

Blindajes y sistemas de protección para vehículos militares y sistemas de armas

Armor and Protective Systems for Military Vehicles and Weapon Systems

Dino Passalacqua Masafierro*
EMGE, Oficial de Enlace en el F.M.S.

Resumen: El presente artículo tiene por objeto dar a conocer los diversos tipos de blindajes y sistemas de protección existentes tanto para vehículos militares como para sistemas de armas, con el objeto de entregar al lector un análisis del estado del arte de lo indicado.

Palabras claves: Vehículos militares – Sistemas de armas – Blindajes pasivos, Blindajes reactivos, Blindajes activos – Carga hueca – Munición HESH – proyectiles de energía cinética

Abstract: The object of the article is to present the different kinds of armours and protection systems for military vehicles and weapon systems, to provide an analysis of the “state of art” of the armour and protection systems.

Key words: Military vehicles – Weapon Systems – Passive armor, Reactive armor, Active armor – Ammunition HEAT – Ammunition HESH – Kinetic energy projectiles

Fecha de recepción: 30 de septiembre de 2015

Fecha de aceptación y versión final: 5 de noviembre de 2015

* Dino Passalacqua Masafierro es Mayor del Ejército de Chile. Ingeniero Politécnico Militar, Ingeniero en Sistemas de Armas, mención Mecánica, Magíster en Sistemas de Armas y Vehículos Militares. Email: dpassalacqua@acapomil.cl

Existen distintas razones para brindar protección a los sistemas de armas y vehículos militares, dentro de estas no se puede concebir hoy una operación militar regular que no contemple la utilización de los blindajes en los medios a emplear en sus operaciones.

Además de la importancia de lo antes señalado, se debe considerar el alto valor de perder vidas humanas, sistemas de armas y vehículos militares de alto costo, con la lógica pérdida de capacidad de la fuerza que es afectada. Por lo anterior, el avance de la tecnología nos permite a diario progresar en innovaciones en cuanto a los diferentes tipos de materiales y los distintos ingenios que brindan mayor supervivencia a los vehículos y a los sistemas de armas.

El campo de batalla está muy expuesto a la tecnología, ya sea con sensores, sistemas de armas guiadas e inteligentes, vehículos no tripulados. Sin embargo, en el tiempo no han variado mucho los elementos fundamentales en la composición de un vehículo de combate, siendo muchas veces extrapolables a ciertos sistemas de armas emblemáticos como es un tanque principal de batalla, siendo estos la potencia de fuego, la movilidad, la protección y el mando y control.

Potencia de fuego: Está definida por la capacidad de efectuar daño en el adversario por medio del armamento principal y secundario que posee el sistema. En este punto es preponderante el calibre, el cañón, el sistema de control de fuego, el tipo de cabeza de guerra y el sistema de obtención de objetivos, entre otros.

Movilidad: Se define su categoría (alta, media o baja movilidad), de acuerdo con la potencia del grupo motopropulsor, al peso del vehículo y el sistema de rodadura que lo compone, permitiéndole así desplazarse a velocidades adecuadas en un terreno determinado, siendo menos vulnerable a los efectos de los sistemas de armas adversarios.

Protección: Está definida como la capacidad de protección que posee el vehículo o sistema de sobrevivir debido al impacto de un proyectil adversario o fraticida, manteniendo principalmente a la tripulación con vida y, de ser posible, al sistema o vehículo bajo condición de operación, pudiendo incluso mantenerse en combate con ciertas restricciones. Dicha capacidad de protección está dada por los diferentes tipos de blindaje (pasivo, reactivo o sistema de protección activo) y por las diferentes medidas de encubrimiento que le permiten ocultarse de la observación del adversario, a fin de no ser alcanzados por el fuego enemigo, como gases multispectrales, entre otros.

