

Armamento láser, ¿ficción o realidad?

MOISES FERNANDEZ ALVARO,
Comandante Ingeniero Aeronáutico



MOISES M. FERNANDEZ ALVARO

NACIDO en Madrid en 1955, es Comandante del Cuerpo de Ingenieros Aeronáuticos del Ejército del Aire. Es Ingeniero Aeronáutico. Licenciado en Ciencias Físicas y Master en Ingeniería Física (Especialidad Óptica-Láser) por el Instituto de Tecnología de la Fuerza Aérea de los EE.UU., y está destinado actualmente en la Dirección de Sistemas (Programas I + D) del Mando de Material del Ejército del Aire. Ha realizado Cursos de Ensayos, de Ensayos No Destructivos, Estadística de Empresa, Control de Calidad, Técnicas de Propulsión y Diseño de Misiles, y de Tecnología Láser en diversos Organismos de la Administración. Desde 1987 es miembro de la American Physical Society.

INTRODUCCION

EL 23 de marzo de 1983 el presidente de los EE.UU. Ronald Reagan solicitó al país y a su comunidad científica y tecnológica hacer un gran esfuerzo físico e intelectual para encontrar una alternativa a la política actual de mantener la seguridad nacional a través de la amenaza de represalias para defender un ataque de misiles balísticos. La consecuencia de aquel discurso fue la puesta en marcha de un gigantesco programa de investigación y desarrollo para asegurar la defensa contra misiles balísticos (BMD) denominado Iniciativa de Defensa Estratégica (SDI). En dicho programa, ya comentado en esta Revista en 1986, las armas de energía dirigida (DEW) jugarán un papel crucial estando previsto desarrollar en la segunda fase armas láser estacionadas en tierra y en el espacio.

La potencialidad de la utilización estratégica de los láseres de alta potencia se basa en su capacidad de suministrar energía destructiva a la velocidad de la luz a un blanco lejano, y con una alta cadencia de disparo. El potencial armamentístico fue muy pronto reconocido, e incluso poco después de la demostración práctica de los primeros láseres a comienzos de los sesenta fue denominado "rayo de la muerte" y rápidamente incorporado al "arsenal" de la ciencia ficción.

Pero no hay que irse tan lejos; su utilización como armamento táctico en situaciones con línea de visión directa está ya en camino. Casos como el de la irradiación de aviones de vigilancia marítima desde barcos ocasionando ceguera temporal o permanente en la tripulación, o el de la utilización de designadores láser instalados en tanques para cegar sensores y soldados han aparecido ya durante los dos últimos años en revistas especializadas.

PRINCIPIOS DE DISEÑO

EL objetivo de un arma láser consiste en apuntar sobre un blanco el haz que transporta energía suficiente para poner fuera de funcionamiento una parte vital de un sistema, o para neutralizarle o destruirle. En el arma láser toda la energía se produce en el emisor —el láser—, se enfoca con la óptica de salida (que puede ser fija, no lineal o adaptativa), y se transporta en el haz láser a través de la atmósfera. Las principales ventajas son: la rapidez de intervención (el haz alcanza el blanco a la velocidad de la luz), la posibilidad de depositar en el blanco una elevadísima densidad de energía y una gran precisión de impacto.

Dada la gran energía que debe liberar, el láser ha de tener un rendimiento energético elevado y debe ser capaz de minimizar y compensar las interacciones del haz con el medio de propagación. Las características principales que deben elegirse en el diseño son: longitud de onda, modo de funcionamiento (continuo o pulsado), potencia o energía de salida y la óptica de enfoque.

LOS EFECTOS DEL LASER

EL haz láser puede enfocarse dentro de un ángulo muy estrecho concentrando toda su energía en una pequeña área del blanco. La densidad de energía depositada (fluencia, J/cm²) y por tanto el daño causado depende fundamentalmente del nivel de potencia del láser, de la transparencia del medio de propagación, de la distancia al blanco y del diseño de dicho blanco.

