, fue capaz de destruir un UAVs, en vuelo medio; asimismo, dijo que sistemas más potentes se encuentran en desarrollo.

Dentro de los problemas que se debían sortear en estos desarrollos estaba el suministro de energía y la refrigeración de los sistemas involucrados, la transición de los láseres de estado gaseoso a los de estado sólido fue importante ya que aumentó la eficiencia entre la

FIGURA 16 - HEL ARMA LASER DE 30 KW  
RHEINMETALL - SUIZA



2 De los archivos escritos como novedad, no se pudo determinar su veracidad por otros medios.

3 Chief of the High Energy Laser Controls and Integration Directorate at the Naval Surface Warfare Center Dahlgren Division, Virgin.

capacidad generada por la planta y la necesaria en potencia que debe entregar el láser, esa relación actualmente se encuentra 3 a 1, al mejorar estos inconvenientes, los avances fueron en crecimiento, una de las razones por las que fueron instalados en buques fue justamente el suministro de energía, pero actualmente las plataformas en donde se los coloca son variadas, en camiones, helicópteros y hasta se encuentran sobre UAVs.

Mientras que las armas antiaéreas y de defensa antimisiles tradicionales pueden disparar a los drones, eso se vuelve poco práctico cuando los enemigos pueden darse el lujo de lanzar cientos de ellos a la vez, los sistemas HEL son más eficientes para este tipo de amenazas y permiten cambiar rápidamente de una amenaza a otra.

Estas armas poseen características particulares y distintas, hasta las hoy conocidas:

- > Extremadamente silenciosas e invisibles al ojo humano.
- > No se producen retrocesos al momento del disparo por lo que puede ser instalado en un contenedor u otra plataforma, ya que no necesita dispositivos especiales que tengan que soportar el retroceso.
- > Sumamente precisas por su trayectoria perfectamente recta y puntual. Es por ello que prescindirá de todo tipo de cálculo introduciendo las variables de la balística interior y exterior para su trayectoria y predicción del punto futuro de impacto (para blancos aéreos), como lo requieren las armas convencionales.
- > Ilimitada cantidad de disparos y económicamente rentable. Dado que no utiliza munición y solo estará limitado por el suministro de la energía, la cual es necesaria en los niveles altos de potencia, solamente cuando se produce el disparo.
- > Duración o permanencia del disparo. La falta de potencia de un láser para atacar un blanco, puede ser suplida eventualmente con el tiempo de exposición del haz sobre este, siempre y cuando se lo permita. A modo de ejemplo, un láser de 50KW durante seis minutos en forma constante, a una distancia de 1000 metros, puede deformar una viga T de acero de 15mm.
- > Escalable en su potencia por el principio de superposición de haces. A similitud al punto anterior, es posible que disparen varias armas láseres al mismo blanco coordinadamente, o bien con similar criterio, más de un láser puede ser montado en el mismo sistema a fin conformar un arma láser de mayor potencia, empleando el principio de superposición de haces.
- > Capacidad de neutralizar gran variedad de amenazas en conflictos convencionales y asimétricos.
- > Efectividad para batir UAVs, misiles cruceros, RAM. Esto dependerán de la potencia entregada por el sistema.
- > Bajo nivel de mantenimiento, bajo costo logístico y número reducido de operadores.

## **SISTEMAS DE ADQUISICIÓN**

Como último tema a tratar se encuentra el de los sensores, indiscutiblemente el sensor por excelencia es el Radar, un tema importante para querer desarrollar, pero como esta no es la intención, sino enmarcarlo en un todo, como parte del sistema de defensa aérea de baja cota. Los radares se clasifican según diferentes concepciones, según el número de antenas empleadas, del tipo de blancos a detectar, los datos que proporciona, la finalidad que persigue, las formas de ondas empleadas, etc.

Los de interés para la defensa aérea son los de alerta temprana o vigilancia, de estos hay con diferentes alcances, serán los primeros en detectar al blanco y alertar a los radares de las armas, los de exploración para luego pasarlo al radar de seguimiento. Los que se utilizan en la capa más baja son los de exploración y seguimiento. Sin querer generalizar por la cantidad de sistemas de

radar que existen, en la actualidad los radares de las armas, son radares tácticos 3D (tridimensionales), que realizan las funciones de búsqueda, detección, adquisición, seguimiento, clasificación e identificación de objetivos aéreos de corto alcance. Algunos de ellos poseen dos tipos de antenas: una para exploración y otra para seguimiento, algunos con ambas frecuencias iguales y otros diferentes. La mayoría de este tipo de radares trabaja en banda X (5,2 -10,9 GHz); en la actualidad, estos radares se encuentran diseñados para lograr un alto rendimiento, contra el gran espectro de amenazas aéreas, desde objetivos convencionales, aviones de combate y helicópteros, hasta objetos de muy baja RSC, entre los que se encuentran los RAM, misiles cruceros, UCAVs, munición inteligente y los objetos furtivos LSS, todos ellos ya nombrados durante el trabajo.

