

4.2

Vigilancia tecnológica sobre munición guiada para armas de apoyo de fuego de artillería y morteros

Por el Vigía Tecnológico: Teniente Primero Infantería Fernando Daniel Quinodoz*

Munición guiada para armas de apoyo de fuego de artillería y morteros

Autor: Teniente Primero Infantería Fernando Daniel Quinodoz.
Alumno de segundo año de Ingeniería Mecánica (Especialidad Armamentos)

RESUMEN

El daño colateral, los costos de la munición, los problemas logísticos y la acumulación de municiones no guiadas en los inventarios han promovido el desarrollo de sistemas de apoyo de fuego de Artillería G-RAMM (*Guided – Rocket Artillery Mortar and Missiles*), los que han evidenciado un crecimiento notable en los últimos diez años; se puede observar incluso que se priorizan importantes asignaciones presupuestarias frente a otros sistemas guiados de largo alcance.

El presente trabajo de investigación se refiere a la “Munición Guiada para armas de apoyo de fuego de Artillería y Morteros”. Se realiza una revisión histórica de los desarrollos en este campo, su evolución y el estado del arte alcanzado en la actualidad. Se describen conceptualmente las principales tecnologías desarrolladas y aplicadas a los proyectiles guiados, su funcionamiento, clasificación y su evolución en los últimos treinta años.

Se presentan también aquellos programas y proyectos que resultan más representativos e importantes para cada tipo de tecnología y su grado de avance a la fecha. Algunos de ellos fueron recientemente probados con éxito en combate, mientras que el resto se encuentra ya en producción o lo estará a partir del próximo año.

Se espera que el trabajo permita al lector vislumbrar las tendencias generales de este tipo de tecnología en el corto y mediano plazo. Es conveniente destacar que tener una prospectiva errónea en este aspecto, o directamente no tenerla, puede provocar el grave error de incurricular en el desarrollo o adquisición de tecnologías que resulten obsoletas, aún antes de ser

utilizadas; e incluso, no contar con la capacidad de brindar una respuesta desde el punto de vista doctrinario, táctico y técnico en el nivel que corresponda, frente a un oponente que las posea y utilice.

1.

INTRODUCCIÓN

El empleo de las armas de tiro indirecto se remonta a los primeros conflictos armados conocidos, su evolución tecnológica ha ido modificando no sólo las tácticas utilizadas por los ejércitos de diferentes civilizaciones, sino que también han marcado los rumbos de la historia a través del resultado de varias guerras. Se puede nombrar así cronológicamente al arco y flecha en la edad antigua, las catapultas romanas, la pólvora y su empleo en los cañones otomanos que hicieron caer los milenarios muros de Constantinopla, el obús en las guerras napoleónicas, el ánima rayada y los cañones de acero en las guerras prusianas, los cartuchos con vaina y los primeros cañones con amortiguación de retroceso durante la Primera Guerra Mundial, la aparición del mortero como un arma de tiro indirecto para el apoyo cercano de la Infantería, el mejoramiento de los sistemas de adquisición de blancos y procesamiento de los datos de tiro por medio del cálculo de la trayectoria, provistos por sistemas computarizados desde la Segunda Guerra Mundial y las sucesivas generaciones de cohertería y misiles. Cada una de estas innovaciones tecnológicas fue el resultado de la búsqueda de mayor letalidad, alcance y precisión sobre los blancos a batir.

Durante el siglo XX, y principalmente durante la carrera armamentística producto de la Guerra Fría, las grandes innovaciones tecnológicas de las armas de tiro indirecto se orientaron fundamentalmente a desarrollos en las áreas de alcance, precisión y letalidad. En particular, en lo referido a la precisión, los mayores avances se produjeron en sistemas de armas aire-tierra, y en sistemas de armas tierra-tierra, de largo alcance para llegar a objetivos estratégicos. En lo que respecta a la Artillería de Campaña y morteros, la precisión se mantuvo casi inalterable desde la Segunda Guerra Mundial hasta los últimos conflictos armados.

Si bien tanto los alemanes como los aliados (Estados Unidos y Reino Unido) intentaron desarrollar tecnología de guiado para sus proyectiles aéreos durante la Segunda Guerra Mundial, fue durante la Guerra de Vietnam que se utilizaron con éxito las primeras armas de guiado láser a través de bombas aerolanzables. Surge así un primer concepto de munición de precisión guiada (PGM): *“arma que utiliza un detector de ondas electromagnéticas reflejadas en un objetivo o punto de referencia y, a través del procesamiento de esta información, establece comandos de guiado para un sistema de control que modifica la trayectoria del arma guiándola hacia el objetivo”*¹²⁴. Todo sistema de armas, además de contar con movilidad, poder de destrucción y alcance, debe ser capaz de impactar o afectar el objetivo con precisión. Las municiones de precisión guiada en su evolución *“intentaron combinar todos esos atributos en una única arma. Las actuales familias de municiones de precisión guiada y sus plataformas de tierra, mar y aire tienen todo esto y un poco más”*¹²⁵.

Durante la Primera Guerra de Irak (1991) uno de los problemas que encontró la Fuerza Aérea de Estados Unidos para emplear las municiones de precisión guiada por láser fue ocasionado por las frecuentes tormentas de arena; en estas condiciones las bombas aerolanzables

124. DOD Dictionary of Military and Associated terms [Diccionario de términos militares y relacionados]. (2002), Publicación Conjunta Ministerio de Defensa USA, JP1-02.

125. Chand N., (2014). *Bull's Eye with Precision Guidance [En el blanco con guía de precisión]*. Scholar Warrior, pág 98.

no eran efectivas, ya que no funcionaba correctamente el sistema de guiado. Con el desarrollo de los sistemas satelitales de posicionamiento, navegación y sincronización (PNT¹²⁶) durante la década de 1980, surge un nuevo modo de guiado para dichas municiones, el sistema integrado GPS/INS (*Inertial Navigation System*). Estos sistemas de PNT incluyen actualmente el conocido GPS (Estados Unidos), el GLONASS (Rusia), Beidou (China), y los proyectos IRNSS (India) y GALILEO (Unión Europea). Fue así que, durante la década de 1990, se desarrollaron municiones de precisión guiada que no necesitan de una onda electromagnética reflejada en el objetivo para adquirirlo y alcanzarlo; surgieron las famosas *Joint Direct Attack Munition*. Esta munición consiste básicamente en un kit que, colocado en la cola de una bomba no guiada, la transforma en una munición inteligente. Le provee un guiado GPS/INS con un error circular probable (CEP¹²⁷) de -13 metros en modo GPS/INS o -30 metros en modo INS (en caso de perderse la señal de GPS por interferencia).

De esta manera, durante la Operación Libertad Duradera (Irak -2003), la Fuerza Aérea de Estados Unidos contaba ya con un sistema todo tiempo, kits LGB y JDAM que, según las condiciones meteorológicas y el tipo de objetivo, le permitía optar por uno de los dos sistemas. A partir del año 2008, la principal proveedora del kit LGB, Raytheon Missile Systems, presentaba su tercera generación; el *Paveway III* al que le adhirió el guiado GPS/INS. Por otro lado, Boeing, responsable del kit JDAM, sacaba al mercado en 2012 su Laser JDAM, incluyéndole el sistema de guiado láser al sistema de guiado GPS/INS. En la última década, estos kits que permitían transformar las *dumb bombs* o bombas no guiadas en *smart bombs* reemplazaron por completo a aquellas municiones de precisión guiada que se construían originalmente como tales, reduciendo considerablemente los costos al aprovechar el gran stock de bombas no guiadas disponibles.

Para diferenciar entre corto y largo alcance de un sistema con munición de precisión guiada se establece como criterio la “distancia existente entre el objetivo y su sistema de adquisición de blancos y control de fuego”. La eficiencia de los sistemas de armas de largo alcance depende de la superioridad relativa obtenida en el denominado “entorno de batalla” brindado por los apoyos de sistemas satelitales, aeronaves tipo JTARS (*Joint Surveillance Target Attack Radar System*), sistemas de C4ISTAR (Comando, Control, Comunicaciones, Computadoras, Inteligencia, Vigilancia y Adquisición de blancos) que garanticen la conducción de las operaciones de apoyo de fuego “todo tiempo”. Entre estos están los UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) de reconocimiento y ataque, guerra electrónica, superioridad aérea, entre otros.

Durante la Guerra del Golfo (1991- Operación Tormenta del Desierto), los observadores militares soviéticos concluyeron que “*por primera vez se integraban con éxito los conceptos de control, comunicaciones, reconocimiento, guerra electrónica y la conducción de los fuegos de apoyo como un todo*”¹²⁸, destacando que si bien las fuerzas iraquíes contaban con modernos y numerosos sistemas de fuego, tanto aéreos como terrestres, al no contar con superioridad en el entorno de batalla, sus sistemas disparaban a ciegas la mayor parte del tiempo. La diferencia se acentuó aún más durante la segunda Guerra de Irak. De la integración de las municiones de precisión guiada de largo alcance con un entorno de batalla adecuado surge el concepto de “*reconnaissance strike*” (RS) que permite batir blancos en tiempo real con municiones de largo alcance.

126. *Pointing, Navigation, Timing*.

127. Error circular probable. *Circular Error Probability*

128. *Soviet Analysis of Operation Desert Storm and Operation Desert Shield [Análisis soviético de la operación Tormenta del desierto y la operación Escudo del desierto]*, (1991), Defense Intelligence Agency, pág. 32.

La complejidad en la implementación de este entorno de batalla y el elevadísimo presupuesto que implica su tecnología motivaron que sean pocas las potencias capaces de contar con él, siendo la principal de ellas Estados Unidos junto a los países de la OTAN, Rusia y China. Por otro lado, son estas potencias las que comenzaron a desarrollar la tecnología necesaria para contrarrestar el entorno de batalla de sus oponentes de manera de negarles el uso eficiente de sus sistemas de municiones de precisión guiada. Estas capacidades son las llamadas A2/AD (*Anti Access /Area Denial*), que crean zonas “no-go” al oponente mediante sistemas de contramedidas electrónicas y de fuego, tales como radares OVH (*over-the-horizon*), misiles tierra-aire (SAM) de intercepción, submarinos, armas cinéticas anti satelitales (*hit-to-kill*), sistemas de interferencia por radiofrecuencia, armas láser (LWS) anti misiles y vehículos aéreos no tripulados, entre otros. Sin embargo, estos sistemas que proveen capacidades A2/AD son ineficientes frente a algunos sistemas PGM de corto alcance utilizados por plataformas de tiro de Apoyo de Fuego en el nivel táctico inferior: cañones de artillería de campaña, morteros y lanzadores de cohetes, y misiles de artillería.

El daño colateral, los problemas logísticos, los costos de munición, la acumulación de municiones no guiadas en los inventarios y los avances en las capacidades de A2/AD de varios países promovieron el desarrollo de sistemas G-RAMM (*Guided – Rocket Artillery Mortar and Missiles*) que durante la última década han evidenciado un notable crecimiento y se puede observar que actualmente los países más avanzados priorizan importantes asignaciones presupuestarias en este área, frente a otros sistemas PGM de largo alcance.

En el presente trabajo expondremos con mayor profundidad algunos de los principales proyectos de municiones de precisión guiada de corto alcance, los G-RAMM, con un enfoque fundamentalmente en lo que concierne a proyectiles de artillería y morteros. Se partirá desde las causas que promovieron su desarrollo en el contexto de los conflictos armados del siglo XXI, las tecnologías de control y guiado utilizadas en su concepción, las diferentes tendencias actuales de los principales fabricantes y países que las han comenzado a implementar con éxito en combate.

2.

LA TENDENCIA HACIA EL DESARROLLO Y UTILIZACIÓN DE LOS SISTEMAS G-RAMM

2.1. El daño colateral y el empleo de los sistemas G-RAMM

Fue quizás el concepto de “daño colateral” uno de los principales fundamentos para el desarrollo de la munición guiada. La Fuerza Aérea de Estados Unidos lo define como “*el daño producido sobre aquellos recursos (sean o no militares) que rodean a un objetivo alcanzado por un ataque o acción directa, siendo el objetivo las fuerzas enemigas o instalaciones militares*”¹²⁹. En otras palabras, se entiende como daño colateral a las muertes o heridas producidas a civiles no combatientes y los daños producidos a propiedades o instalaciones civiles no utilizadas con un propósito militar. Los daños producidos en la población civil durante la Segunda Guerra Mundial, que quedaron en evidencia cuando esta terminó, produjeron un impacto profundo en la opinión pública y en numerosos organismos internacionales. Las imágenes de las ciudades devastadas durante la Segunda Guerra Mundial, como Caen, Stalingrado y Berlín fueron el inicio del concepto de daño colateral. En la Guerra de Vietnam, la cercanía de los combates con la población civil, las cámaras de televisión y la opinión pública presionaron a los coman-

129. *Air Force Pamphlet 14-210, USAF Intelligence Targeting Guide [Panfleto de la Fuerza Aérea 14-210, Guía de selección de objetivo de inteligencia de la Fuerza Aérea]. (1998), pág 114.*

dantes para encontrar la manera de reducir los daños colaterales producidos por los bombardeos. Seguramente todos recuerdan la imagen que recorrió el mundo de una niña vietnamita corriendo, con su cuerpo con grandes quemaduras producidas por una bomba incendiaria.