Pueden considerarse dos tipos de efectos:

- efecto destructivo o "hard kill"
- efecto de incapacidad o "soft kill"

En el efecto "hard kill" el mecanismo de daño es el rápido incremento del calor en la superficie del blanco. La temperatura del material se eleva hasta que se equilibran la potencia absorbida y las pérdidas térmicas por conducción, convección y radiación; a partir de ese momento la energía adicional incidente produce la fusión y vaporización del material. Con la utilización de láseres pulsados se pueden producir ondas de choque adicionales que aceleran el daño estructural; una adecuada selección de la frecuencia de repetición de pulsos y de la duración de dichos pulsos acorde con el coeficiente de difusividad térmica del material maximiza el efecto destructor.

El efecto "soft kill" incluye las posibilidades anti-personal y anti-sensor. Láseres de baja potencia son capaces de causar daño permanente en sensores electro-ópticos que trabajan en el visible, infrarrojo y ultravioleta cercano; así pues equipos de visión nocturna, telémetros, cámaras de TV de baja intensidad de luz, cámaras de termografía IR para observación en ausencia total de luz, equipos de seguimiento TV/IR, equipos de vigilancia y alerta lejana en IR, y sensores pasivos para detección e identificación de blancos son susceptibles de ser interferidos e inutilizados. Igualmente estos láseres son capaces de impedir temporal o permanentemente la visión del piloto consiguiéndose el aborto de la misión e incluso la pérdida del aparato. La luz visible ($0.4-0.7 \mu\text{m}$) y del infrarrojo cercano (hasta $1.4 \mu\text{m}$) se absorbe en la retina sin sensación de dolor, mientras que la del infrarrojo lejano (hasta $14 \mu\text{m}$) y del ultravioleta cercano se absorben en la córnea y cristalino ocasionando gran dolor. Además, densidades de energía concentrada próximas a 1 mW/cm^2 producen efecto no-térmico en los sistemas cardio-vascular y neuronal, alcanzándose efectos térmicos severos en el tejido humano para valores superiores a 10 mW/cm^2 .

INFLUENCIA DE LA ATMOSFERA

La atmósfera tiende a atenuar, deformar y dispersar la luz; además de la turbulencia atmosférica, existencia de aerosoles, nieblas o lluvias existe otro fenómeno muy importante en la propagación de haces de alta energía que es el de una fuerte ionización térmica ("thermal blooming") de la atmósfera que atraviesa el haz láser; esta transferencia de energía produce una alteración local del equilibrio termodinámico que se traduce en una modificación local del índice de refracción e incluso en la reflexión de la energía radiada.

Estos fenómenos pueden ser compensados utilizando técnicas de óptica adaptativa; la corrección del frente de onda de la radiación láser emitida se produce realimentando la deformación de la óptica con la señal reflejada por el blanco.

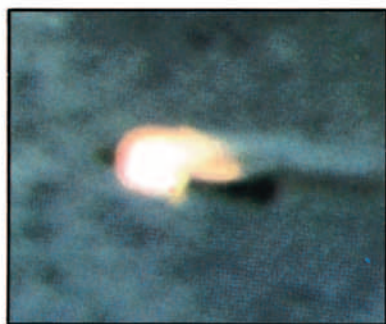
TIPOS DE EMISORES LASER

Los láseres susceptibles de ser empleados en armamento táctico pueden clasificarse en cinco tipos:

1. Láseres de gas con bombeo eléctrico

La transferencia de energía al nivel energético superior se produce por medio de colisiones electrónicas; con una elección adecuada de los parámetros de bombeo pueden excitarse estados electrónicos, vibracionales o rotacionales, obteniéndose láseres capaces de operar desde el ultravioleta hasta el infrarrojo lejano. Dicha excitación se obtiene con una descarga eléctrica o un haz de electrones.

A esta clase pertenecen entre otros los bien conocidos láseres de CO_2 ($10.6 \mu\text{m}$) y CO ($5.31 \mu\text{m}$) considerados como buenos candidatos a corto plazo para utilización en armas de alta energía aprovechando la alta transparencia atmosférica en dichas longitudes de onda; se han conseguido láseres en ciclo cerrado de CO_2 con potencias de pico de



Secuencia de un derribo de un misil supersónico en vuelo con un láser químico de infrarrojos IR del Programa MIRACL.

hasta 1 MW aptos para utilización militar y capaces de sintonizarse en un cierto intervalo alrededor de la frecuencia nominal dependiendo de la presión de funcionamiento del sistema. La fabricación de este tipo de láseres de baja energía cada vez más compactos y fiables promete asimismo amplia utilización militar en designadores, localizadores y radar láser (LIDAR).