Mando y control: Está dado por los sistemas de comunicaciones, mando y control, que le permiten al sistema o vehículo mantenerse enlazado, recibiendo órdenes de fuego, de apoyo e instrucciones respecto de la función específica que debe cumplir dentro del órgano de maniobras, además de ser capaz de procesar información del campo de batalla donde se desempeña.

Figura 1
Elementos fundamentales en la composición de un vehículo de combate



I. Protección pasiva

Este tipo de protección está dado por la barrera física entregada por un material definido, buscando evitar la penetración y efectos del impacto de un proyectil o esquirlas adversarias o fratricidas.

37

Clasificación de blindajes pasivos de acuerdo con el material empleado:

A. Blindajes metálicos

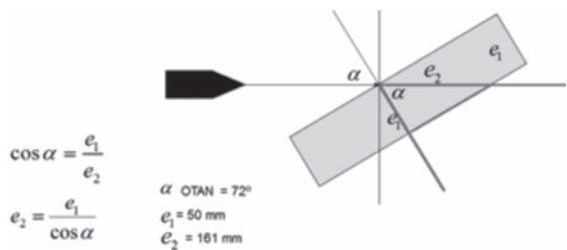
Existen tres categorías de blindajes metálicos: acero, aluminio y titanio; todos ellos convenientemente aleados, después de tratamientos térmicos y de otros procesos técnicos, sirven de material de blindaje contra determinadas amenazas.

Figura 2
Clasificación de los blindajes metálicos



La penetración del blindaje no solo depende del material que lo compone, sino que además depende del ángulo de incidencia respecto del impacto del proyectil.

Figura 3
Importancia del ángulo de incidencia entre el proyectil y la carcasa del vehículo o sistema de armas.

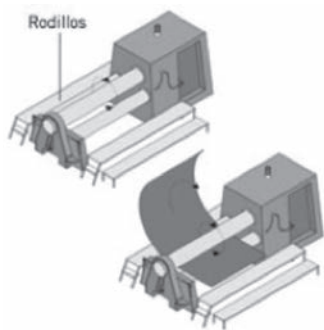


- α = Ángulo OTAN definido en 72° .
- e_1 = Espesor original del blindaje.
- e_2 = Espesor resultante con ángulo “ α ” de incidencia.

El continuo avance tecnológico en la investigación, el diseño y la producción de las cabezas de guerra obligan a aumentar los espesores de los blindajes de los vehículos de combate, disminuyendo los espacios y degradando las características de movilidad de los sistemas. Por lo anterior, la tendencia es cada vez mayor al empleo de materiales compuestos en forma de láminas alternas de materiales metálicos y cerámicos junto con espacios vacíos, además de protecciones activas y reactivas delante del blindaje pasivo del vehículo.

Los blindajes metálicos se fabrican mediante laminación, forja o fundición. La laminación y forja se utilizan para obtener planchas y la fundición para obtener piezas con formas especiales.

Figura 4
Proceso de manufactura del blindaje RHA (Rolled Homogeneous Armour).



En muchos casos el blindaje después de forjado o laminado se trata de distintas formas para obtener propiedades balísticas adicionales como los blindajes con superficie endurecida. Las planchas de acero homogéneo se emplean solas o bien varias planchas en capas superpuestas espaciadas.

Una plancha de blindaje homogénea se puede fijar a una superficie a proteger mediante pernos, remaches o soldadura lateral, soldadura por puntos o de relleno.

Debido a la gran variedad de amenazas a las que se tiene que enfrentar un diseñador, es difícil que un solo tipo de blindaje metálico pueda superarlas todas ellas de forma eficaz.

1. Blindajes de acero

Lo más apropiado cuando se empieza a tratar con blindajes metálicos es estudiar el acero de blindaje homogéneo laminado, comúnmente denominado por sus siglas RHA (Rolled Homogeneous Armour). Este material se introdujo hacia 1920 como plancha de blindaje para los primeros carros de combate desarrollados por Estados Unidos.