Durante la Operación Tormenta del Desierto (1991) y la Operación Fuerzas Aliadas en Kosovo (1999), los bombardeos de objetivos militares en ciudades se incrementaron y fueron muchos los casos de daños colaterales producidos incluso por el empleo de municiones de precisión guiada. Ya “en 1993 la *Office of Net Assessment (ONA) del Pentágono, pronosticaba correctamente que las guerras de baja intensidad y no convencional se convertirían en la forma más común de los conflictos venideros*”¹³⁰. Durante los últimos quince años, la Guerra de Afganistán contra el régimen talibán, la segunda Guerra de Irak, los conflictos surgidos en Medio Oriente con la Primavera Árabe, la reciente aparición del Estado Islámico (ISIS), el conflicto en Ucrania entre fuerzas rebeldes y fuerzas del estado establecieron una delgada línea entre los no combatientes y combatientes. La tecnología digital y las redes sociales muestran en tiempo real los daños colaterales producidos en estos conflictos. El costo estratégico militar y político de los daños colaterales, llevaron a casi todos los estados participantes a adquirir sistemas con municiones de precisión guiada y también a producirlos.

Los nuevos escenarios de la guerra, junto con el desarrollo de la tecnología de guiado, llevaron a la opción del empleo de la Artillería de Campaña en este tipo de conflictos. Históricamente empleada para brindar apoyo de fuego de zona a las tropas empeñadas en primera línea, la Artillería de Campaña y las armas de tiro indirecto de Infantería se vieron seriamente limitadas para proveer apoyo de fuego cercano en áreas pobladas. Los daños colaterales producidos por el empleo de la Artillería y morteros provienen principalmente de la dispersión a causa de los errores tanto intrínsecos como extrínsecos de la trayectoria: variaciones del viento, temperatura, presión atmosférica, velocidad inicial, pequeñas variaciones en el peso del proyectil, entre otros. Una dispersión normal de los cañones de 155 milímetros de Artillería es de aproximadamente 175 metros de CEP a 20 kilómetros de alcance y de 273 metros a 30 kilómetros es un error de dispersión muy grande para realizar tiro indirecto en un área poblada o una ciudad.

Estas restricciones de la Artillería de Campaña en el nuevo campo de combate motivaron en la última década a que los diferentes ejércitos desarrollaran municiones de precisión guiada para sus cañones de 155 mm. De esa manera, lograban integrar a la Artillería de Campaña los sistemas de apoyo de fuego de precisión. El M712 COPPERHEAD de Estados Unidos y el 30F39 KRASNOPOL con guiado láser de Rusia son los más conocidos y utilizados con esta tecnología. El más moderno es el EXCALIBUR (en sus variantes XM982 y M982) que cuenta con guiado GPS/INS y guiado láser al igual que el italiano VULCANO (155 mm y 127 mm). Estos sistemas de PGM le dieron la capacidad a la Artillería de campaña de obtener valores de CEP de entre 5 y 20 m, aunque con un costo relativamente alto aún, considerando la importancia relativa de ciertos blancos típicos de la Artillería de Campaña.

2.2. Problemas logísticos y movilidad

El concepto de movilidad se ha trasladado también a los sistemas de armas de apoyo de fuego y actualmente se tiende al reemplazo de las plataformas de apoyo de fuego estáticas. La complejidad del campo de combate actual con modernos sistemas de vigilancia y adquisición de blancos junto a sistemas de fuego contrabatería para neutralizar las armas de apoyo de fuego

130. Chand N., (2014). *Bull's Eye with Precision Guidance [En el blanco con guía de precisión]*. Scholar Warrior, pág. 99.

enemigas impulsaron el desarrollo de las “*self propelled guns*”. Podemos nombrar entre los principales y más modernos sistemas al ARCHER L52 (Unión Europea/Suecia), DONAR (Alemania), CEASAR (Francia), K9 Thunder (Corea del Sur), KRAB 155 mm (Polonia), ATMOS (*Autonomous Truck Mounted howitzer System* - Israel), SSPH 1 Primus (*Singapore Self Propelled Howitzer* - Singapur) o el M109A7 PIM (*Paladin Integrated Management* – Estados Unidos). Las principales potencias militares del mundo (los países de la OTAN, Rusia, China) y otros países menores ya poseen la mayor parte de sus sistemas de apoyo de fuego autopropulsados. Además de la movilidad, todos ellos poseen sus propios centros de dirección de fuego computarizado (CDFC) a través de componentes tipo GNPS (*Gun Navigation and Pointing System*) que los integra de manera rápida mediante localización y posicionamiento al sistema de apoyo de fuego centralizado y también les permite la ejecución de misiones de fuego individuales. Algunos de ellos, tales como el M109A7 PALADIN, son un sistema compuesto por dos vehículos el SPH (cañón autopropulsado) y el FAASV (*Field Artillery Ammunition Support Vehicle*) que acompaña al SPH con el reaprovisionamiento de la munición y mantenimiento. El FAASV puede transportar hasta 95 proyectiles de 155 mm, que sumados a los 35 del SPH, le dan una autonomía total de 130 proyectiles. No obstante, el principal problema, aún en los más modernos y efectivos sistemas de apoyo de fuego de Artillería, continúa siendo la logística de transporte y reaprovisionamiento de la munición.¹³¹

FIG. 1: DONAR SISTEMA AGM (CAÑÓN DE ARTILLERÍA MODULAR)



FIG. 2: M109A7 PIM ES EL SISTEMA MÁS MODERNO DE EEUU



La gran movilidad y autonomía de las piezas demanda mayor eficiencia en el empleo de las dotaciones de munición. Para ello, se requiere necesariamente mejorar la precisión. Los desarrollos de las primeras municiones de precisión guiadas para Artillería de Campaña (M712 Copperhead, M982 Excalibur, 30F39 Krasnopol, Vulcano) producían el efecto requerido en el blanco al primer disparo y dejaban en el pasado el concepto del Tiro de registro. Brindan de este modo a los cañones autopropulsados una mayor supervivencia en el campo de combate, aplicando el concepto de “*Shoot and Scoot*” (disparar y huir), a través del máximo aprovechamiento de su movilidad, su sistema autónomo de tiro y su cadencia de fuego.

2.3. Costos y viabilidad de los diferentes sistemas PGM

El costo del kit *Paveway II*, con sólo guiado láser es de alrededor de US\$ 12.000, mientras que el *Paveway III* con el GPS/INS aumenta a US\$ 40.000/70.000. Por otro lado, el sistema

131. Fig. 1, Fig. 2: Fuente: *Army recognition digital magazine*, disponible en <http://www.armyrecognition.com/>

básico JDAM tiene un costo de US\$ 25.000, mientras que el Laser JDAM, alrededor de US\$ 42.000¹³². Es importante remarcar el costo de cada uno de estos sistemas, ya que tienen una precisión y letalidad similar a algunos sistemas de armas de largo alcance, tales como Tomahawk o el JASSM (*Joint Air to Surface Standoff Missile*) con un costo que oscila entre el US\$ 1 M / 1.5 M. Los requerimientos de provisión de las JDAM, en sus dos variantes, por parte de la Fuerza Aérea de Estados Unidos a Boeing, se fueron incrementando en los últimos tres años, con un presupuesto para el 2016 de US\$ 559 M, contra un presupuesto de US\$ 101 M en 2015 y US\$ 210 M en 2014. Por otro lado, los presupuestos para sistemas de largo alcance como el Tomahawk han descendido casi en un 50 por ciento, pasando de un presupuesto de US\$ 343 M a US\$ 210 M¹³³.

JDAM	ACTUAL		ACTUAL		ACTUAL		PRELIMINARY		REQUESTED	
	FY2012 Total	FY2013 Total	FY2014 Total	FY2015 Total	FY2016 Total	QTY	Million \$	QTY	Million \$	
<i>Procurement</i>										
JDAM Kit Purchases	USAF	4,259 127.25	4,678 144.61 10K	250.47	4,333 228.44	12K	559.10			
Total Procurement		4,259 127.25	4,678 144.61 10K	250.47	4,333 228.44	12K	559.10			
RDT&E	USAF	-	-	2.42	2.47					
Total RDT&E		-	-	2.42	2.47					
Total Program Spending		4,259 127.25	4,678 144.61 10K	252.89	4,333 230.91	12K	559.10			

En cuanto a los PGM de Artillería, encontramos un paralelismo respecto de la evolución de las municiones utilizadas por los bombarderos. Si bien esta tecnología se comenzó a desarrollar en los años 90, se utilizaron por primera vez con éxito durante la década pasada. Sin embargo, como se dijo anteriormente, su costo aún continúa siendo elevado para su empleo sobre blancos tradicionales de la Artillería de Campaña y sólo son utilizados en caso de blancos de alto valor (HVT).

Con el objetivo de reducir costos y aprovechar los grandes inventarios de proyectiles de Artillería, el Departamento de Defensa de Estados Unidos ordenó a finales de la década pasada promover proyectos que utilicen el “concepto de modularidad” como los kits JDAM o Paveway, pero que se puedan aplicar a los proyectiles de artillería no guiados. Surgieron así varios proyectos con una concepción similar centrada en la corrección de trayectoria a través de una espoleta “inteligente”, las CCF (*Course Correction Fuze*). Si bien el desarrollo de estos programas llevó más años de lo esperado, se encuentran actualmente en etapa de prueba, como es el caso del PGK (*Precision Guidance Kit*), que puede considerarse como el único, hasta el momento, testeado en combate. El relativo bajo costo y el aprovechamiento de los proyectiles no guiados, hacen viable el uso de estos sistemas PGM por parte de la Artillería de Campaña y Morteros para todo tipo de blancos tácticos.

De esa manera, podemos observar que la tendencia de las PGM se orienta decididamente hacia los kits que transforman proyectiles no guiados en proyectiles “inteligentes”, tanto para las bombas aerolanzables (JDAM y Paveway), como para las espoletas de corrección de trayectoria (CCF), de empleo en la Artillería de Campaña y Morteros. Sin embargo, el resto de los proyectos de PGM de largo alcance (Tomahawk, JASSM) o de Artillería no modulares (Excalibur, Vulcano) aún continúan vigentes y en desarrollo.

132. *Selected Acquisition Report (SAR) of Joint Direct Attack Munition (JDAM), FY16*. (2016), Defense Acquisition Management Information Retrieval (DAMIR), pág. 29.

Eshel, T., *The high cost of precision attack [El alto costo del ataque con precisión]*, (2011), Defense Update Digital Magazine, pág. 1.

133. Defense Advanced Research Project Agency (DARPA), Fiscal Year 2017 (FY17), President's Budget Submission.

3.

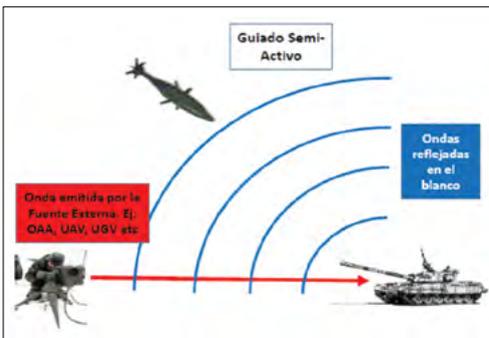
ESTADO DEL ARTE DE LA TECNOLOGÍA DE PGM DE ARTILLERÍA DE CAMPAÑA Y MORTEROS

3.1. Tecnología de guiado por ondas electromagnéticas

Como se expresó antes, básicamente lo que hace una PGM es corregir cada uno de los errores que inciden sobre la trayectoria del proyectil y reducir los efectos acumulativos de esos errores que terminan incidiendo sobre la precisión en el punto de impacto. Para ello, el proyectil o una fuente externa deben ser capaces de recolectar los datos suficientes mientras se encuentra en vuelo. Utilizando la información resultante, se generan las acciones de control que guiarán el proyectil al blanco. Si los datos son obtenidos por dispositivos externos al proyectil (radar, señales ópticas, satélites, u otros) y luego de procesados, los comandos son enviados desde una fuente también externa, estos sistemas se clasifican dentro de los “*Command guidance*”.

Por otro lado, si los datos son obtenidos y procesados por el mismo proyectil, generando sus propios comandos de guiado, se clasifican dentro de los “*Homíng guidance*”. En esta última clasificación se engloban las modernas tendencias de municiones de precisión guiada, lo que incluye todos los proyectos de G-RAMM. La primera tecnología de “*command guidance*” fue utilizada en las primeras PGM, durante la Segunda Guerra Mundial.