2. Láseres de gas dinámico (GDL)

Tienen la ventaja de que la fuente de energía está almacenada como energía química en los reactantes usados en el proceso de combustión; a la alta presión creada en dicha combustión le sigue una expansión supersónica, originándose en este proceso la excitación del medio láser gaseoso (CO_2 , CO o N_2O).

Con este láser se pueden conseguir valores altos de potencia continua. Ello ha propiciado su utilización en el experimento ALE (Airborne Laser Experiment) que utiliza un láser de 400 kW de salida a bordo de un avión Boeing NKC-135.

3. Láseres químicos

La excitación del medio activo se produce por una reacción química exotérmica iniciada por una descarga eléctrica, una fotólisis o un bombardeo con haz de electrones.

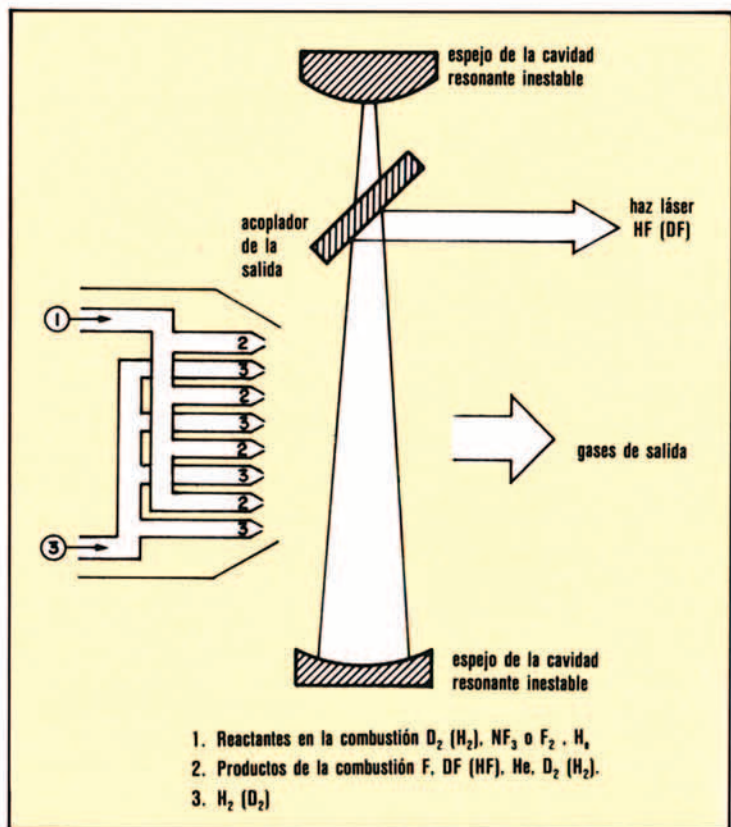
Los dispositivos de este tipo mejor desarrollados hasta el presente son los láseres de onda continua de fluoruro de deuterio, DF (desde $3.6 \mu\text{m}$ a $4.0 \mu\text{m}$) y de fluoruro de hidrógeno, HF (desde $2.5 \mu\text{m}$ a $2.8 \mu\text{m}$). Descubiertos en 1965 la acción láser se produce mediante una reacción en cadena entre H_2 y F_2 iniciada con una descarga eléctrica en una mezcla de H_2 y varios freones (hidrocarburos fluorados).

