

El planeamiento láser

RAFAEL SANZ REBOLLO
Comandante del Ejército del Aire

Marte-1 Ready,
Marte-2 Ready,
Marte-2 Capture,
Marte-1 Copy Capture,
Marte-1 Bomb's Gone...
Marte-2 Laser ON!

La bomba que desde hace pocos segundos desciende vertiginosamente es una GBU-16, espina dorsal del armamento aéreo del Ejército del Aire. El efecto de la gravedad hace que el proyectil gane energía en su descenso. Faltan sólo unos instantes para el impacto...

A pesar de que el proyectil haya sido lanzado desde el punto de suelta apropiado para que en su caída libre se dirija hacia el objetivo, las condiciones atmosféricas y otros factores podrían degradar su precisión, impidiendo la consecución del efecto deseado y provocando además daños colaterales inasumibles. Por eso, aún se necesita una última acción: tras la comunicación correspondiente, un ingenioso dispositivo comenzará a señalar con precisión el punto donde se producirá el impacto instantes después.

Se trata de un instrumento de designación de objetivos mediante energía láser o LTD (Laser Target Designator). El haz láser por él emitido será captado por la bomba, una GBU (Guided Bomb Unit), en este caso perteneciente a la serie Paveway II. La combinación de ambos otorgará al ataque la precisión requerida. Pero, ¿cómo interactúan realmente ambos dispositivos? Veamos a continuación una exposición de su lógica de funcionamiento.

EL PLANEAMIENTO LÁSER

Si bien las consideraciones específicas pueden llegar a ser muy diferentes según la versión y la modalidad de lanzamiento, la finalidad principal del planeamiento de un ataque GBU desde el punto de vista del láser es:

“La obtención de las condiciones más adecuadas de suelta y designación que garanticen una correcta adquisición y seguimiento de la energía reflejada por el objetivo, posibilitando con ello el guiado de una bomba hacia este.”

Como se verá seguidamente, la cantidad de energía láser a detectar es

muy inferior a la que es emitida por el dispositivo de designación, como efecto de la dispersión que provoca su reflexión sobre el blanco o TGT (Target) además de por un considerable número de factores degradantes. Por ello, resulta fundamental conocer el alcance máximo teórico en el que dicha energía va a ser superior al umbral de detección del sensor de búsqueda o seeker (especialmente si se requieren guiados láser desde larga distancia), al objeto de poder validar con ese dato la adecuación o no de la táctica de empleo elegida.

Es importante resaltar que, independientemente de la necesidad de disponer de suficientes conociemien-



emisor, un medio y un receptor. Además, emisor y receptor deben compartir el mismo lenguaje.

En el caso que nos ocupa, el emisor viene representado por un dispositivo de designación, el cual puede estar ubicado sobre la superficie terrestre o a bordo de una plataforma aérea. En el primer caso, dicho dispositivo habrá de ser accionado por personal de tierra específicamente adiestrado para interoperar con la plataforma aérea lanzadora. Considerando la segunda posibilidad, el designador embarcado estará seguramente integrado en un equipo de detección y se-

guimiento de blancos o TGP (*Targeting Pod*), el cual a su vez puede ir a bordo de la plataforma lanzadora, al objeto de completar un proceso de autodesignación o SD (*Self Designation*), o en otra plataforma, con la que efectuar lo que se conoce como un ataque coordinado con iluminación del compañero o BL (*Buddy Lasing*).

El principal medio de transmisión de la energía láser es, evidentemente, la atmósfera. Sin embargo, con ello no debe subestimarse la importancia de la reflexión de dicha energía sobre la superficie del punto deseado de impacto del blanco o DPI (*Desired Point of Impact*), completándose así la trayectoria TGP-DPI-GBU necesaria para el éxito del proceso.

El receptor de la transmisión de la energía será el *seeker* de la GBU, el cual, de cumplirse las condiciones necesarias para ello, transmitirá la información de la posición relativa del origen de la reflexión al “cerebro” de la bomba, la unidad de guiado o WGU (*Weapon Guidance Unit*), que traducirá dichas señales en órdenes de deflexión de determinadas superficies de vuelo.