Las “*homíng guidance*”, se suelen clasificar en: guiado pasivo, semi-activo y activo.

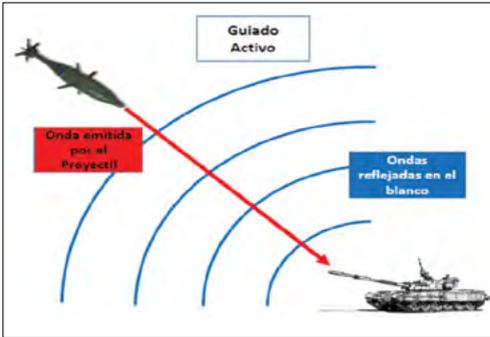


El **guiado pasivo** utiliza ondas electromagnéticas emitidas por el blanco (ejemplo: calor), o las originadas por recursos naturales (sol, estrellas, luna) que se reflejan en el blanco. Esta técnica es eficiente, siempre que el contraste entre la energía emitida por el blanco y su entorno sea tal que le permita al sensor del proyectil diferenciarlo.

El **guiado semi-activo** se utiliza cuando las ondas electromagnéticas emitidas por el blanco no contrastan lo suficiente con su entorno como para poder diferenciarlo. En este caso, resulta necesario emplear otra fuente de onda electromagnética ajena al proyectil que “ilumine” el blanco para que, una vez reflejada en el objetivo, sea detectada por el sensor del proyectil. Este tipo de guiado es el que utilizan la mayoría de las municiones de precisión guiada, como los misiles SIDEWINDER que utilizan ondas de radar y otros, como en el caso de las primeras bombas aerolanzables, o los proyectiles “inteligentes” KRASNOPOL que emplean un designador láser.

La tercera clasificación para el “*homíng guidance*”, más avanzada y costosa que las

demás, es la de **guiado activo**. Este sistema de guiado, se diferencia de la semi-activa en que la fuente que emite la onda electromagnética se encuentra en el proyectil mismo. Para este tipo de guiado, se usan tanto ondas electro-ópticas (guiado por imágenes), como guiado láser,



ondas de radar o una combinación de ellas. Utilizan guiado activo el misil Tomahawk, kit Paveway IV, los modernos Laser JDAM, y el modelo Excalibur 1b, para el caso de proyectiles de Artillería.

3.2. Tecnología de Guiado GPS/INS

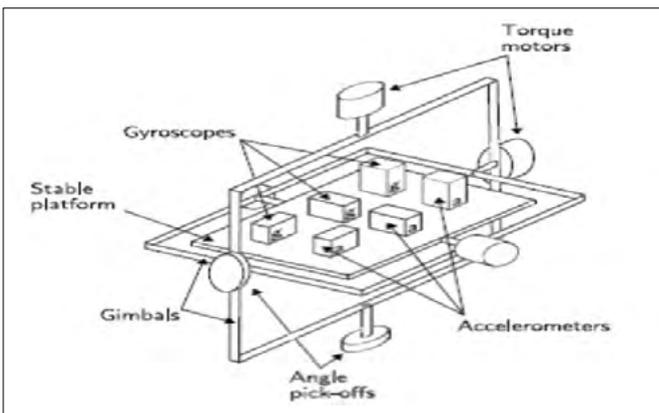
En las últimas dos décadas se han integrado a la tecnología de guiado los sistemas de navegación inercial. El menor tamaño junto a la reducción de costos de sus componentes electrónicos producidos gracias a los avances tecnológicos en este campo hicieron viable su empleo en misiles, bombas y proyectiles inteligentes de artillería.

“La IN (*inertial navigation*) es una técnica autónoma de navegación que utiliza las mediciones obtenidas por giróscopos y acelerómetros para realizar un seguimiento de la posición y orientación de un objeto respecto de una posición, velocidad y orientación iniciales conocidas”¹³⁴. Este sistema se localiza en una plataforma llamada IMU (*inertial measurement unit*), la cual contiene tres giróscopos ortogonales y tres acelerómetros, que miden la velocidad angular y la velocidad lineal respectivamente. Del procesamiento de estas mediciones es posible obtener la posición y la orientación relativa del proyectil.

Existen actualmente dos plataformas diferentes o tipos de IMU, que funcionan con algoritmos similares. En una de ellas, la plataforma se mantiene independiente o aislada con respecto a cualquier rotación externa. Mediante un sistema de marcos libres y pequeños motores eléctricos (sin escobillas o *brushless*) corrigen las variaciones en la orientación en los ejes x, y,z de la plataforma, aplicando el par de fuerzas necesario para mantenerlo estable. Para conocer la orientación del proyectil, el sistema mide la separación angular entre los marcos adyacentes. Por otro lado, al mantenerse la plataforma en una misma posición, los acelerómetros pueden medir directamente la aceleración instantánea, y a través de un algoritmo de doble integración se conoce la posición relativa del proyectil.¹³⁵

En el otro sistema, la plataforma que contiene los sensores inerciales se encuentra rígida dentro del proyectil. En este tipo de IMU, las mediciones obtenidas por los giróscopos son las mismas que las que realiza el proyectil. Aquí los cambios en la orientación

FIG. 5: ESQUEMA DE IMU CON SISTEMA DE PLATAFORMA ESTABLE

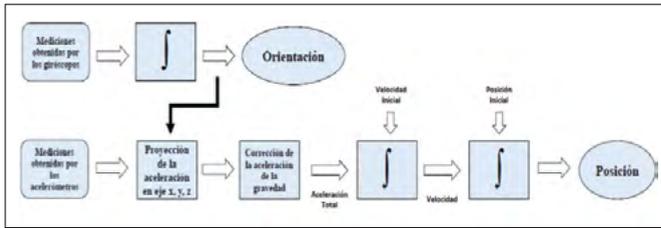


En el otro sistema, la plataforma que contiene los sensores inerciales se encuentra rígida dentro del proyectil. En este tipo de IMU, las mediciones obtenidas por los giróscopos son las mismas que las que realiza el proyectil. Aquí los cambios en la orientación

134. Woodman, O., (2007), *An introduction to Inertial Navigation [Introducción a la navegación inercial]*. Informe técnico 696, University of Cambridge, Computer Laboratory.

135. Fig. 5, Fig. 6 y Fig. 7: Ídem¹⁰.

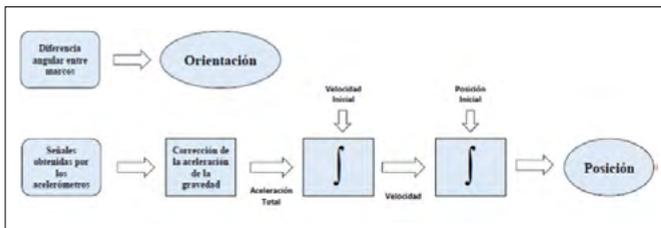
FIG. 7: ALGORITMO DEL SISTEMA DE PLATAFORMA RÍGIDA DE NAVEGACIÓN INERCIAL



da y utiliza esta información junto con la brindada por los tres acelerómetros para calcular la posición. Al igual que el otro algoritmo, integra dos veces el vector aceleración (R^3) para obtener el vector velocidad y luego el vector posición.

Aunque ambos sistemas funcionan con los mismos principios, el de plataforma estable, al contar con mayor cantidad de componentes mecánicos tenía una mayor posibilidad de error y fallas producto del desgaste y es a la vez físicamente más grande, más allá de tener un costo menor a su favor. Sin embargo, a raíz de que los costos y tamaño de los componentes se han ido reduciendo en los últimos años, el sistema más utilizado actualmente es el de Plataforma Rígida.

FIG. 6: ALGORITMO DEL SISTEMA DE PLATAFORMA ESTABLE DE NAVEGACIÓN INERCIAL



y barcos, antes de la aparición de los sistemas PNT (*position, navigation and timing*) como el GPS, desde que se integraron ambos sistemas de navegación, el INS comenzó a utilizarse con éxito en las municiones de precisión guiada. El sistema GPS (GPS II, GPS III, GLONASS, Beidou, Galileo, etcétera) va actualizando constantemente la posición inicial requerida por el INS, y aunque el sistema GPS puede enviar la información directamente al procesador de guiado, el INS asegura su continuidad en caso de perderse la señal GPS, por condiciones climáticas o interferencia de señales causadas por el enemigo. El kit JDAM y varios otros PGM, como el M982 Excalibur, tienen la opción de escoger entre el guiado GPS/INS o solamente el INS. Los valores obtenidos del CEP son de 10 metros en el modo GPS/INS y de 30 metros en el modo INS.

Actualmente, la Defense Advanced Research Project Agency (DARPA), agencia que depende del Departamento de Defensa de Estados Unidos, se encuentra trabajando junto a varias empresas en el Chip-Scale Combinatorial Atomic Navigator (C-SCAN) para integrar sensores de navegación inercial, de diferentes tecnologías, en una IMU de escala micrométrica, que resuelva los problemas de deriva a gran distancia, margen dinámico y tiempo de calentamiento de sus componentes. El objetivo de DARPA es que las empresas investiguen formas de disminuir el tamaño del IMU, fabricando sensores atómicos inerciales de estado sólido de gran rendimiento. El programa C-SCAN forma parte de otro programa de DARPA para el

del proyectil afectan las mediciones obtenidas por el acelerómetro. Por ende, a diferencia del sistema anterior, no se pueden calcular de manera independiente la orientación y la posición. El algoritmo entonces integra las mediciones conseguidas por el giróscopo, obtiene la orientación conocida

Como el INS requiere de una velocidad y posición inicial para obtener la posición y la orientación del proyectil en un punto de la trayectoria, el error de cálculo es mayor a medida que el proyectil se aleja de esa posición inicial. Si bien el INS ya existía y era utilizado con éxito en aeronaves

desarrollo de micro tecnologías PNT, cuyo objetivo es generar tecnologías para sistemas de guiado de precisión y de navegación inerciales que se integren en un único chip con el fin de eliminar la dependencia de GPS u otras señales de guiado externas transformándose en P-INS (*Precision Inertial Navigation Systems*). Los sistemas inerciales actuales pueden proporcionar la precisión necesaria para misiones de pequeña duración, treinta segundos o menos, mientras que el programa micro-PNT incluido en el C-SCAN trata de desarrollar sensores inerciales de tamaño, peso, costo y consumo de energía muy pequeños, para realizar misiones de mayor duración, de minutos a horas.

3.3. Componentes fundamentales de una munición de precisión guiada

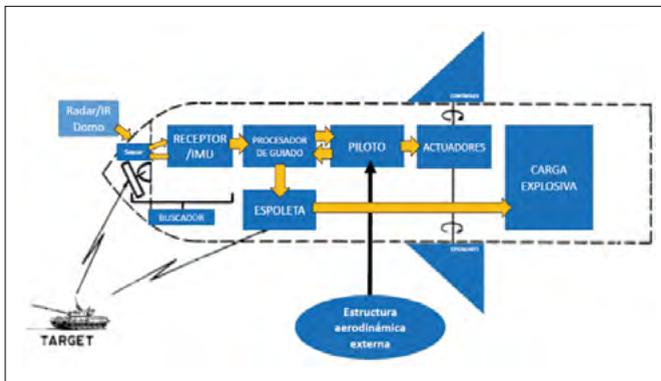
Independientemente de la tecnología de guiado utilizada, se trate o no de un kit modular, una munición de precisión guiada contiene una serie de componentes básicos indispensables que le permiten funcionar como tal.

3.3.1. Sensor

El sensor recibe cualquier tipo de señal externa a la munición de precisión guiada que le permitirá corregir su trayectoria hacia el objetivo. Al igual que el ojo humano o los oídos, los sensores son la interfaz entre el proyectil y su entorno. El sensor es el componente fundamental del sistema de guiado ya que sus capacidades condicionan el funcionamiento eficiente del resto de los subsistemas. La elección del sensor determina la clasificación o tipo de munición de precisión guiada, ya que sobre la base de lo que el sensor sea capaz de recibir del entorno u objetivo, será el guiado utilizado. Estas señales recibidas por el sensor, pueden venir de cuatro fuentes: señales reflejadas en el objetivo, señales emitidas directamente por el objetivo, señales del entorno cercano al objetivo o señales de sistemas PNT, como GPS, GLONASS, Beidou, etc. En el caso de sensores de detección de ondas infrarrojas (calor), se puede ajustar la frecuencia o banda de frecuencia que el sensor detecte, optimizando la respuesta a un tipo particular de objetivos (blindados, helicópteros, aviones, entre otros).

El sensor incluye un sistema de adquisición, formado por antenas para radiofrecuencia, lentes/espejos para espectro ultravioleta, visible e infrarrojos. Se considera al sensor como el componente clave en la operación de la munición de precisión guiada. Un sensor que no perciba señales, o lo haga de manera confusa, resulta en una munición que no puede ser considerada como “inteligente”.