Estos sistemas de control tiro poseen la capacidad de adquirir diferentes blancos en forma simultánea, asignándoselos a las distintas armas ya que tienen la versatilidad de ser configurados con distintos tipos de armamentos.

Otro sistema empleado es un conjunto electrónico, llamado plataformas de sensores múltiples, compuesto por cámara CCD de visión diurna, una cámara de imagen térmica y un telémetro láser, estos conforman un sistema que puede ser adosado a los radares de control tiro (la mayoría los tiene), para trabajar en forma complementaria, o sobre un gimbal estabilizado y con movimiento en los 360°, lo que le permite operar como un sistema de solo vigilancia o integrando independientemente un sistema de control tiro, sin el uso de un radar.

Los sistemas acústicos también son una opción, existen aquellos que poseen varios micrófonos dispuestos en los 360°, y con la electrónica asociada, que realiza el correspondiente análisis de señales, pueden determinar la firma acústica de las armas que disparan y determinan cuál es el tipo de arma y desde qué dirección ha efectuado el disparo.

Los sensores vistos, radares, electrópticos y acústicos pueden ser montados en diferentes plataformas, pero hay que saber que, en los objetivos fijos a defender, la altura será importante, pudiendo ser colocados en mástiles elevados o sobre globos aerostáticos, los cuales son de gran utilidad. Desde ya, en estos objetivos o los objetivos MOOTW, no se deben descartar las tecnologías de video vigilancia, las cuales están bien desarrolladas, con cámaras con potentes objetivos diurnos y nocturnos, zoom variable, tecnología de sensores IR, procesamiento de imágenes, iluminación IR, grabación y reproducción de períodos de tiempo, etc.

Debido al uso indiscriminado de drones, estos se han convertido en amenazas permanentes e imprevisibles, es por ello que se han desarrollado sistemas que realizan una cobertura especialmente contra drones, tanto en el ámbito civil como militar. Estos son usados para aeropuertos ya que se han convertido en un verdadero problema para los aviones comerciales, para cubrir reuniones de autoridades VIP, estadios, etc. Estos consisten en sistemas de sensores integrados, similares a lo visto anteriormente, medios electrópticos, medios acústicos, radares de detección de baja RCS, medios de RF, sistemas CCTV, todos ellos trabajan coordinados y en conjunto. Cuando los sensores detectan alguna amenaza, se dispara una alarma que activa la emisión en forma automática de una señal de interferencia electrónica o jammer para un amplio espectro de frecuencias, la cual bloquea la transmisión y generalmente hace caer al objeto, siempre y cuando no

FIGURA 17: FIRE CONTROL UNIT (FCU) RADAR DE CONTROL TIRO SKYSHIELD CON SENSORES ELECTRÓPTICO INCORPORADO



posea la opción de que, cortada la recepción, cambia automáticamente al modo “regreso a casa” en forma autónoma, algunos de estos pequeños UAV ya poseen ECCM (Electronic Counter Counter Measures). De acuerdo a las características del objetivo se conforma un mapa de distribución de sensores y antenas emisoras de interferencias. Otra capacidad que algunos sistemas poseen es poder determinar el lugar desde donde es operado a fin de capturar al individuo. Estos no destruyen la amenaza, sino que la misión es neutralizar el acceso a la zona de cobertura. Existe un número importante de empresas que comercializan este equipamiento y otras que brindan el servicio de cobertura de objetivos.

El mismo criterio de mixtura que se utiliza para las armas se debe emplear para los medios de adquisición, la combinación de estos proporciona un mayor porcentaje de seguridad, ya que, al existir cada vez más variedad de amenazas, no es posible adquirir todas ellas con un solo tipo de sensores.

Si bien no se ha mencionado como tema la “Guerra Electrónica” (EW – Electronic Warfare), esta se encuentra inmersa en todos los sistemas y tal es así que el personal que debe operar los sistemas antiaéreos es totalmente consciente de ello, de las ECM (Electronic Counter Measures) activas y pasivas, las ECCM (Electronic Counter Counter Measures) también activas y pasivas, la SIGINT (Signal Intelligence) y ESM (Electronic Support Measure). Toda esta terminología compleja en su concepción y aún más en su aplicación, se amalgama en un todo con la defensa antiaérea, a fin de lograr el éxito de la misión.