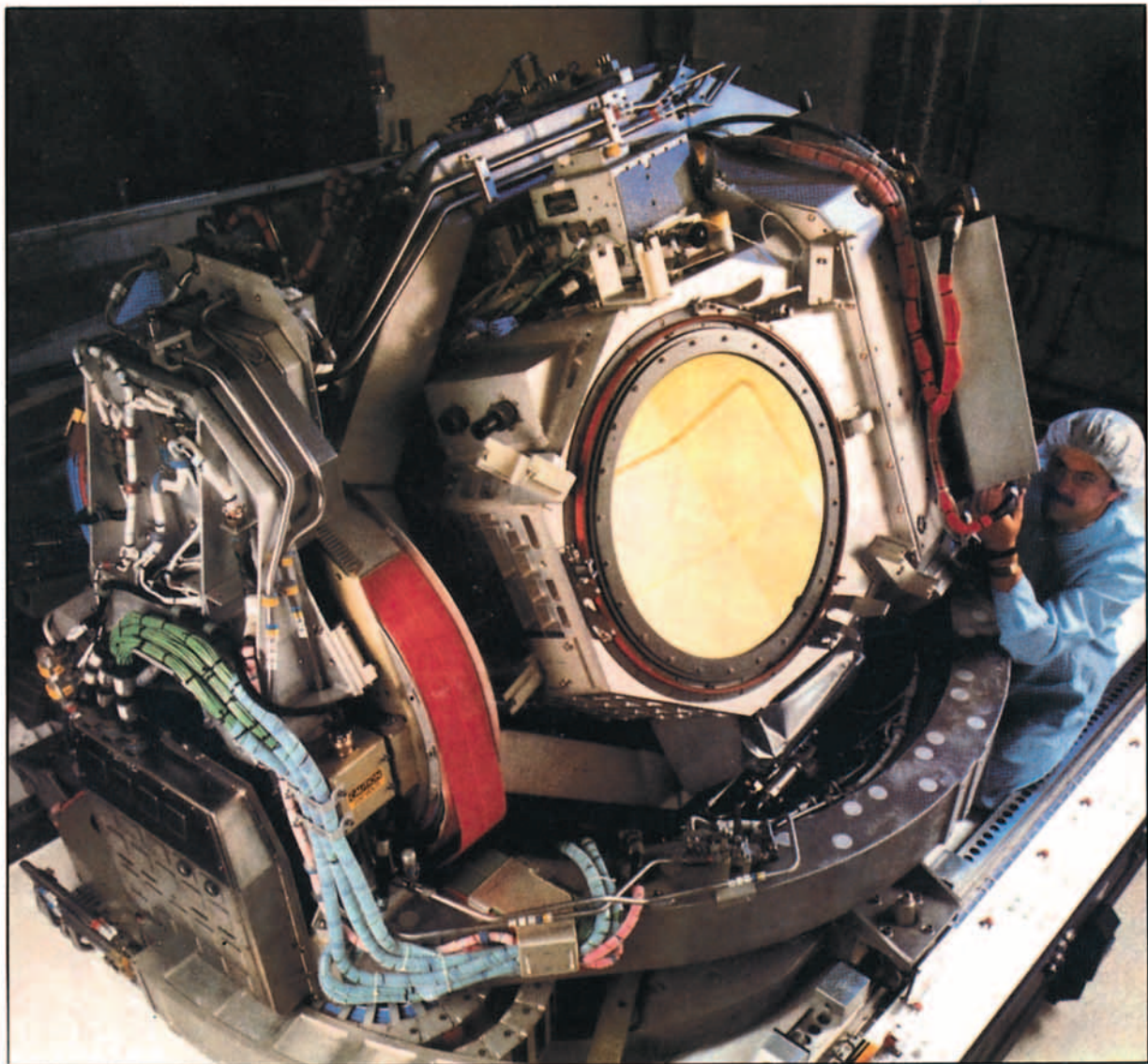
Gran parte de la experiencia ingenieril orientada a situar un láser en el espacio (el proyecto americano ALPHA) se ha obtenido con el proyecto de la Marina de los EE.UU. denominado MIRACL (mid-infrared advanced chemical laser), que utiliza un láser de DF de onda continua con potencia superior a 1 MW cuya configuración se presenta en el esquema. En febrero pasado la prensa ha informado que se había realizado con éxito una prueba del MIRACL situado en tierra, derribándose en vuelo un misil supersónico aire-tierra; ello confirma las expectativas de utilización táctica del MIRACL en la defensa aérea contra aviones y misiles de motor atmosférico. Con similares objetivos se encuentra en desarrollo en EE.UU. el proyecto EMRLD (excimer mid-range raman-shifted laser) que utiliza un láser de excimeros de XeF —del tipo de láseres de gas con bombeo eléctrico por haz de electrones— funcionando en el ultravioleta cercano ($0.351 \mu\text{m}$) desplazado al azul ($0.41 \mu\text{m}$) para obtener una óptima propagación atmosférica, en régimen pulsado (100 Hz) con potencias de hasta 30 Kw.