Por último, en el caso que nos ocupa, el lenguaje viene representado por los parámetros del haz láser, los cuales habrán de coincidir con aquellos para los que la GBU haya sido programada. De lo contrario, sus mecanismos de protección catalogarán dicha emisión como inapropiada y la descartarán.

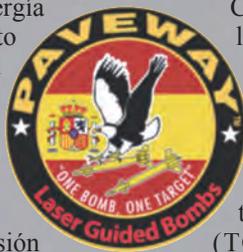
El siguiente apartado tiene por objeto enumerar los principales factores que intervienen en el proceso completo de iluminación, desde que la energía láser sale del TGP, hasta que ésta es detec-

tada por el *seeker* de la GBU. Capítulo aparte merecería acometer

el estudio del efecto diverso que dicho guiado provoca en el perfil de vuelo de los distintos tipos de GBU en inventario en el Ejército del Aire, o dicho de otro modo, cómo se comportaría cada uno de ellos mientras está siendo guiado.

TRANSMISIÓN DEL HAZ

Los primeros elementos de estudio a la hora de evaluar la eficacia del proceso serán la potencia de emisión del LTD y la sensibilidad de recepción del *seeker*. Evidentemente, a mayor potencia del emisor y/o a mayor sensibilidad del receptor, mayor será el alcance máximo de la transmisión.



Con respecto a la difusión de la energía a través de la atmósfera, se identifican dos aspectos que deben ser verificados:

- Por un lado, la ausencia de obstáculos físicos tanto en el camino de “ida” (TGP-DPI) como en el de “vuelta” (DPI-GBU). Un obstáculo (objetos, estructuras, humo denso o nubosidad) en la trayectoria del haz láser, no sólo puede impedir su adquisición por parte de la GBU, sino también provocar degradaciones de la señal que actuarían como tergiversadores del “lenguaje común” dificultando su reconocimiento, o peor aún, emitir reflexiones indeseadas

tos teóricos sobre la materia, este planeamiento no se reduce a un mero cálculo “de laboratorio”, sino que lo que con él se persigue es la aplicación de la teoría al mundo real, con lo que resulta imprescindible tener en cuenta un gran número de factores exógenos procedentes del escenario y de la situación táctica que contribuyen a hacer cierto el dicho de que en aviación, lo que ayer funcionó con éxito, puede que mañana ya no sirva.

TEORÍA BÁSICA DEL GUIADO LÁSER

Para una eficaz transmisión de cualquier naturaleza es necesario un

que generen trayectorias impredecibles de la bomba.

- Por otro lado, la presencia de partículas que favorecen la disipación de la energía. Debido a que resultaría difícil predecir el efecto de la disipación provocada por humo liviano o polvo en suspensión en un entorno hostil, la mejor recomendación táctica posible sería evitar ambos, bien cambiando el DPI, o bien esperando a su desaparición. Pero lo que sí puede estimarse con cierta precisión es la degradación que sufrirá la energía láser por la presencia de vapor de agua en la atmósfera; parámetro que, a efectos de cálculo, se relaciona directamente con el dato de visibilidad horizontal proporcionado por la mejor predicción meteorológica disponible.

DESIGNACIÓN DEL BLANCO

Sin duda, el punto que merece mayor atención es el TGT en sí. Y lo es, no sólo por sus características intrínsecas sobre las cuales no hay margen de intervención, sino especialmente por su disposición geométrica relativa con respecto al sensor de recepción, algo que tendrá un enorme impacto sobre el alcance máximo de la transmisión y ante lo cual la adecuada elección de las tácticas de suelta e iluminación jugará un papel fundamental.

Pero antes de llegar a ese punto, veamos primero lo que sucede cuando la energía láser incide sobre una determinada superficie.