FIG. 8: DIAGRAMA DE COMPONENTES DE UN PGM



3.3.2. Buscador

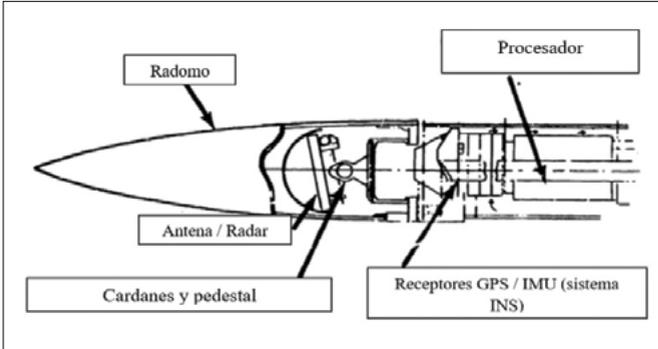
El buscador toma los datos obtenidos por el sensor y mediante un proceso los transforma en información útil para la munición de precisión guiada. Otra función del buscador es asegurarse que el sensor esté orientado de forma tal de obtener la mayor cantidad de señales. La orien-

tación del sensor permite reconocer, adquirir, y finalmente seguir la trayectoria del objetivo (en caso de ser móvil). Los componentes utilizados en el buscador se dividen en cuatro áreas:

> Sensor (ya mencionado anteriormente).

> Plataforma estabilizada y su sistema de control: Incluye giróscopos y acelerómetros y tiene la función de mantener orientado el sensor hacia la fuente de emisión (blanco o GPS), independientemente de los movimientos del proyectil producto de la corrección de la trayectoria.

FIG. 9: DIAGRAMA DEL BUSCADOR



> Sistema de procesamiento de señales: recoge las señales obtenidas por el sensor y la información del IMU (sistema INS), las procesa y envía al sistema de proceso de guiado para el control de trayectoria.

3.3.3. Procesador de Guiado

El procesador de guiado es el que realmente le da a la munición de precisión guiada su “inteligencia”. Todas las municiones cuentan con este procesador, cuya función es que todo el sistema siga un algoritmo determinado, según el tipo de sensor y/o sistema de control del proyectil. Se puede comprender el funcionamiento del sistema de guiado comparándolo con el ser humano, de la siguiente manera: “*si la retina del ojo es el sensor; la córnea es el radomo, la pupila, los músculos del ojo y una cabeza móvil conforman el buscador; entonces el cerebro es el procesador*”¹³⁶. En un primer momento las señales obtenidas por el sensor son procesadas para obtener información del blanco. Si estas señales no contienen la información necesaria para detectar el blanco designado, el procesador utiliza el buscador continuando con el reconocimiento de patrones que le permitan identificar el objetivo. Por ello es que la mayoría de las municiones de precisión guiada integran dos o más tecnologías de guiado (GPS, infrarrojos, láser, microondas de radar, reconocimiento de imágenes, entre otros). Una vez que las señales recibidas por el sensor sean las del objetivo asignado, el procesador comienza a tomar decisiones continuando con el algoritmo. Obliga al buscador a adquirir el blanco y seguir su trayectoria. Este fue básicamente el salto tecnológico que permitió la utilización exitosa de las municiones de precisión guiada desde la Guerra de Vietnam, la adquisición y reconocimiento de blancos militares sin la intervención humana.

La principal función del procesador, sin embargo, comienza cuando el blanco es detectado por el buscador. Esta función es la de relacionar las coordenadas del proyectil en el espacio con las coordenadas del blanco y de esta relación resultan los comandos necesarios para que los componentes de control lleven al proyectil al blanco. El procesador contiene también las leyes de guiado usadas para direccionar el proyectil y escoger la mejor trayectoria para interceptar

136. Heaston, R. y Smoots, C., (1983), *Introduction to Precision Guided Munitions [Introducción a las municiones guiadas con precisión]*. Informe técnico del Centro de análisis de información de guía y control (GIDAC, Guidance and Control Information Analysis Center) para el Departamento de Defensa de los Estados Unidos y DARPA, pág. 30.

el blanco. El procesador es entonces un intermediario entre los componentes de recolección de datos y el sistema de control, encargado de ejecutar las órdenes para corregir la trayectoria. El sistema de control es el autopiloto, el cual traduce los comandos del procesador y los ejecuta sobre los controles aerodinámicos que efectivamente corregirán la trayectoria en vuelo.

3.3.4. Autopiloto

El autopiloto es el sistema que traduce los comandos de control producidos por el procesador y los transforma en órdenes de control para manejar los actuadores, mientras mantiene la estabilidad de vuelo del proyectil. El diseño del autopiloto depende en gran medida de los perfiles aerodinámicos del proyectil (no es lo mismo un proyectil de artillería que uno de mortero) y del tipo de control empleado.

Existen dos configuraciones empleadas para los sistemas de autopiloto, el “open-loop” y el “closed-loop”. En el sistema “open loop”, la maniobra del proyectil se basa sólo en la información brindada por el buscador. Este tipo de configuración se puede aplicar solamente en

sistemas de guiado básicos, en los que el tamaño y el bajo costo son consideraciones importantes. El sistema “closed-loop” emplea los sensores inerciales para producir una retroalimentación constante, manteniendo la estabilidad del proyectil y su perfil aerodinámico, independientemente de la velocidad y altitud del mismo. Este tipo de sistema puede proveer estabilidad al proyectil en los tres ejes: lateral, longitudinal y rotacional. Los sensores inerciales son utilizados por el autopiloto *closed-loop* para generar una señal de retroalimentación en respuesta a cambios en la aceleración lateral y rotacional.¹³⁷

FIG. 10: EJES PRINCIPALES DE ROTACIÓN

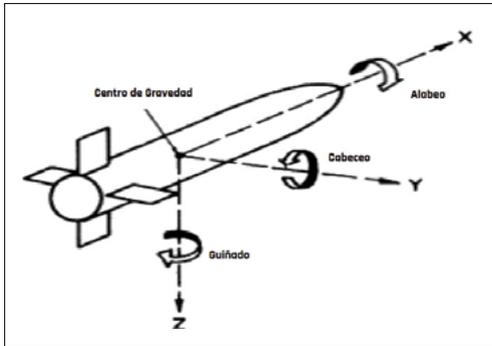


FIG. 11: SISTEMA DE AUTOPILOTO OPEN-LOOP

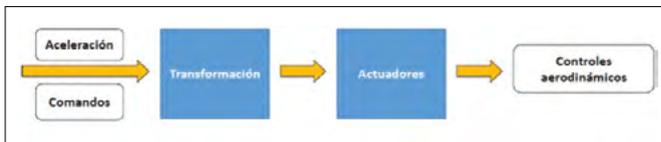
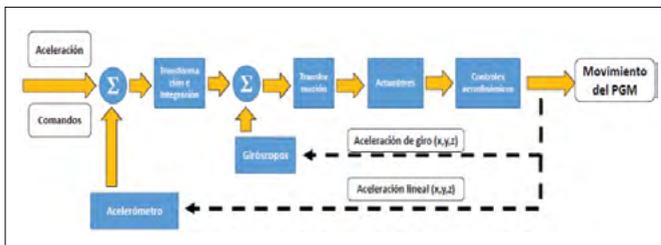


FIG. 12: SISTEMA DE AUTOPILOTO CLOSED-LOOP UTILIZANDO RETROALIMENTACIÓN CON ACELERÓMETROS Y GIRÓSCOPOS.



3.3.5. Actuadores y control aerodinámico

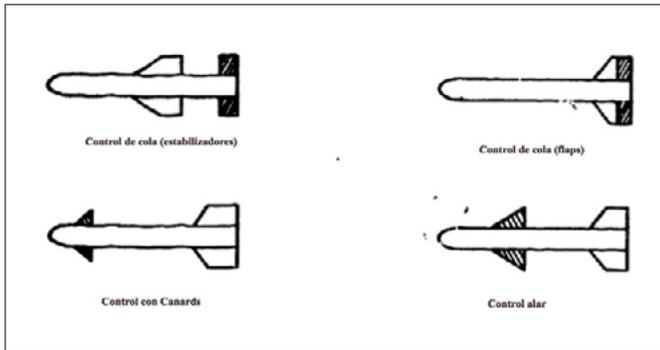
La maniobra del proyectil hacia el blanco es producida, en el caso de la mayoría de los sistemas PGM, por controles aerodinámicos o superficies de mando. Podemos encontrar cuatro clases diferentes que normalmente son aplicadas a los PGM: *canards*, alas, estabilizadores o control de cola y *flaps*. Cada uno de estos sets, está conformado por cuatro

137. Fig. 8, 9, 11, 12, 13: Ídem¹².

controles aerodinámicos (*canards*, alas, estabilizadores, *flaps*), dispuestos equidistantemente en torno a la periferia del cuerpo del proyectil.

Los controles aerodinámicos pueden configurarse en un sistema cartesiano, recreando los movimientos del proyectil hacia arriba, abajo, izquierda y derecha. Cuando se emplean dos sets de control que actúan de manera conjunta, pueden recrear movimientos en cualquier dirección. Un ejemplo de esto es un misil o proyectil que trabaje mediante cuatro alerones de cola y cuatro *canards* y, mediante el control de ambos, modifica la trayectoria del mismo en cualquier eje, sin que el misil pierda la estabilidad por cabeceo, alabeo o guiñado. Este sistema conjunto es el más idóneo para utilizar en una munición de precisión guiada y es empleado por el misil Tomahawk, el AIM-9L Sidewinder, Hellfire II, bombas con kit Paveway IV, M982 Excalibur, Vulcano, es decir las municiones de precisión guiada más sofisticadas y de mayor costo. Existe también la modalidad

FIG. 13: LOS CUATRO TIPOS DE CONTROLES AERODINÁMICOS. SSE UTILIZA TAMBIÉN LA COMBINACIÓN DE ELLOS



de emplear solamente un tipo de control. Esta técnica es menos eficiente ya que al activar los controles aerodinámicos sin controlar las rotaciones del proyectil, pueden producirse desviaciones en direcciones no deseadas. Sin embargo, es el que se utiliza en sistemas con una trayectoria de guiado más corta, no autopropulsados, y con un costo mucho menor. Las JDAM, el kit para Artillería tipo PGK o SPACIDO, utilizan esta configuración.

Los momentos de inercia ejercidos en el proyectil en vuelo, tomando las rotaciones en los tres ejes, cabeceo, alabeo y guiñado, determinan el tamaño y la energía requerida para controlar los actuadores. El torque necesario para deflectar los controles aerodinámicos determina el tamaño de los mismos. El momento de inercia del proyectil depende del centro de presión en la superficie aerodinámica del proyectil. Y este varía de acuerdo al ángulo de incidencia, la deflexión de los controles aerodinámicos, el ángulo de rotación y la velocidad del proyectil.

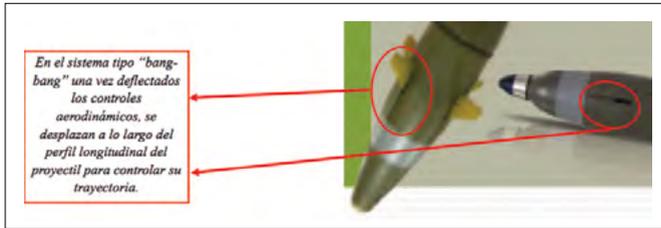
Hay básicamente tres tecnologías aplicadas en los actuadores para controlar la deflexión de los *canards*, estabilizadores, *flaps* y alas. Ellas pueden ser: eléctricas, hidráulicas y neumáticas. En aquellas municiones de precisión guiada en las cuales se requiere un gran torque y una rápida respuesta para el cambio de dirección, se emplea comúnmente la hidráulica. Los actuadores neumáticos obtienen su poder de gas comprimido o de quemar combustible gaseoso y son empleados, por lo general, en misiles de corto alcance que necesitan cambios bruscos de trayectoria. Más allá de estas dos tecnologías, el aumento en el torque de los motores eléctricos y la reducción de su tamaño en las últimas dos décadas hicieron cada vez más aplicable a estas municiones los actuadores eléctricos, que en un principio solo eran utilizados por misiles crucero de largo alcance.

Independientemente de la posición de los controles aerodinámicos y de la fuente de energía necesaria para hacerlos deflectar, se utilizan dos maneras para controlar la dirección de vuelo. En una de ellas, los actuadores producen una deflexión de la superficie de control (ale-

rón, *canard*, alas) que es proporcional a la magnitud del momento de inercia requerido para modificar la trayectoria del proyectil y funciona como un freno aerodinámico. El otro tipo conocido como “*bang-bang*” actúa mediante la deflexión de los controles de superficie entre dos posiciones extremas a lo largo del perfil del proyectil, es decir, cada ala o alerón defleca

desde posiciones diferentes. La dirección del proyectil se modifica al ir variando continuamente la posición de cada control de superficie entre sus extremos posibles. En la imagen siguiente se ven las ranuras a lo largo del proyectil, por las que se mueven longitudinalmente las canards para modificar la trayectoria.