Durante la Segunda Guerra Mundial se produjo un cambio importante en el acero de blindaje homogéneo laminado, debido principalmente a la necesidad impuesta por el conflicto de ahorrar elementos de aleación.

La norma actual MIL-A-12560 (H) describe tres clases de blindajes: clase 1, clase 2 y clase 3. El clase 1 tiene un tratamiento térmico adecuado para obtener la máxima resistencia a la penetración; el clase 2 la máxima resistencia a las ondas de choque, y el clase 3 es para las pruebas.

El acero de blindaje homogéneo laminado de la MIL-A clase 3 se ha convertido en el material de blindaje de referencia, es decir, que se emplea para comparar las mejoras en las prestaciones de nuevos materiales candidatos. De igual forma se utiliza como material de referencia para la evaluación de municiones perforantes. El RHA es un acero de resistencia de baja aleación susceptible de temple en aceite y con razonable tenacidad y soldabilidad.

2. Blindajes de aluminio

El aluminio es un metal muy utilizado en blindajes, para ello se han desarrollado aleaciones que mejoran sus propiedades mecánicas. Este es utilizado principalmente en sistemas que requieren bajo peso, como aeronaves y vehículos de combate livianos, logísticos y de transporte de tropas. Posee buenas prestaciones para la manufactura, a la soldabilidad, al agrietamiento y la corrosión. Las aleaciones mayormente utilizadas en blindajes contienen cobre, manganeso, titanio, vanadio, circonio y magnesio.

3. Blindajes de titanio

El titanio es un metal más liviano y resistente que el acero, sin embargo su manufactura y tratamiento es más complejo, lo que limita su empleo.

Presenta muy buenas prestaciones a la corrosión y aleado con materiales convenientes presenta muy buenas características en chapas de protección. Por lo anterior, es ampliamente utilizado en blindajes de aeronaves, vehículos y sistemas de armas.

B. Blindajes de fibras y materiales compuestos o poliméricos

El primer empleo fue el nylon en 1930, con este material se hicieron al principio de la Segunda Guerra Mundial chalecos y cortinas antifrangmentos para aviones. Otra fibra que se desarrolló (1950) fue el polipropileno, con peores resultados que el nylon. Ya en 1965 se desarrolla el kevlar, existiendo el k-29 para refuerzo de chalecos antibala y el k-49 en materiales compuestos, cascos, aeronáutica, etcétera.

Las características que deben poseer estos materiales son la alta resistencia a la tracción (1,3-2 GPa), poseer gran tenacidad, lo que implica un número de Young elevado, ductilidad y deformación a la rotura (4% - 8%), baja densidad, resistente al calor, con puntos de fusión mayores a los 225 °C.

C. Blindajes flexibles y laminados de aramida

La fibra de aramida para aplicaciones protectoras se puede utilizar en forma de paquetes flexibles formados por varias capas de tela o bien como laminados rígidos dentro de una matriz de resina.

Los paquetes flexibles de telas son más efectivos en la detención de proyectiles que los laminados rígidos, sobre todo para proyectiles de núcleo blando.

Estas fibras se fabrican por un proceso de extrusión e hilado. La fibra obtenida se enrolla en un instrumento adecuado y luego se somete a un tratamiento de estirado y trefilado que incrementa las propiedades de resistencia y rigidez.

Las fibras no se pueden teñir y se degradan por la acción de los rayos UV. El mayor inconveniente es la disminución de la resistencia mecánica y por consiguiente la resistencia balística con la humedad, hasta 40% puede disminuir la resistencia balística frente a un proyectil 5,56 mm con punta ojival, suponiéndose que el agua actúa como lubricante que ayuda al paso del proyectil entre el hilo y los tejidos.

La mayoría de los anteriores inconvenientes se solucionan embutiendo la fibra en una matriz de resina que lo aísla de la luz, humedad y agentes químicos.