EFFECTO DE LA INCIDENCIA DE ENERGÍA LÁSER SOBRE UNA SUPERFICIE

Tras el contacto del haz láser con una superficie, la cantidad total de energía que incide sobre ésta quedará repartida en tres grupos:

- Un porcentaje determinado va a ser absorbido por la superficie del objeto o estructura, sufriendo con ello un efecto de disipación en su interior. Evidentemente, esta energía se perderá y no podrá ser utilizada.

- Otra parte de la energía será reflejada por dicha superficie siguiendo las leyes de la reflexión especular. Teóricamente, dicha energía sólo podría ser detectada a lo largo de la dirección geométrica del haz de refle-

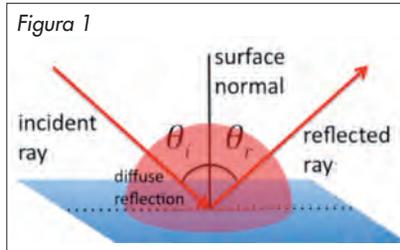


Figura 1
Esquema básico de comportamiento de la energía que es reflejada por una superficie. (Fuente: Internet)

cción. En la práctica esto no es exactamente así, pues la energía reflejada será muy divergente, “abriéndose” progresivamente. En todo caso, sólo será utilizable por una GBU en casos muy concretos.

- La energía remanente será reflejada omnidireccionalmente, conformando una especie de esferoide de dimensiones variables e irregulares conocido como de reflexión difusa. Este tipo de distribución adquiere la máxima importancia, al ser la única de entre las tres posibles fuentes de energía que podrá ser comúnmente utilizada por una GBU. Figura 1.

ESTUDIO DEL OUTPUT DE ENERGÍA DIFUSAMENTE REFLEJADA

Como acabamos de ver, para maximizar el rendimiento de la reflexión del láser sobre la superficie del TGT es preciso centrar la atención en la reflexión difusa. Para ello, inicialmente deberá conocerse qué porcentaje de la energía incidente va a ser reflejada difusamente; posteriormente será preciso averiguar cuál va a ser su distribución tridimensional (es decir, cuál va a ser la forma del esferoide que la conforma), lo que podrá utilizarse para definir una trayectoria del proyec-

EJEMPLO DE TABLA GENÉRICA DE REFLEXIÓN DIFUSA (SIN CLASIFICAR)

MATERIAL	DIFFUSE REFLECTIVITY
Flat mirror	0%
Mat Black Paint	4 - 15%
Dirty Olive Drab Paint	5 - 15%
Asphalt	10 - 25%
Concrete	10 - 40%
Soil	15 - 25%
Brick	15 - 65%
IR Reflecting Paint	30 - 55%
Vegetation (glossy foliage)	30 - 70%



til y una maniobra de designación que maximicen el alcance de la señal allá donde el tamaño y forma del esferoide sean más adecuados.

Para determinar el porcentaje de reflexión difusa será determinante conocer:

- El tipo de superficie del que se trate. Diversos estudios catalogan diferentes tipos de materiales en función del porcentaje de energía que retorna a la atmósfera en forma de reflexión difusa, pudiéndose llegar a alcanzar niveles de precisión aceptables.

- El estado en que se encuentre dicha superficie. La degradación de determinadas superficies (óxido, erosión, caída de yeso, desmoronamiento de capa exterior...) aumenta la cantidad de energía que éstas reflejan difusamente. La formación de pequeños granulados en relación con la longitud de onda del rayo incidente provoca la aparición de múltiples reflexiones microscópicas sobre la su-



perficie irregular, lo que alimenta la generación del esferoide de reflexión difusa. Cuadro

Una vez obtenida esta información, será necesario definir la forma del esferoide de reflexión difusa con respecto a la posición del proyectil en cada instante, sobre la que intervienen:

- El ángulo “de retorno” entre el vector de reflexión DPI-GBU y el vector normal del plano real de incidencia.
- La bisectriz del ángulo entre el vector de incidencia TGP-DPI y el vector de reflexión, que constituirá el vector normal del plano teórico de incidencia.