FIG. 14: SISTEMA DE CONTROL AERODINÁMICO DE CANARDS TIPO “BANG-BANG” EN PGM 120 MM GUIDED MORTAR MUNITION (ISRAEL MILITARY INDUSTRIES LTD)



En el caso de los proyectiles inteligentes de Artillería, como el Excalibur, Vulcano y Krasnopol, o los kits PGK o TopGun; el guiado se inicia cuando el proyectil alcanza la flecha de su trayectoria. A partir de allí, el buscador empieza a obtener los datos necesarios y comienza el guiado de media distancia, a través del sistema GPS, INS o GPS/INS o SAL. Posteriormente, en la fase final de la trayectoria, se realizan los ajustes finales de corrección mediante el guiado SAL (*semi-active laser*) en el caso de que el sistema posea este tipo de tecnología. Es decir que una vez que el proyectil pasa su flecha máxima, el funcionamiento del control y guiado es el mismo que rige para una bomba que utiliza los kits JDAM o Paveway IV.

4.

ESPOLETAS DE CONTROL DE TRAYECTORIA

Las espoletas de control de trayectoria (CCF, por sus siglas en inglés) conforman una tecnología que inició su desarrollo a mediados de la década pasada, e intenta emular a los kits aplicados a las bombas aerolanzables del tipo LGB, JDAM o el Paveway, transformando así un proyectil de Artillería no guiado en una munición de precisión guiada. Estos proyectos significaron un desafío tecnológico enorme, ya que debían reducir el tamaño de todos los componentes de control y guiado de una munición de precisión guiada, al espacio disponible en una espoleta de proyectil de artillería o mortero, manteniendo obviamente las funciones propias de la misma espoleta. Pero además del gran desafío que suponía alcanzar los requerimientos citados, se debían reducir los costos, de forma tal que resultara viable emplear estos kits para batir blancos cercanos en el nivel táctico.

Problemas técnicos diversos llevaron a que los desarrollos de estos proyectos se extendieran por casi diez años. Demasiado tiempo si se considera la evolución exponencial de la tecnología en estos tiempos. Sin embargo, uno de estos kits logró imponerse al resto y se probó su eficiencia en combate. Esto aceleró varios programas que obtuvieron presupuestos específicos por parte de algunas potencias militares, tales como Israel, China, Francia, Gran Bretaña, Alemania y requerimientos de compra por parte de otros países, como Chile, Sudáfrica, Corea del Sur y Polonia.

Desde el punto de vista del guiado, salvo el tamaño, la tecnología y empleo específico, el concepto es el mismo que en el resto de las municiones de precisión guiada, variando entre GPS,

INS, SAL (*semi-active laser*) o combinación de algunas de ellas. Sin embargo, el desafío más grande fue la implementación del sistema de control. Finalmente fueron cuatro los sistemas desarrollados, cada uno con capacidades diferentes, lo que variaba principalmente era el grado de precisión obtenido y el costo, los que obviamente resultan inversamente proporcionales.

El sistema de "*drag brake*" fue el primero en ser propuesto, es el más económico y sólo permite el control de trayectoria en dirección longitudinal o 1-D; es decir no puede corregir desviaciones laterales del proyectil. "*Su funcionamiento se basa en el despliegue, en determinado momento, de superficies que oponen una resistencia aerodinámica al movimiento del proyectil a lo largo de la trayectoria*"¹³⁸. Dentro de este tipo de sistemas, hay algunos modelos que una vez que

FIG. 15: ESPOLETAS CON SISTEMAS DE CONTROL TIPO "DRAG BRAKE"



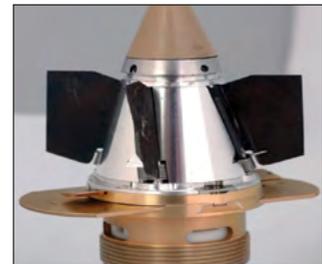
El otro sistema diseñado fue el "*spin brake*" que dispone de *canards* desplegables que van frenando el rolido o spin que tiene el proyectil, que produce principalmente variaciones laterales en la trayectoria. También mediante este mismo efecto de reducción del spin, puede corregir variaciones en alcance, pero no en gran medida o con el mismo efecto que tiene el "*drage brake*". Se trata en este caso de un sistema con correcciones en 2-D.

FIG. 16: ESPOLETA CON SISTEMA DE CONTROL "SPIN BRAKE", TOP GUN CCF DE IMI, ISRAEL.



sus frenos son desplegados o recogidos, no pueden volver a modificar su posición, es decir sólo realizan una sola corrección de la trayectoria. Por otro lado, están los que sí lo pueden realizar y van actualizando su posición a través de sucesivas correcciones, siempre en sentido longitudinal.

FIG. 17: SISTEMA DE CONTROL COMBINADO "SPIN BRAKE" Y "DRAGE BRAKE", CCF DESARROLLADA POR BAE BOFORS.



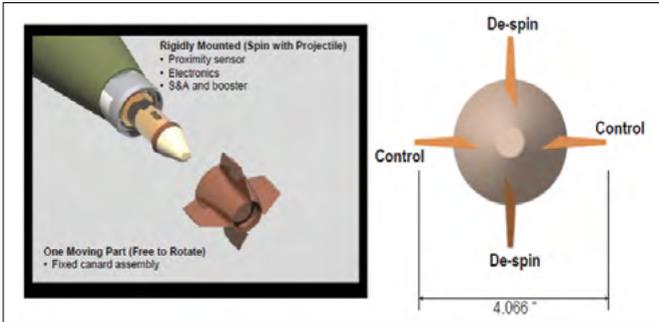
El tercer sistema desarrollado es la combinación de los dos anteriores, con *canards* desplegables que realizan el freno de rolido y corrigen lateralmente la trayectoria y aletas desplegables para la variación del alcance. El proyecto propuesto y desarrollado por BAE Systems es más costoso y complejo que los otros sistemas, debido a que se deben controlar simultáneamente dos sistemas: de control de rolido y variación de trayectoria.

El cuarto sistema llamado "*roll-decoupled*" o "*fixed canards*" fue en sus inicios el más resistido, debido a su aparente complejidad. Fue patentado en 2003 por John Clancy, Tomas Bybee y William Friedrich y desarrollado desde el año 2007 por la empresa Orbital ATK, que lo comercia-

138. Gagnon, E. y Lauzon, M., (2009), *Low cost guidance and control solutions for in-service unguided 155mm artillery shell [Soluciones de control y guía de bajo costo para proyectil de artillería de 155 mm no guiado en uso]*, Investigación y Desarrollo para la Defensa de Canadá (DRDC, Defense Research and Development Canada) Valcartier, Informe técnico, pág. 14.

liza como PGK (*Precision Guided Kit*). Este tipo de sistema utiliza cuatro *canards*, con dos formas aerodinámicas diferentes, fijas a un sistema de roldo, independiente del spin del proyectil. El control de la trayectoria se realiza tanto de manera lateral, como longitudinal o 2-D. Las formas de los dos pares de *canards* hacen que el flujo de aire que incide en el proyectil las haga girar en sentido contrario al que gira el cuerpo del mismo, producto del rayado propio del cañón y su velocidad inicial. Para realizar correcciones en la trayectoria, la espoleta posee internamente un pequeño alternador que provee

FIG. 18: SISTEMA DE CONTROL "ROLL DECOUPLED"O DE CANARDS FIJAS CON GIRO ANTI-SPIN.



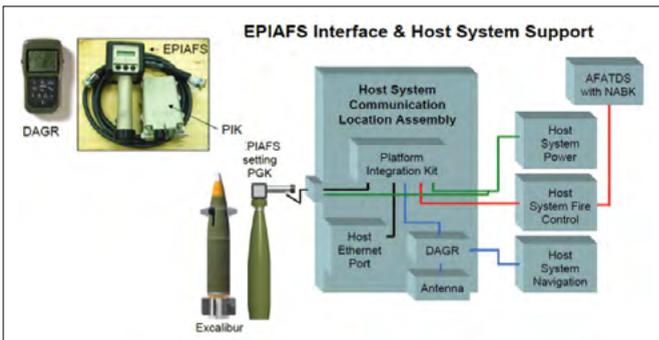
la energía necesaria a la superficie de giro independiente, para que vaya efectuando pequeñas variaciones en su velocidad de giro, actuando de manera similar y aún más precisa que el "spin brake". Al reducir o incrementar la velocidad de spin del proyectil, puede realizar correcciones en el alcance del mismo y actúa de manera similar al "drage brake".¹³⁹

5. TRANSMISIÓN DE DATOS DE TIRO A LA MUNICIÓN DE PRECISIÓN GUIADA

La utilización de PGM que constan de un sistema de guiado GPS o INS, o la combinación de ambas, requieren necesariamente de un sistema computarizado que le permita la carga digital previa de los datos del tiro: coordenadas del blanco, coordenadas de la plataforma de tiro, distancia y ángulo de dirección al blanco, ubicación de OAAA y propias tropas, condiciones climáticas, etc. El guiado GPS requiere, al menos, los datos de las coordenadas del blanco y el INS, también, como mínimo, la plataforma.

Para realizar esta actividad se utiliza el EPIAFS (*Enhanced Portable Inductive Artillery Fuze Setter*), que transmite los datos obtenidos por el PIK (*Plataform Integration Kit*) provenientes del

FIG. 19: DIAGRAMA DE SISTEMA INTEGRADO: PGM (GPS/INS), EPIAFS, PIK, CONTROL DE FUEGO COMPUTARIZADO Y PLATAFORMA DE TIRO.



sistema de control de fuego y del receptor GPS de la plataforma de tiro. Cada plataforma M109A6/7 Paladin (Ejército de los Estados Unidos) posee este sistema integrado que le permite operar independientemente, con un tiempo menor al minuto, desde que se reciben los datos del blanco hasta que sale el proyectil. Es importante destacar que sin el sistema de control de fuego computarizado integrado y/o

139. Fig. 18, Fig. 19: Johnston, L., (2012), *Precision Guided Kit (PGK) [Kit de precisión guiada]*. Armament Systems Information Program, Orbital ATK.

el EPIAFS, es inútil la utilización de una munición de precisión guiada que sólo opere con guiado GPS/INS como en el caso del kit PGK. No es el caso de los que utilizan sólo el SAL como guiado, como el Proyectoil Krasnopol, en el que el guiado comienza cuando adquiere la señal reflejada en el blanco "iluminado" por el láser.

6. PROGRAMAS Y PROYECTOS DE MUNICIÓN DE PRECISIÓN GUIADA DE MAYOR RELEVANCIA ACTUAL

6.1. Programa Excalibur

Si bien el proyecto de una munición guiada de Artillería comenzó en 1992 con varias patentes de funcionamiento del sistema y sus componentes, su desarrollo recién se inició como un programa de DARPA en 1997, por las empresas RAYTHEON y BAE Systems, actuales proveedoras del sistema de armas. El programa fue separado en cuatro etapas sucesivas con el objetivo de

*"mejorar el sistema de apoyo de fuego a través de una familia de proyectiles guiados de 155 mm de Artillería con alcance extendido, aumentando la precisión y reduciendo el daño colateral"*¹⁴⁰. Esta familia de proyectiles se dividió en tres etapas de desarrollo (Block I, Block II, Block III) y sumó en cada etapa capacidades significativas al apoyo de fuego cercano. La primera etapa del programa consiste en el Block 1, como una munición de precisión guiada con cabeza de guerra de alto explosivo (HE) para blancos únicos; el Block II (*Smart*) mantiene la misma característica que el anterior, pero cargado a su vez con sub-municiones también inteligentes para blancos múltiples móviles, el Block III (*Discrimination*) mantiene las características del Block I, con alto explosivo, pero con la capacidad de batir blancos móviles, detectando automáticamente el blanco de más alto valor. Si

FIG. 20: CONCEPTO DE EMPLEO DEL PGM EXCALIBUR.