FIGURA 18: SISTEMA COMBINADO DE MISILES, CAÑONES Y LASER - RHEINMETALL



## CONCLUSIONES

- > Se ha visto somera y conceptualmente un conjunto de temas disímiles unos con otros, pero que, a su vez, se encuentran íntimamente interrelacionados, a fin de demostrar y comprender la verdadera complejidad que presenta a la hora de realizar la defensa antiaérea de un objetivo vital. La defensa aérea no es privativa de ninguna Fuerza en particular, pero sí debe estar íntimamente coordinada y relacionada por un sistema C4I que las Fuerzas Armadas deben poseer, a fin de conformar un verdadero Sistema Integrado de Defensa Aérea.
- > Las amenazas aéreas ya no se limitan a los aviones, helicópteros y misiles, que se conocían en las guerras convencionales, sino que cada vez aumentan en su tipo, algunas de ellas con las altas velocidades, con bajas RCS y quizás ataques en oleadas masivas, todo esto hace que la concepción de la toma de decisiones en el control tiro de los sistemas antiaéreos se orienta hacia la menor participación humana posible, sumado a los cambios de paradigmas que se debe resolver principalmente con los posibles ataques terroristas.
- > Que una nación defina que no existe hipótesis de conflicto no quiere decir desde ningún punto de vista que no se encuentre preparado con sus Fuerzas Armadas para realizar su autodefensa, ya que la hipótesis de conflicto la define uno, no los otros, porque los otros pueden tener necesidades que uno no posea. Miyamoto Musashi, en su “libro de los cinco anillos”, escrito en 1643, dentro de sus principios dice “*nunca se debe olvidar la posibilidad del desorden, en tiempos de orden*”. Se lo puede interpretar de muchas maneras, pero sabiendo que este fue un guerrero samurai nunca vencido, a hoy diríamos que en tiempos de paz no se debe descartar

la posibilidad de un conflicto, dado que se esperan ataques asimétricos, no convencionales y terroristas por debajo del umbral de la guerra; es por ello que se deben considerar requisitos especiales para el funcionamiento, el mando y el control de una defensa antiaérea.

- > Se reiteró que la capa más baja o de cortas distancias es aquella que está más próxima a los objetivos vitales a defender; por ser la de mayor importancia, deberá ser la que respecto de la cual las Fuerzas Armadas realicen la organización y conformación de sus sistemas de armas, al momento de realizar una planificación para pretender conformar un Sistema Integrado de Defensa Aérea, ya que será el último recurso para la supervivencia ante las variadas amenazas de guerra convencional o asimétrica.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- > Skolnik M. (1990), Radar Handbook – Mac Graw Hill - 2da edición.
- > Glosario de Términos y Definiciones de la OTAN, (2013), Agencia de Normalización de la OTAN.
- > Oerlikon Contraves Defence,(1999), Air Threat.
- > Oerlikon Contraves Defence,(1999), Anti Aircraft Tactics.
- > Oerlikon Contraves Defence, manuales 35mm /Skyguard
- > Bofors missiles Manuales de material.
- > Cocchetti D.(1992.) Apuntes radar.
- > [www.rafael.co.il](http://www.rafael.co.il)
- > [www.saab.com](http://www.saab.com)
- > [www.raytheon.com](http://www.raytheon.com)
- > [www.rheinmetall-defence.com](http://www.rheinmetall-defence.com)
- > [www.radartutorial.eu](http://www.radartutorial.eu)
- > [www.iacit.com.br](http://www.iacit.com.br)
- > [www.ceptm.iue.edu.ar](http://www.ceptm.iue.edu.ar)

(\*) **José Alberto Guglielmo**: Coronel de Artillería (R); Ingeniero en Sistemas de Armas Electrónicas (Instituto Universitario del Ejército / Escuela Superior Técnica); Posgrado en Criptografía y Seguridad Teleinformática (Instituto Universitario del Ejército / Escuela Superior Técnica); Docente Investigador (Ministerio de Educación) Miembro COPITEC. Se desempeñó en la recepción de materiales y proyectos de Defensa Antiaérea con la fábrica Suiza Oerlikon; como Secretario de Investigación de la Escuela Superior Técnica; en el Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa, como Jefe del Departamento de Control Guiado y Simulación, Gerente de Tecnología e Innovación y Director de Proyectos. Docente Universitario de la Facultad de Ingeniería del Ejército (Escuela Superior Técnica) y de la Universidad de Palermo. Participa en proyectos en el Centro de Investigación de Desarrollo de Software del Ejército y Analista del CEPTM "Grl MOSCONI".