Como resultado final se generará un esferoide de reflexión difusa cuya forma se aproxima al modelo denominado “lambertiano” en honor a Johann Heinrich Lambert, quien definió por primera vez sus características para la luz visible. El volumen resultante vendrá definido por el coseno del ángulo entre el vector de reflexión y el vector normal del plano real de incidencia,

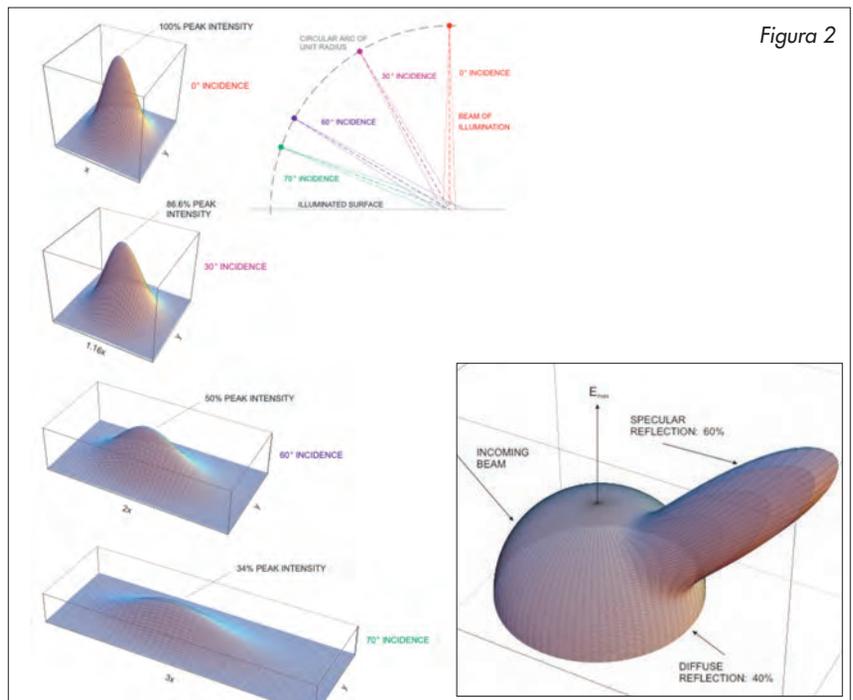


Figura 2

Ejemplos de un modelo informático de predicción de distribución de la reflexión. (Fuente: documentación Raytheon)

siendo este - en teoría - independiente de la posición del rayo incidente.

En la práctica, debido a la incorporación de energía adicional procedente del haz de reflexión especular, el volumen se irá deformando cuanto menor sea el ángulo entre el plano teórico de incidencia y el real. En el caso extremo de que, tanto ambos planos, como la posición de LTD y GBU sean coincidentes, el esferoide se convertirá en un volumen notoriamente alargado y rotacionalmente simétrico (esferoide plano).

La complejidad del cálculo no radica en todo este galimatías verbal de vectores y planos, sino más bien en su dinamismo, pues durante el ataque uno o los dos extremos del ángulo estarán en continuo movimiento. No obstante, dado que -a efectos de conocer la receptibilidad o no de la emisión por parte de la bomba-, lo que realmente interesa es hallar el radio del esferoide únicamente en la dirección del vector DPI-GBU, calcular su longitud puede simplificar bastante el proceso, al quedar éste reducido a la obtención del módulo de un vector en lugar de requerir la definición de la superficie exterior del volumen completo.

Profundizar en la solución analítica de este problema iría más allá del objeto de este artículo. Para ello existen herramientas informáticas de ayuda a la decisión táctica o TDA (*Tactical Decision Aid*) que, en el caso de estar integradas en el sistema de planeamiento de misión de un sistema de armas, proporcionan al usuario las soluciones necesarias para planear el ataque en condiciones óptimas.