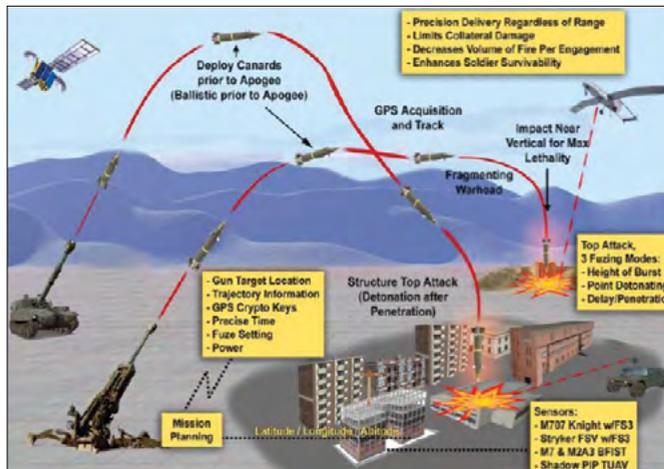
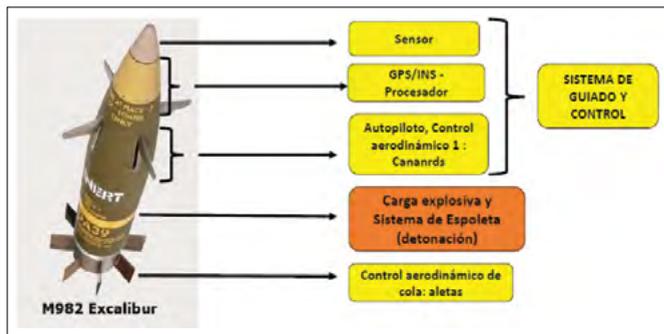


FIG. 21: M982 EXCALIBUR 1B PARTES FUNDAMENTALES.



140. Fig. 20, 21 y 22: Milner, M., (2012), *Precision Strike Association Excalibur Overview [Visión general de la asociación de ataque de precisión de Excalibur]*. Combat Ammunition Project Office, Picatinny Arsenal, New Jersey.

bien las etapas del programa se han demorado en su desarrollo, la primera (Block I) tuvo su bautismo de fuego en combate en Irak en 2007 y continúa con éxito en servicio.

El Block I, se dividió a su vez en los Ia-1, Ia-2 y el más moderno Ib. Actualmente esta etapa de desarrollo se encuentra finalizada, con los proyectiles en producción y abastecimiento. El Block II, se encuentra en etapa de prueba de campo y resta aún la prueba en combate. El Block III mientras tanto sigue en desarrollo.

El M982 Excalibur, es una munición de precisión guiada que combina el sistema de guiado GPS/INS con el guiado láser semi-activo, por lo que cuenta con capacidad todo tiempo, bajo cualquier condición meteorológica.

El último modelo el Ib tiene un CEP menor a 4 metros y pruebas realizadas durante el presente año con el nuevo P-INS, lograron reducir el CEP a 2 metros, utilizando sólo el sistema de guiado GPS/INS. Este sistema no sólo se caracteriza por el guiado, sino que tiene además un alcance de 40 kilómetros, casi el doble que una munición no guiada de 155 milímetros. Además, su espoleta se encuentra conectada electrónicamente al sistema de guiado y control y le permite programar tres tipos diferentes de retardo o ángulo de impacto. El primer modo es la detonación a una altura determinada respecto del blanco, con un ángulo de impacto de 90 grados, para incrementar los efectos de balística terminal. Un segundo modo tiene detonación al impacto, y un tercero tiene retardo y gran ángulo de impacto para instalaciones o fortificaciones.¹⁴¹

Sin embargo, sus costos continúan siendo excesivos, considerando la cantidad y características de los blancos que normalmente debe batir

FIG. 22: COMPARACIÓN DEL ALCANCE Y CEP DEL EXCALIBUR 1B CON OTROS PROYECTILES Y CAÑONES DE ARTILLERÍA.

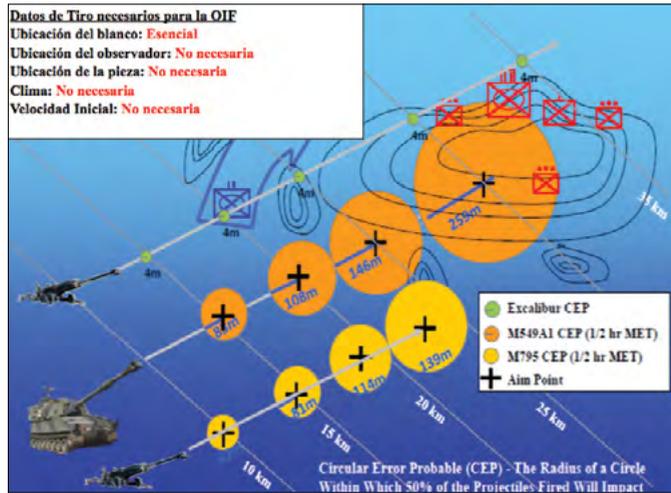
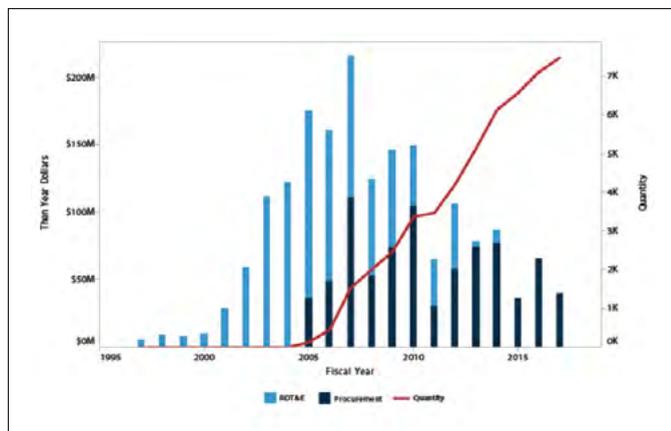


FIG. 23: GRÁFICO CON EL PRESUPUESTO ASIGNADO PARA DESARROLLO, CANTIDAD ADQUIRIDA Y EN STOCK DEL PROGRAMA EXCALIBUR.



141. Cohn, J., (s.f.), FY17 *Weapon Systems Factbook* [Libro de hechos de sistemas de armas del año 2017]. Center of Strategic and Budgetary Assessments (CSBA), pág. 49.

la Artillería de Campaña. Su utilización se restringe a blancos de alto valor táctico o estratégicos que supongan un riesgo alto de daño colateral. El costo de cada proyectil Excalibur 1b, si bien se ha reducido con respecto a los modelos anteriores, es actualmente de 50.000 dólares. La aparición de los kits para munición no guiada, que permiten aprovechar el stock disponible a un costo casi diez veces menor, obteniéndose además valores de CEP aceptables, hizo que el presupuesto asignado al programa se reduzca. Para el próximo año el Departamento de Defensa de Estados Unidos planifica mantener en stock algo más de 7000 proyectiles¹⁴². Se encuentra actualmente en servicio en Estados Unidos, Canadá, Australia, Suecia, Jordania y Gran Bretaña.

6.2. Krasnopol -M

El Krasnopol es un proyectil desarrollado por la empresa Rusa KBP Ltd disponible en calibres 152 mm y 155 mm, que cuenta con un sistema de guiado láser semi-activo. Su última versión es el Krasnopol M2 que extendió el alcance de su predecesor de 17 a 25 kilómetros. Posee, al igual que el Excalibur, aletas de cola desplegadas para mantenerlo estabilizado durante el vuelo. Si bien posee un CEP menor a 3 metros, no es un proyectil todo tiempo, ya que requiere la asistencia de un observador en tierra que ilumine el blanco con el equipo LTD/R (*laser target designator / rangefinder*) ID22, que forma parte del sistema de control de fuego Malakhit. El alcance del ID22 es de 7 kilómetros para blancos móviles y 15 kilómetros para blancos de gran tamaño que le brindan al proyectil una probabilidad de impacto de 0,7/0,8. El Malakhit se completa con el equipo de comunicaciones del observador, la computadora de cálculo de tiro y el equipo de sincronización que vuelca los datos

FIG. 24: KRASNOPOL-M 155MM JUNTO CON EL SISTEMA DE CONTROL DE FUEGO MALAKHIT.



de tiro en el proyectil. Si el observador deja de iluminar el blanco por cuestiones climáticas o tácticas, el proyectil no tiene manera de corregir su trayectoria ya que no posee el sistema INS. El sistema de control utilizado es el de cuatro *canards* desplegadas que, variando su posición, modifican el *spin* del proyectil, lo que permite una corrección 2-D, desde las fases media y final de la trayectoria. Puede adquirir y batir blancos móviles con velocidades hasta 36 kilómetros por hora. Su principal ventaja es el costo del proyectil ya que no sobrepasa los US\$ 2.000. Este sistema se encuentra en servicio desde mediados de la década del 80 y los principales países usuarios son China e India. Este último lo empleó con éxito en la guerra con Pakistán. En nuestra región, Venezuela posee este sistema de munición de precisión guiada.¹⁴³

142. Cohn, J., (s.f.), FY17 *Weapon Systems Factbook [Libro de hechos de sistemas de armas del año 2017]*. Center of Strategic and Budgetary Assessments (CSBA), pág. 49.

143. Fig.24: Fuente; KBP Instrument Design Bureau, disponible en <http://kbpptla.ru>

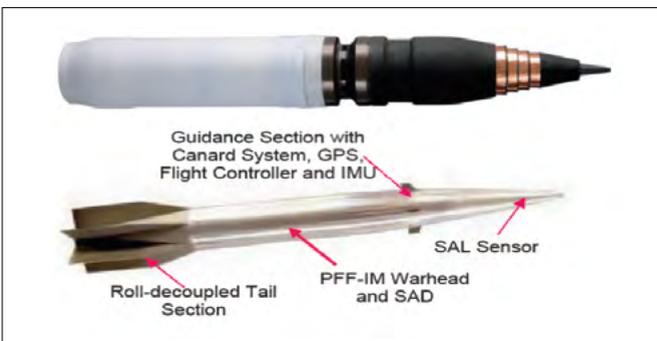
6.3. Vulcano V155 GLR-SAL

El programa Vulcano, si bien aún no ha sido probado en combate, es el que más capacidades ofrece a un proyectil inteligente de Artillería. Fue diseñado tanto para ser utilizado tanto por la artillería de campaña como por la artillería naval, con sus dos versiones en calibres 155 mm y 127 mm respectivamente. La empresa italiana Oto Melara, actualmente fusionada con LEONARDO (Finmeccanica) desarrolla este sistema junto con la alemana DHIEL.

El Vulcano es un sistema de munición de precisión guiada de largo alcance, todo tiempo, ya que integra los sistemas de guiado GPS/INS/SAL, al igual que el Excalibur 1b. Sin embargo, se diferencia de la última versión del Excalibur en el alcance. El poder realizar fuegos de precisión con unos sorprendentes 80 km de alcance lo convierten en el más avanzado proyectil de Artillería de Campaña de la actualidad. La versión de 127 mm naval agrega, además, la tecnología de guiado activa infrarroja, capaz de discriminar blancos móviles en el campo de combate. Aunque aún se encuentra en etapa de desarrollo debido a su costo, ya ha sido probada con éxito en los proyectiles de 155 mm en el año 2014. La implementación del guiado activo a un proyectil de Artillería, con capacidad de discriminación de blancos le permitirá batir vehículos blindados en movimiento a 80 km de distancia, sin ningún tipo de apoyo externo o necesidad del *"battle network"*. Su única desventaja, al igual que los proyectiles del programa Excalibur es su elevado costo, ya que la versión Vulcano V155 GLR-SAL tiene un precio de alrededor de US\$ 50.000.

Con el guiado GPS/INS, tiene un CEP que varía entre tres y quince metros, según el nivel de señal GPS. En caso de contar además con una iluminación del blanco mediante un LTD/R, el CEP se reduce a menos de un metro en el caso de blancos fijos, a un CEP menor a tres metros en el caso de blancos móviles como vehículos blindados. Para que el SAL pueda ser empleado en el blanco se debe encontrar dentro de un cono determinado respecto de la dirección de la trayectoria que le permita la maniobrabilidad suficiente al proyectil para adquirir el blanco y corregir su trayectoria; este cono recibe el nombre de campo de visión (FoV, por sus siglas

FIG. 25: VULCANO V155 GLR-SAL, SU SISTEMA GPS/INS/SAL Y SUS 80 KM DE ALCANCE LO CONVIERTEN EN EL MÁS SOFISTICADO PGM DE ARTILLERÍA DE LA ACTUALIDAD



en inglés). Para la corrección de la trayectoria, utiliza un sistema integrado de *canards* y control de cola, que mediante un roldo desacoplado de las aletas, le otorgan gran estabilidad y velocidad de respuesta. El proyectil puede ser utilizado en la mayoría de los cañones modernos de 155 milímetros, actualmente en servicio. A fines de 2016 se prevé la primera provisión a las Fuerzas Armadas de Alemania e Italia.

6.4. M1156 PGK (Precision Guided Kit)

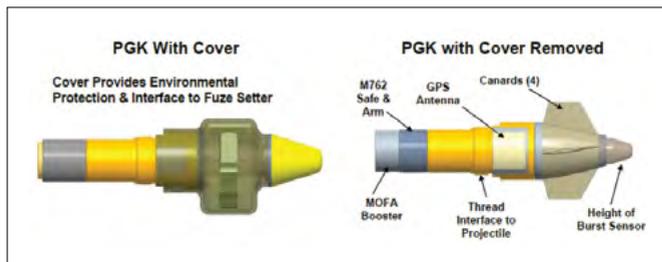
El PGK es una espoleta de corrección de trayectoria (CCF), desarrollada y comercializada actualmente por la empresa **Orbital ATK**. Ha pasado ya a la fase final de producción; completó con éxito las pruebas de campo desde el año 2013 y fue probada en combate en Afganistán.