D. Blindajes compuestos con materiales cerámicos

Los primeros trabajos acerca de blindajes cerámicos se publicaron en 1978. El concepto de material cerámico, se refiere a material inorgánico, no metal, frágil, duro, rígido y con una resistencia a la compresión mucho mayor que a la tracción.

Se sabe que las cerámicas son muy eficaces como primer componente de los blindajes ligeros compuestos. Consiguen una reducción en la capacidad de perforación de los proyectiles de núcleo duro a velocidades normales de impacto, de tal modo que los componentes sucesivos de blindaje puedan detener el proyectil con espesores mucho menores que los necesarios en caso de no existir la cerámica anterior.

Para que este tipo de blindajes sean efectivos deben pegarse muy firmemente al blindaje posterior, el que de igual forma debe ser un material muy rígido.

Los materiales cerámicos se dañan gravemente cuando se someten a cargas de compresión muy concentradas. Se sabe que en la zona impactada el material fracturado tiene una disposición cónica que se prolonga hacia la intercara entre la cerámica y la placa de blindaje principal.

En esta zona la cerámica se rompe por las cargas de tracción resultantes de la reflexión en la intercara cerámica de ondas de compresión generadas por el impacto.

Posteriormente se desarrolla delante del proyectil una zona cónica de material pulverizado y como consecuencia de la interacción de ambos, se crea un proceso de erosión del proyectil.

Aunque la energía consumida para fracturar la placa cerámica constituye una pequeña parte de energía del impacto, el desarrollo de una zona de material fracturado delante del proyectil parece tener una gran importancia en su detención.

Figura 5
Funcionamiento del blindaje cerámico



Si bien las cerámicas tienen buenas características en trabajos de resistencia al impacto, tienen en su contra la fragilidad y su difícil mecanización. Lo anterior obliga a utilizarlas con un soporte metálico, al que deben estar íntimamente ligados para que el mecanismo de erosión pueda funcionar.

E. Blindajes transparentes

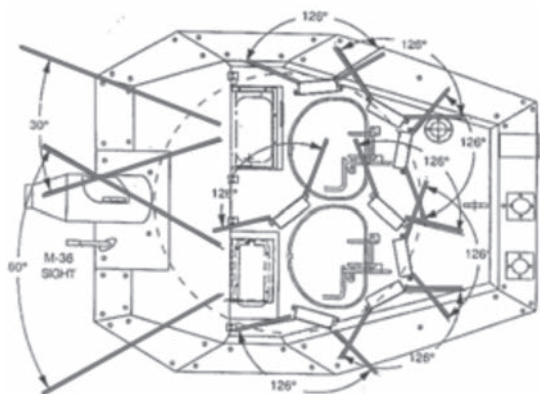
En términos de propiedades de protección, la energía que absorben los elementos de plástico es en general mayor que la absorbida por el vidrio. De igual forma, los fragmentos de vidrio que se forman en el impacto son peligrosos.

Por esta razón, en los laminados transparentes de vidrio las láminas de vidrio son las primeras con las que incide el proyectil o fragmento, y la lámina de plástico se coloca detrás del vidrio y nunca al revés.

En el mercado existen laminados de vidrio-policarbonato con densidades superficiales que van de $2,4 \text{ kg/m}^2$ hasta $68,4 \text{ kg/m}^2$ y que se emplean como protección de armas ligeras de hasta $7,62 \text{ mm}$.

Figura 6

Disposición de los elementos de observación (blindajes transparentes) en la torre de un MBT



F. Blindajes tipo *slat*

Estos blindajes se han introducido al campo de batalla en los últimos años como una forma de destruir, inutilizar y reducir el efecto de las cargas huecas y específicamente de los RPG que son proyectiles que impactan sobre los vehículos a relativa baja velocidad. En caso de impactar la reja, se destruyen inutilizándolos o se activan anticipadamente, logrando una mayor distancia *stand off* o de formación del jet de

la carga hueca, no logrando el efecto deseado sobre la carcasa del vehículo, evitando así la penetración y las bajas correspondientes de personal, equipo y el vehículo en sí.