CONSIDERACIONES ADICIONALES

Para el cálculo de la distancia máxima de iluminación hay que tener en cuenta una serie de potenciales efectos indeseados con una repercusión negativa sobre el resultado; algunos son difíciles de cuantificar, por lo que al dato que se obtenga deberán aplicársele determinados márgenes de corrección. Los más relevantes son:

1. Efecto Podium o *Podium Effect*. La iluminación de volúmenes de estructura variable (edificios, muros) puede provocar que su forma llegue a ensombrecer la reflexión en determinados sectores del esferoide, impidiendo



Figura 3
La colimación entre los distintos sensores y emisores de un TGP resulta fundamental. (Imagen: "cabeza" del Litening pod)

do su detección por parte de un sensor que se encuentre en la zona de oscurecimiento. Este riesgo puede mitigarse o incluso eliminarse posicionando al iluminador adecuadamente durante la designación, y garantizando la no presencia del seeker en zonas de "sombra".

2. "Rebose" o *Spot Spillover*. La pequeña divergencia del haz incidente hace que su diámetro aumente con la distancia. A grandes distancias, esto puede provocar que uno o los dos ejes de la elipse de proyección de dicho haz sobre la superficie de designación sea más grande que el objeto o estructura a designar, o dicho en otras palabras, que el rayo incidente "rebose". Este efecto puede (o no) significar una pérdida de energía reflejada difusamente en función de las características de la

superficie y de su entorno, pero lo que siempre supondrá es una considerable pérdida de precisión en el guiado del proyectil hacia el DPI, aumentando enormemente el tamaño de su círculo de error probable o CEP (*Circular Error Probable*). Su repercusión puede cuantificarse, siempre y cuando se conozcan también las características del entorno en el que va a reflejarse la energía rebosante.

3. "Agitación" del haz o *Beam Jitter*. La existencia de holguras mecánicas y de mínimas imperfecciones en los comandos de estabilización giroscópica de los TGP genera una cierta inestabilidad cíclica del dispositivo sobre el punto de designación. Este factor es difícil de cuantificar, pues su frecuencia e intensidad dependen de algunas variables intrínsecas de cada equipo y de otras circunstancias propias de cada caso concreto (velocidad, actitud del avión, etc.).

4. Error de Colimación o *Boresight Error*. Los sistemas de identificación (cámaras) y las fuentes de designación de un dispositivo de iluminación (LTD) suelen ir solidariamente unidos. Su alineado debe ser comprobado por personal especialista. Aunque algunos equipos son capaces de detectar un error de colimación excesivo durante su operación, inhibiendo el disparo láser tras superarse un cierto umbral, la mitigación de este error mediante la correspondiente acción de mantenimiento debe considerarse prioritaria, dada la imposibilidad de cuantificar el

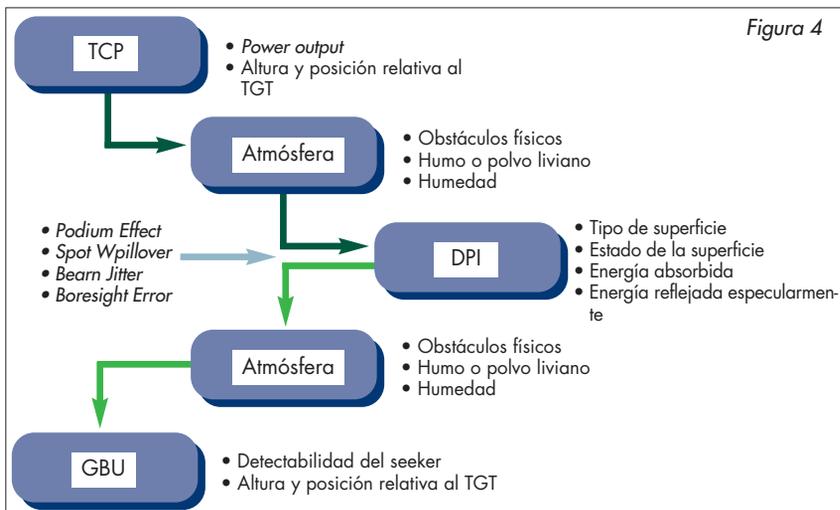


Figura 4
Factores degradantes de la transmisión láser que intervienen en el guiado de una GBU.

error a bordo y de las consecuencias negativas de su presencia.