Posee solamente un sistema de guiado(GPS) que actualiza constantemente su posición en el espacio, lo que permite al sistema de control corregir continuamente la trayectoria. El sistema de control utilizado es el de “*roll decoupled*” con *canards* fijas, que le brinda correcciones 2-D. Si bien el programa ya puede considerarse un éxito, demoró más de lo esperado por complicaciones técnicas. Incluso se cambió el sistema de control previamente concebido para el programa, pasando de un sistema de “*spin brake*”, al “*roll-decoupled*”. Desde el 2013 ha pasado las distintas pruebas, por lo que el desarrollo del programa continúa. En los últimos tres años se ha logrado reducir los costos en un 50 por ciento (De US\$ 15.000 a menos de US\$ 10.000) con mejoras sucesivas en los valores obtenidos del CEP, que pasaron de 50 m en 2011 a 10 m en las últimas pruebas. Aunque no pretende reemplazar en lo inmediato al programa Excalibur, por sus menores costos es utilizado sobre blancos o situaciones de combate donde sea indiferente el uso de uno u otro tipo de PGM. Recordemos que el Excalibur 1b es un PGM todo tiempo, que puede ser utilizado sobre blancos móviles gracias a su sistema SAL, mientras que el PGK corre el riesgo de no ser efectivo en caso de que el enemigo disponga de armas de interceptación de señales GPS (“*GPS jamming*”). Además, consta de un sistema de seguridad, que permite la opción de “no detonar” la carga explosiva, en caso de que el proyectil no impacte dentro del CEP de 10 metros. Para cargar los datos del blanco a la espoleta, se utiliza el mismo sistema con el que cuenta el Excalibur, el EPIAFS (*Enhanced Portable Inductive Artillery Fuze Setter*), integrado mediante el PIK (*Plataform Integration Kit*) al receptor GPS de la plataforma de tiro y al control de fuego computarizado.¹⁴⁴

“*Nosotros presumimos de dar siempre en el blanco, eso nos enorgullece como pelotón, pero los proyectiles con la espoleta PGK impactaban justo encima del blanco, ronda tras ronda, nos dejó impresionados. La precisión fue realmente notable*”¹⁴⁵, con estas palabras describía el rendimiento del kit PGK, el Suboficial Evan Clayton Jefe de Pieza, del 15th Field Artillery Regiment, durante el entrenamiento de su pelotón con el kit PGK, previo a su despliegue en Afganistán.

Finalizada la última etapa de producción en el año 2019, Estados Unidos planifica adquirir 100.000 kits PGK. Australia ha realizado en 2014 un pedido por US\$ 54 M y se le proveyó una primera parte a finales de 2015. Se espera completar la segunda durante el año 2016. Canadá y Alemania han realizado requerimientos del PGK también este año. En el marco regional, en julio de 2016, una delegación de la ARDEC (Centro de Investigación y Desarrollo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos) se reunió en Chile con autoridades militares de las áreas de ingeniería y desarrollo del Ejército de ese país, quienes entre otras tecnologías mostraron interés en adquirir el kit PGK.¹⁴⁶

FIG. 26: DISEÑO DEL PGK, CON CUBIERTA PROTECTORA DE ESPOLETA Y SIN LA MISMA.



144. Johnson, L., (2012), *Precision Guided Kit (PGK) [Kit de precisión guiada]*. Armament Systems Information Program, Orbital ATK.

145. Cox, M., (2013), *Army Ships Precision Guidance Kits to Artillery Units in Afghanistan [Kits de guía de precisión de embarcaciones del ejército para unidades de artillería en Afganistán]*. Defense Tech.

146. Picatinny Arsenal Public Affairs, Ejército de los Estados Unidos, (2016).- <https://www.army.mil/article/173185>

6.5. Top Gun

El programa Top Gun consiste en una espoleta de corrección de trayectoria, desarrollada por IAI (Israel Aerospace Industries), desde el año 2009. Actualmente se encuentra finalizando la etapa de pruebas y en el año 2017 ingresará en la primera etapa de producción.

Utiliza el guiado GPS/INS y el sistema de control empleado es el “*spin brake*”, con *canards* que se despliegan y cambian su orientación, lo que permite una corrección en 2-D. Las pruebas realizadas en el presente año, arrojaron un CEP menor a 10 metros, al igual que su competidora, la PGK. A diferencia de la anterior, dispone de la capacidad de empleo “todo tiempo”, gracias al guiado INS que permite continuar guiando al proyectil aun habiéndose interceptado la señal GPS. Como el programa no entró aún en etapa de producción, se desconoce con exactitud su costo final, pero se cree que estará por encima del PGK, debido al sistema INS. Su mayor volumen respecto de la PGK se debe en gran medida a la incorporación de este sistema de guiado. Hasta el momento se conoce que Corea del Sur se mostró interesado en incorporar este kit una vez que ingrese en etapa de producción.¹⁴⁷

FIG. 27: CCF TOP GUN CON GUIADO GPS/INS Y CONTROL “SPIN DRAKE”



6.6. SPACIDO

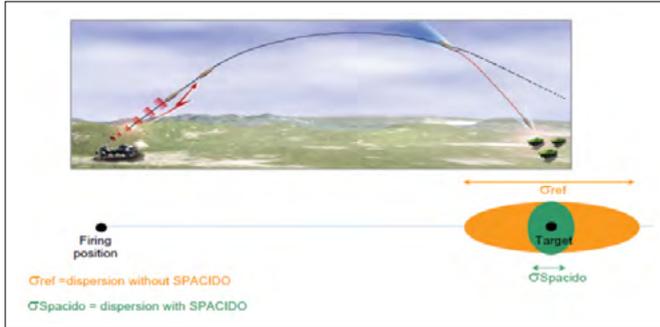
Es una espoleta de control de trayectoria, desarrollada por las empresas NEXTER, T2M e IN-SNEC contratadas por el gobierno de Francia, para proveer a su plataforma de tiro CAESAR, de un sistema CCF para sus proyectiles no guiados. Es una de las primeras en ser desarrolladas y la primera que pasó a etapa de producción en el año 2010.

El sistema de guiado utilizado es bastante particular y responde al concepto de “*beam guidance*”, que funciona mediante una onda de radar, emitida por un dispositivo ubicado en el tubo cañón de la plataforma de tiro. Una vez que el proyectil sale del tubo, el radar mide la velocidad del proyectil, calcula la trayectoria correspondiente a la velocidad medida y le transmite a la espoleta la información de la nueva trayectoria calculada. La espoleta recibe esta información y corrige el alcance mediante un sistema de control tipo “*drag brake*” de manera de reducir los errores a lo largo del eje longitudinal.¹⁴⁸ Es un sistema de control 1-D, es decir que no puede corregir desplazamientos laterales en la trayectoria. La reducción de la dispersión en alcance es menor a 4 m con este kit. Está disponible en versiones para proyectiles de 155 mm y 105 mm.

147. Fig. 27: Fuente: Israel Aerospace Industries, disponible en <http://www.iai.co.il/2013/16147-44363-en/IAI.aspx>.

148. Fig. 28: Benjamin, C., (2007), Spacido 1-D Correction Fuze. 51st Annual Fuze Conference, Nexter Munitions and T2M, Nashville.

FIG. 28: LA CCF SPACIDO UTILIZA UN SISTEMA DE GUIADO "BEAM GUIDANCE" Y SISTEMA DE CONTROL "DRAG BRAKE", CON CORRECCIONES EN 1-D.



de casi una cuarta parte que el PGK o el TopGun. Francia planea aumentar su stock de esta espoleta en 30.000 unidades para el próximo año.

6.7. Municiones de precisión guiada para morteros

Hay varios programas para Morteros de 120 mm y 81 mm que pueden considerarse exitosos. Muchos de ellos se desprenden o forman parte de las familias de las municiones de precisión guiada de Artillería de 155 mm y de los kits modulares de espoletas de corrección. Pero aún resultan muy costosos, teniendo en cuenta el tipo de blanco a batir por los morteros, que son por lo general de menor valor táctico que los asignados a la artillería de campaña de 155 mm.

Para el caso del calibre 120 mm solo se encuentran en producción, desde hace algunos años, los que cuentan sólo con sistema de guiado SAL (*semi-active laser*) y tienen el mismo tipo de funcionamiento que sus pares de 155 mm como el Krasnopol. El CEP en la mayoría de los casos es menor a 1 metro, ya que se reduce respecto del proyectil de 155 mm dado que tiene un menor alcance. Entre estas municiones de precisión guiada PGM de 120 mm con guiado SAL tenemos al KM-8 GRAN 120, de la empresa KBP rusa (familia del Krasnopol) y al GMM 120 Dhiel, actualmente provisto en las fuerzas alemanas, el GP-9 LGMB (Laser guided mortar bomb) de Norinco, provisto en el ejército chino.

En el caso de los que cuentan con sistema GPS/INS, aunque se encuentran ya desarrollados en algunos casos, su implementación aún no es viable debido a los costos. Podemos mencionar entre otros al XM395 de la empresa ATK y al GMM 120 mm de la empresa israelí IMI (Israel Military Industries), o el PERM (*Precision Extended Range Munition*) 120 mm de Raytheon. Cabe destacar que el PERM y el GMM, no son sistemas modulares, mientras que el XM395, utiliza una espoleta similar a la PGK, denominada MGK (*Mortar Guidance Kit*). Estados Unidos e Israel siguen impulsando estos desarrollos y presionando a las empresas contratistas para que reduzcan los costos de la tecnología de ambos proyectos.

Se puede observar una decisiva tendencia a que todos los sistemas de apoyo de fuego, incluso en el menor nivel, cuenten con municiones de precisión guiada. Hay inclusive proyectos para munición de 81 mm y 60 mm. Esto significa que, si bien aún no son viables por cuestiones de costos, la reducción de estos por el abaratamiento de sus componentes hará posible en un futuro no muy lejano la difusión masiva de estos sistemas de armas. Hace una década, los kits PGM para artillería que no eran viables, hoy son una realidad, por lo que se puede afirmar

Más allá de las limitaciones propias del sistema de control 1-D, tiene dos ventajas principales. La primera es que no puede ser afectado por intercepciones producto del "GPS jamming", lo que lo transforma en un sistema todo tiempo. La segunda y principal es su costo. Al no contar con receptores GPS o sistemas INS (que son más caros) y tener el sistema de control más simple de "drag brake", su precio es

que la Artillería de Campaña está en condiciones de pasar a formar parte de los sistemas de fuego de precisión. No falta mucho para que suceda lo mismo con los morteros, en sus calibres 120, 81 y 60 mm y que se introduzca así a las armas de tiro indirecto de Infantería dentro de los sistemas de apoyo de fuego de precisión.

FIG 29: EL PERM 120MM DE RAYTHEON, EL GMM 120MM DE IMI Y EL XM395 CON EL KIT MGK DE ATK, CON GUIADO GPS.