Figura 7
Tanque Leopard 2A4 con sistema de protección *slat*



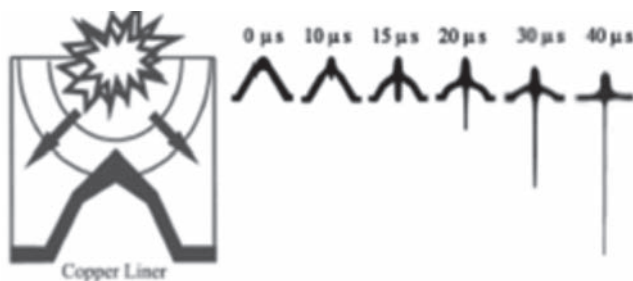
II. Protección reactiva

Este tipo de blindajes están concebidos para anular los efectos perforantes de la carga hueca.

Antes de avanzar en este tema, es preciso definir qué es la carga hueca o explosivo formado.

Básicamente está formada por un cono o *liner*, generalmente de cobre, que contiene una masa cilíndrica de explosivo. Al impactar sobre un blanco, el sistema de espoleta hace detonar el explosivo generando una onda de detonación de elevadísima presión, fundiendo el cono, transformándolo en un proyectil de gran velocidad denominado *jet*.

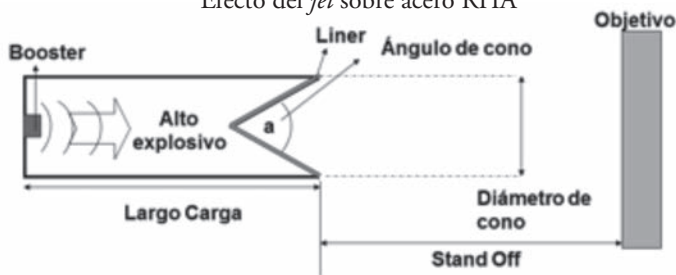
Figura 8
Deformación progresiva del *jet*



Una vez formado el *jet*, se caracteriza por tener en su cabeza una velocidad muy superior a la de la cola (de 2 a 8 veces mayor), lo que ocasiona el continuo alargamiento, hasta que la ductilidad del material y los defectos de este lo permiten, y en este momento surgen estriaciones y posteriores roturas que fragmentan el *jet*.

Para conseguir un alto nivel de perforación, la relación longitud/diámetro debe ser lo mayor posible, y no debe presentar ningún tipo de desalineaciones, ni defectos (dispersión, volteo y curvatura) provenientes del proceso de conformado del material del cono.

Figura 9
Efecto del *jet* sobre acero RHA



44 El poder de penetración de una carga hueca depende en forma directa del *stand off*, diámetro de cono y de la masa del explosivo, así como del material y la geometría de la cabeza de guerra.

Figura 10
Elementos fundamentales de un proyectil de carga hueca

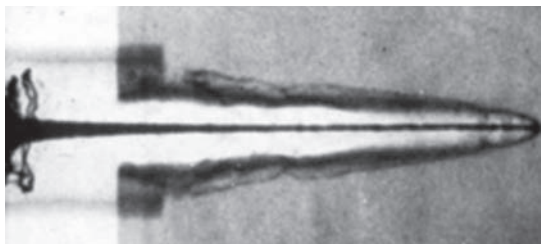
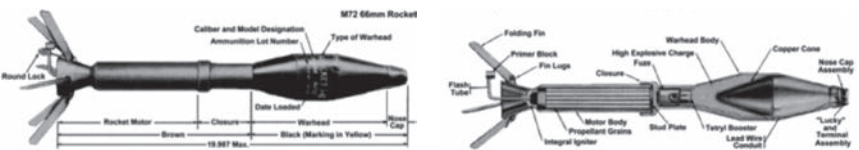


Figura 11
Esquematación proyectil RPG



La perforación de un *jet* en acero homogéneo puede estimarse por medio de las siguientes aproximaciones:

La longitud de perforación es 4 a 6 veces el calibre de la carga que produjo el *jet*.