SÍNTESIS DEL PROCESO COMPLETO

A modo de resumen, durante el proceso de guiado de una GBU intervienen los factores indicados en la figura 4.

Como resultado se obtendrá una distancia máxima teórica de recepción de la energía láser por parte del *seeker* en las condiciones presentadas. Comparando el valor obtenido con la distancia real de la bomba con respecto al DPI en un determinado momento podrá inferirse si es previsible una detección positiva (o seguimiento) del láser en ese instante.

La capacidad de predecir si el proyectil va a seguir la lógica de vuelo previa a la designación (*Midcourse*) o si se van a cumplir las ecuaciones de movimiento propias del guiado láser (*Terminal Guidance*) resulta de vital importancia y en ocasiones determinante, pudiendo suponer la diferencia entre el éxito del lanzamiento y un abultado error en el impacto.

Conviene aclarar que esto no quiere decir que una suelta de armamento más allá de la distancia máxima teórica de detección vaya a ser sistemáticamente un fracaso. Es necesario conocer el perfil de vuelo no guiado del proyectil en el modo de operación seleccionado para cada modelo de bomba concreto, al objeto de predecir su comportamiento y con ello pronosticar sus posibles consecuencias.

CONSIDERACIONES FINALES

Atrás queda una visión general sobre este crucial y complejo asunto. Veamos a continuación las claves de su contenido:

- En el planeamiento de una misión de ataque con armamento guiado por láser, es necesario tener en cuenta unas consideraciones generales relativas a la transmisión de la energía para que ésta pueda ser utilizada como fuente de guiado, y unas consideraciones específicas relativas al tipo de armamento y a su modo de operación. El presente artículo se ha centrado en el primer aspecto.



- El empleo de herramientas de cálculo teórico durante el planeamiento de una misión de combate no es una técnica autosuficiente que deba aislarse del resto del proceso ni actuar como sustituto de la experiencia o de la aplicación de las especificidades del escenario y de la misión. Se trata más bien de un requisito previo para poder aplicar estas últimas con la mayor probabilidad de éxito.

- Para el correcto funcionamiento de una bomba guiada en un ataque se precisa conocer la envolvente de reflexión difusa del láser generada alrededor del blanco. Además, se debe estar en condiciones de anticipar el comportamiento de la bomba antes y después de completar la adquisición del haz que le servirá de guía.

En vista de lo anterior, las unidades usuarias de este tipo de armamento, en

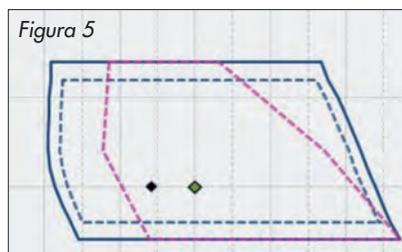


Figura 5
Ejemplo de reducción de envolvente de una GBU en un lanzamiento a distancia superior al alcance máximo de detección. (Fuente: C.15M Tactical Decision Aid)

aras de garantizar la máxima eficacia en el cumplimiento de su misión, deben disponer de herramientas de ayuda a la decisión integradas en el sistema de planeamiento de su sistema de armas que permitan el cálculo sistematizado de los parámetros expuestos.

(...) Han pasado solo unos segundos desde la última radiotransmisión (aquel lacónico "Laser ON"), pero la responsabilidad que recae sobre los pilotos de la formación "Marte" ha hecho que a ellos les haya parecido una eternidad. Finalmente, la incertidumbre del momento queda resuelta cuando el punto número dos informa a su líder energéticamente:

... Marte-2, Splash!

Desde una de las pantallas del avión responsable de la designación ha podido confirmarse un impacto directo sobre el punto deseado. El guiado ha sido correcto, aunque la valoración detallada de resultados tendrá que dejarse para después. Ahora no hay tiempo que perder: hay que salir de allí. Puede que la tarea asignada haya sido cumplida, pero la misión aún no ha terminado: aún es necesario que el último miembro de la formación tome tierra en la base de operación para estar en condiciones de notificar:

Formación Marte, misión cumplida sin novedad.