CONCLUSIONES

- Si bien el concepto de daño colateral no es nuevo en la historia de la guerra, fue cobrando cada vez más importancia en los últimos años. Las características de los conflictos armados de baja intensidad lo han tornado imprescindible en la planificación de toda operación militar, principalmente en lo que respecta al apoyo de fuego. El impacto social, estratégico y político, impusieron a las principales potencias militares la extensión de sus fuegos de precisión, no sólo al apoyo aéreo o a los misiles de largo alcance, sino también a la Artillería de Campaña y Morteros.
- Además de reducir el daño colateral, los proyectiles guiados para la Artillería, reducen el volumen logístico de la munición, lo que aumenta la autonomía de las modernas plataformas autopropulsadas de tiro y, por ende, su movilidad en el campo de combate. El efecto al primer disparo, eliminando el tiro de registro, permite ejecutar las misiones de fuego en un tiempo mínimo, aprovechando los sistemas de dirección de fuego computarizados que ya posean las plataformas. La disminución del riesgo de fratricidio, la sorpresa en las misiones de fuego y el costo-beneficio de batir determinados blancos se pueden enumerar como ventajas adicionales de incorporar el fuego de precisión a la Artillería de Campaña.
- Transformar en realidad estas necesidades requirió el aporte tecnológico “de punta”, de cada rama de la ingeniería: mecánica, electrónica, informática, química, cartográfica, forzando en muchos casos, la generación de nuevas tecnologías, como el P-INS o Micro-INS. Sin embargo, el reto más importante fue hacer que el costo de incorporar esa tecnología a un proyectil o sistema de tiro, lo hiciera viable para los tipos de blancos a los que estaba destinado ese sistema. Así, fueron surgiendo diversos conceptos para implementar el guiado a un proyectil de artillería; desde diferentes sistemas de guiado y control, hasta los conceptos modulares de espoletas de corrección de trayectoria. Esta diversificación en base a tecnologías, costos, precisión y necesidad de un entorno adecuado hizo que se disponga de varios productos en el mercado que apuntan a distintas finalidades o blancos en el campo de combate moderno. Sin embargo, el objetivo final de cada uno de los programas o proyectos es lograr que se puedan utilizar en cualquier tipo de situación, es decir que posean el empleo “todo tiempo”.
- Los proyectos más complejos y costosos, como el Excalibur 1b y el Vulcano, estarán al alcance de aquellos ejércitos con un mayor presupuesto, no sólo por el costo en sí del material, sino también por el entorno de batalla que necesita para ser empleado eficientemente. Por otro lado, los kits, que desde este punto de vista no reemplazan las capacidades brindadas

por los proyectiles antes nombrados, los complementan cabalmente, a un costo increíblemente menor y sin necesidad de contar con un entorno de batalla sofisticado, más que el de las comunicaciones de campaña. Las últimas noticias indican que partir del próximo año, el uso de las espoletas inteligentes se extenderá no sólo a las potencias militares, sino también a otros países que pretenden no quedarse atrás tecnológicamente. Además, su bajo costo y empleo en armamentos y proyectiles ya disponibles puede llegar a hacerlas accesibles a grupos terroristas y el narcotráfico. En la región, Chile, que ya posee PGM aerolanzables JDAM, se ha mostrado interesado y se encuentra en contacto con el proveedor de las PGK.

- En lo que respecta a Morteros, en sus diferentes calibres, la tecnología de los kits se puede emplear sin problemas en ellos y existen incluso algunos proyectos ya disponibles en el mercado, aunque su costo todavía es alto para un empleo justificado. Aun así, año a año el costo se ha ido reduciendo (el kit PGK se redujo un 50 por ciento en tres años) y las tendencias apuntan a que, en el corto plazo, van a estar al alcance de la mayor parte de los ejércitos.
- El desarrollo en el futuro próximo de los proyectiles más sofisticados, como los programas Excalibur y Vulcano, apunta a la detección y discriminación de blancos. Esto les permitirá unir el antiguo concepto de saturación con el de precisión, sin contar con observadores en el campo de combate. Esta discriminación la podrá efectuar el proyectil con carga explosiva o aquellos que carguen con submuniciones con guiado activo, permitiéndole a un proyectil, detectar, reconocer y poner fuera de combate un escuadrón completo de tanques o blindados y diferenciarlos de los propios. Estos conceptos que parecen lejanos o de una película de ficción, se encuentran ya en instancias de prueba, en el bloque II del programa Excalibur y el Vulcano con guiado activo infrarrojo para proyectiles de 127 milímetros.
- Una vez que esta tecnología se encuentre ampliamente disponible tanto para Artillería como para los Morteros, deberá realizarse una revisión de la doctrina en estos niveles, ya sea para adaptarla a las capacidades que ofrecen, o para estar en capacidad de dar una respuesta en el caso de que no se adquieran.
- Finalmente, no podemos ignorar desde el punto de la Defensa Nacional, la tendencia imparable en el desarrollo, evolución y presencia masiva de estas tecnologías en el campo de combate del futuro, pensando seriamente cual será la capacidad que tendrán nuestras Fuerzas Armadas (con respecto a sus armas de apoyo de fuego, sistemas de tiro y procedimientos de mediados del siglo pasado) para responder a un posible enemigo que las posea.

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES:

- Abbott, A., (24 de agosto de 1999), *GPS Guided Munition [Munición guiada por GPS]*. Patente estadounidense 5943009.
- Balle, J., (15 de julio de 2015), *About JDAM [Acerca de JDAM]*. Aeroweb Digital Magazine. Disponible en <http://www.bga-aeroweb.com/Defense/JDAM.html>
- Benjamin, C., (2007), Spacido 1-D Correction Fuze. 51st Annual Fuze Conference, Nexter Munitions and T2M, Nashville.
- Clancy J., Bye T., Friedrich W., (17 de marzo de 2005), *Fixed Canard 2-D Guidance of Artillery Projectiles*. Solicitud de patente estadounidense 2005/0056723.
- Cohn, J., (s.f.), *FY17 Weapon Systems Factbook [Libro de hechos de sistemas de armas del año 2017]*. Center of Strategic and Budgetary Assessments (CSBA), pág. 49. Disponible en <http://csbaonline.org/wp-content/uploads/2016/08/CSBA6194-FY17-Factbook-FINAL-hi.pdf>
- *Converting Bombs into Precision-Guided Weapons [Conversión de bombas en armas de preci-*

sión guiada]. (s.f.), Raytheon Company, Paveway Laser Guided-Bomb. Disponible en <http://www.raytheon.com/capabilities/products/paveway-laser-guided-bomb/>

- *Dictionary of Military and Associated Terms [Diccionario de términos militares y relacionados]*. (2016), Departamento de Defensa de Estados Unidos (actualización 9). Disponible en http://www.dtic.mil/doctrine/new_pubs/jp1_02.pdf
- Eshel, T., (2001), *The high cost of precision attack [El alto costo del ataque de precisión]*. Defense Update Digital Magazine, pág. 1. Disponible en http://defense-update.com/20110506_precision_attack.html
- Foss, C., (2015), *Smart Ammo: Precision Guided Munition for Field Artillery [Munición inteligente: munición guiada de precisión para artillería en campo]*. IHS Jane's Defence Weekly. Disponible en http://www.janes360.com/images/assets/423/54423/precision-guided_munitions_for_field_artillery.pdf
- Fraysee J., (27 de septiembre de 2011), *Guided Fuse with Variable Incidence Panels*. Patente estadounidense 8026465 B1.
- Frink R., (7 de abril de 1992), *Precision Guided Munitions Alternator*. Patente estadounidense 5101728.
- Gagnon, E., Lauzon, M., (2009), *Low cost guidance and control solutions for in-service unguided 155mm artillery Shell [Soluciones de control y guía de bajo costo para proyectil de artillería de 155 mm no guiado en uso]*. Investigación y Desarrollo para la Defensa de Canadá (DRDC, Defense Research and Development Canada). Valcartier, Informe técnico, pág.14.
- German Artillery School, (2014), *International Symposium of Artillery [Simposio internacional de artillería]*. Report of Dhiel Defence, págs. 36-42. Disponible en <http://www.freundeskreis-artillerietruppe.de/images/stories/PDF/infobroschuereias2014.pdf>
- Geswender C., Sanchez C., Zamora M., (23 de agosto de 2012), *Multi-Caliber Fuze Kit and Methods for same*. Solicitud de patente estadounidense 2012/0211592.
- Geswender C., Zamora M., (18 de noviembre, 2010), *Projectile with Deployable Control Surfaces*. Solicitud de patente estadounidense 2010/0288870 A1.
- Geswender, C. y Streeter, J., (17 de diciembre de 2014), *Apparatus for Air Brake Retention and Deployment [Aparato de retención y utilización del freno de aire]*. Patente europea 2276998 B1.
- Heaston, R. y Smoots, C., (1983), *Introduction to Precision Guided Munitions [Introducción a las municiones guiadas con precisión]*. Informe técnico del Centro de análisis de información de guía y control (GIDAC, Guidance and Control Information Analysis Center) para el Departamento de Defensa de los Estados Unidos y DARPA, pág. 30.
- Jennings, G., (25 de noviembre de 2014), *Israel orders upgraded JDAM Kits [Israel ordena kits de JDAM de mayor categoría]*. IHS Jane's Defence Weekly Magazine. Disponible en <http://www.janes.com/article/46209/israel-orders-upgraded-jdam-kits>
- *Krasnopol M-2*. (s.f.), KBP Instrument Design Bureau. Disponible en <http://kbptula.ru/en/productions/artillery-guided-weapon-systems/krasnopol-m2>
- Lutwak, R., (s.f.), *Micro-Technology for Positioning, Navigation and Timing (Micro-PNT) [Microtecnología para posicionamiento, navegación y sincronización]*. Defence Advanced Research and Project Agency (DARPA). Disponible en <http://www.darpa.mil/program/micro-technology-for-positioning-navigation-and-timing>
- Matthew C., (2013), *Army Ships Precision Guidance Kits to Artillery Units in Afghanistan [Kits de guía de precisión de embarcaciones del ejército para unidades de artillería en Afganistán]*.

- Defense Tech. Disponible en https://www.army.mil/article/102402/New_gear_brings_enhanced_precision_to_field_artillery_in_Afghanistan
- Maynard, J., Carlson, M., Zeman, P., (12 de febrero de 2009), *Optically Guided Munition Control System and Method [Sistema y método de control de munición guiada ópticamente]*. Solicitud de patente estadounidense 2009/0039197 A1.
 - Milner, M., (2012), *Precision Strike Association Excalibur Overview [Visión general de la asociación de ataque de precisión de Excálibur]*. Combat Ammunition Project Office, Picatinny Arsenal, New Jersey.
 - Naresh, C., (2014), *Bull's eye with Precision Guidance [En el blanco con guía de precisión]*. Scholar Warrior, pág. 99. Disponible en http://www.claws.in/images/journals_doc/2092178497_NareshChand.pdf
 - Phillips, C., (20 de agosto de 2013), *Targeting Augmentation for Short-Range Munitions [Aumento de selección de objetivo para municiones de corto rango]*. Patente estadounidense 8513580 B1.
 - Picatinny Arsenal Public Affairs, Ejército de los Estados Unidos, (11 de Agosto de 2016). Disponible en <https://www.army.mil/article/173185>
 - Pristash D., (6 de diciembre de 2006), *Course Correction Fuze*. Solicitud de patente estadounidense provisoria 60/873478.
 - Ringer H., (23 de septiembre de 1997). *Spin-Stabilized Guided Projectile*. Patente estadounidense 5669581.
 - Rupert, J. y Siewart, J., (7 de enero de 2003), *2-D Projectile trajectory corrector [Corrector de trayectoria de proyectil 2-D]*. Patente estadounidense 6502786 B2.
 - *Selected Acquisition Report (SAR) of Excalibur (Unitary)*.FY11, Defense Acquisition Management Information Retrieval (DAMIR), pág. 4.
 - *Soviet Analysis of Operation Desert Storm and Operation Desert Shield [Análisis soviético de la operación Tormenta del desierto y la operación Escudo del desierto]*. (28 de octubre de 1991), Defense Intelligence Agency, pág. 32.
 - Valcourt, D., (2004), *Army's Precision Fires Study [Estudio de fuego de precisión del ejército]*. Chief of the Field Artillery, Us Army Field Artillery Center, Fort Sill, OK. Disponible en http://www.dtic.mil/ndia/2004precision_strike/ValcourtPEO_Huntsville.pdf
 - *Vulcano Guided Ammunition Family*. (s.f.), Dhiel Defence. Disponible en http://www.diehl.com/fileadmin/diehl-defence/user_upload/flyer/Flyer_VULCANO_kombi_1102_BS_02.pdf
 - *Vulcano: 155mm Ballistic Extended Range (BER) and Guided Long Range (GLR)*.(2013), Oto Melara, Finmeccanica Company. Disponible en http://www.leonardocompany.com/documents/63265270/66960114/body_VULCANO_155MM_2013_1.pdf
 - Watts, B., (2013), *The evolution of precision strike [La evolución del ataque de precisión]*. Center for Strategic and Budgetary Assessments, Washington DC. Disponible en <http://csbaonline.org/publications/2013/08/the-evolution-of-precision-strike/>.
 - Woodman, O., (2007), *An introduction to Inertial Navigation [Introducción a la navegación inercial]*. Informe técnico 696, University of Cambridge, Computer Laboratory, pág. 5. Disponible en <http://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-696.pdf>

(*) **Fernando Daniel Quinodoz** es Teniente Primero de Infantería del Ejército Argentino, Licenciado en Administración y Paracaidista Militar. Posee una especialización en Ciencias Militares por la Escuela de Perfeccionamiento de Oficiales (EsAO) del Ejército de la República Federativa de Brasil (2013). Como oficial del ejército argentino, prestó servicios en el Regimiento de Infantería Paracaidista 2, Escuela de Suboficiales del Ejército "Sargento Cabral" y Colegio Militar de la Nación. Ha realizado las capacitaciones especiales de Jefe de Lanzamientos Paracaidistas, Guía Paracaidista y Paracaidista de Apertura Manual; es instructor de tiro por la Escuela de Infantería del Ejército Argentino. Actualmente se encuentra cursando la carrera de Ingeniería Mecánica en Armamentos, en la Escuela Superior Técnica del Ejército "GrI Manuel N. Savio", desempeñándose en esta como Observador Tecnológico del CEPTM "GrI MOSCONI".