El diseño de la ojiva de la carga hueca no permite distanciar el punto de la base del cono (distancia *stand off*) hasta su valor óptimo. Normalmente el óptimo se sitúa de 3 a 5 calibres, permitiendo el diseño un *stand off* de 2-3 calibres.

Hoy los diseños y tecnologías asociados al proceso de producción de este tipo de cabezas de guerra permiten penetración en blindajes de grosores de hasta 10 veces el diámetro de cono del proyectil.

La formación estándar del *jet* está basada en consideraciones hidrodinámicas, la resistencia mecánica del material que compone el *liner* es superada producto de la presión de detonación (aprox. 35 GPa), convirtiendo al metal (*liner*) en un líquido.

Es importante señalar que la velocidad que logra el *liner* en estado líquido es de 10.000 m/s.

El blindaje reactivo propiamente tal

Su aparición ha sido ampliamente conocida a partir de los trabajos desarrollados por Israel, sin embargo el fundamento del mismo es conocido hacia 1972 por investigaciones desarrolladas en Alemania.

En dicha fecha se publicó el mecanismo de actuación de los blindajes reactivos, basados en un “sándwich de explosivo”, como se muestra en la Figura 12.

Consiste en dos placas de blindaje entre las que se halla confinado un explosivo, busca una posición lo más oblicua posible respecto de la posición del *jet* de la carga hueca.

Figura 12
Funcionamiento del blindaje reactivo bajo el efecto de la carga hueca



Figura 13
Pruebas de blindaje reactivo efectuadas por alumnos de la ACAPOMIL

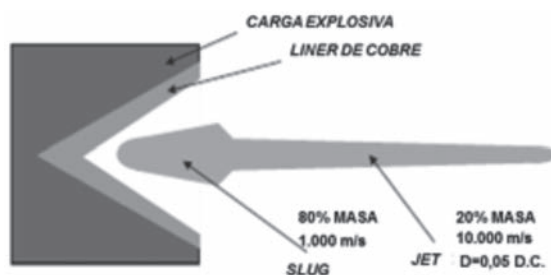


Con mayor precisión se puede decir que la suma de los siguientes tres efectos son los que logran detener la penetración de la carga hueca:

1. Las altísimas presiones alcanzadas durante el estado de detonación del explosivo, mientras es atravesado el *jet*, provocando perturbaciones y velocidades normales a la dirección del movimiento.
2. El movimiento oblicuo de las planchas del sándwich interceptando el *jet* de forma continua con material no perforado.
3. La propia cantidad de movimiento de dichas planchas que actúa durante el choque contra las sucesivas porciones del *jet*.

Suponiendo un *stand off* óptimo, las velocidades máximas del *jet* suelen oscilar entre 6.000 y 10.000 m/s, con un valor típico de 8.000 m/s para municiones de armas portátiles contra carros y de 10.000 m/s para cabezas de guerra de misiles contra carros.

Figura 14
Características del *jet* formado por el *liner* de cobre



El explosivo que forma parte del sándwich de blindaje reactivo debe cumplir varias condiciones que posibiliten su buen funcionamiento y su insensibilidad frente a otros ataques que no sean de carga hueca que han de anular, siendo estas las siguientes:

- Insensibilidad ante fuego exterior.
- Insensibilidad a la detonación y al calor que puede producir un impacto de energía cinética.
- Insensibilidad a la detonación por simpatía de paneles. Efectos secundarios producidos por la detonación de un blindaje reactivo.

Figura 15

Tanque T-80 ruso, con placas de blindaje reactivo instaladas en la torre y el chasis



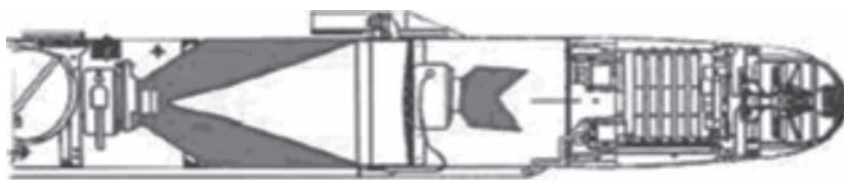
También existen efectos secundarios producidos por la detonación de un blindaje reactivo:

- Efectos en las inmediaciones del vehículo.
- Efectos en el exterior del vehículo.
- Efectos en el interior del vehículo.

Otras alternativas de empleo de proyectiles de carga hueca es mediante el uso de misiles denominados tipo Tándem, los que consideran una cabeza de guerra con doble carga hueca en su configuración, como se aprecia en la siguiente figura.

Figura 16

Misil con cabeza de guerra en tándem



La primera carga hueca (precursora) es pequeña, se encuentra ubicada en la parte delantera del misil y tiene la finalidad de activar la medida de protección que pudiera tener el MBT. Inmediatamente con diferencia de milisegundos se activa la carga hueca principal, que se encuentra en la parte posterior del misil, la que produce el máximo daño sobre el blindaje, ya que se encuentra sin protección adicional y probablemente con parte de su blindaje principal dañado.

III. Sistema de protección activo

Los sistemas de protección activos son los sistemas de protección más modernos existentes. Básicamente son sistemas que identifican la dirección, velocidad y tipo de amenaza, mediante un radar, con el fin de activar una contramedida que es capaz de interceptar al proyectil (amenaza) destruyéndolo o variando su trayectoria evitando así su impacto y consecuente destrucción del sistema.

Los sistemas de protección activa se dividen en dos grandes grupos, los *Hard Kill* y los *Soft Kill*.

A. *Hard Kill*

Este tipo de sistemas se caracteriza por destruir a la amenaza antes de impactar al vehículo o sistema de armas, a una distancia de seguridad que asegura la supervivencia del sistema, permitiéndole seguir operando en combate.

Figura 17

Sistema de protección activa del tipo *Hard Kill*



B. *Soft Kill*

Este tipo de sistemas se caracteriza por desviar a la amenaza antes de impactar al vehículo o sistema de armas, ya sea por medio de intersección del sistema de guiado láser del misil o por medio del empleo de una cortina de gases multispectrales que afectan al sistema de guiado del misil. Es factible señalar que estos sistemas *Soft Kill* no son efectivos para todos los sistemas de guiado, tales como los de hilo guiado o CLOS (Command Line Of Sight).

Figura 18
Sistema de protección activa del tipo *Soft Kill*



Conclusiones

Como se puede apreciar en el presente artículo, existen tres grandes sistemas de protección de vehículos militares y sistemas de armas; sistemas pasivos, reactivos y activos.

Cada uno de los tres tipos de blindajes o sistemas de protección son eficientes en diferentes tipos de amenazas, por lo que es fundamental antes de adquirir un sistema de protección o un tipo de blindaje conocer la amenaza que se debe enfrentar.

No se deben confundir los sistemas de protección o blindaje con las medidas de encubrimiento, que evitan efectuar una puntería efectiva sobre el vehículo o sistema.

Los sistemas de protección activos son sistemas que no tienen 100% de efectividad, por lo que en caso de efectuar un proyecto para adquirir uno de estos sistemas se debe estudiar muy a fondo el desarrollo del sistema y efectuar todas las pruebas necesarias que aseguren la confiabilidad real del sistema.

Bibliografía

Cranfield University, *Ammunition Technology*, volumen 1, The ammunition systems & explosives technology unit, 1996.

Cranfield University, *Ammunition Technology*, volumen 2, War, 2005.