Otro tipo en el que actualmente se concentran grandes esfuerzos por la posibilidad de acoplar coherentemente varias unidades hasta obtener altas energías (se piensa en 100 MW con módulos de 25 kW cada uno) es el COIL (chemical oxygen-iodine laser) cuya primera demostración operativa fue en 1978. El sistema de funcionamiento está basado en la transferencia de energía cinética de átomos de oxígeno excitado —producidos químicamente— a átomos de yodo. Actualmente es el láser químico de alta energía cuya longitud de onda de funcionamiento es la más corta ($1.315 \mu\text{m}$), lo cual disminuye la limitación por difracción del tamaño mínimo de mancha comparándolo con otros láseres de alta energía que trabajan en longitudes de onda superiores, 2.5, 3.6 o $10.6 \mu\text{m}$. Puede funcionar en modo continuo y pulsado, siendo este último el óptimo para acoplamiento múltiple. La radiación de salida puede desplazarse al visible doblando o triplicando la frecuencia utilizándose cristales no lineales o cavidades resonantes con átomos metálicos en estado de vapor.

4. Láseres bombeados ópticamente

Esta clase es la más variada y versátil; el bombeo puede realizarse con lámparas flash, con diodos láser o con la sa-





Ventana de ZnSe para un sensor de infrarrojos para misiles lejanos.

lida en el visible de otros láseres. Incluso se ha llegado a experimentar con éxito utilizando luz solar concentrada.

La excitación del medio activo se produce con la absorción selectiva —en una o varias longitudes de onda— de los fotones de bombeo, y la acción láser al emitirse en otra u otras longitudes de onda. El medio activo puede ser líquido —láseres de tinte— o sólidos, siendo transparentes a la longitud de onda de emisión láser y fuertemente absorbentes a la longitud de onda de bombeo. Su funcionamiento puede ser tanto en modo continuo como pulsado. A este tipo pertenece el láser más común: el láser de estado sólido en el que un material cristalino se dopa selectivamente con impurezas que constituyen el material activo en la acción láser; los iones activos (Cr^{3+} , Nd^{3+}) se incrustan en la red cristalina de aluminatos tales como el corindón (Al_2O_3), el YAG (yttrium aluminium garnet), la alejandrita, etc., originándose los bien conocidos láseres de rubí —el primer láser operativo en 1960 por T. Maiman— y el de Nd:YAG. La gran ventaja de estos láseres es la alta potencia de salida que son capaces de producir en relación al tamaño, complejidad de diseño y fiabilidad comparados con otros tipos de alta energía.

Los láseres de tinte utilizan un tinte orgánico como medio activo siendo en la mayoría de los casos bombeados por otro láser. Su peculiaridad específica estriba en que se pueden sintonizar en un ancho de banda relativamente amplio, lo cual unido a una óptica seleccionable permitiría una agilidad de frecuencia muy deseable en ambiente de contramedidas ópticas; en este sentido ofrece gran porvenir el láser de estado sólido de Ti:Zafiro recientemente salido al mercado sintonizable entre 0.7 y 1.0 μm .

En la mayoría de las aplicaciones militares uno de los requisitos críticos es la reducción del tamaño y peso del láser, e incrementar su fiabilidad. Por ello los láseres de estado sólido son los más utilizados en designadores, localizadores, equipos FLIR (forward looking infrared), telémetros, etc.



Fotografía de un sistema de alerta láser para helicópteros.



Un radar láser (LIDAR).

Una potencial aplicación en armamento táctico implica disponer de una energía de salida superior a un Julio, por ello se trabaja actualmente en:

- Tecnologías que permitan incrementar la densidad de empaquetado de diodos láser con objeto de aumentar la energía de bombeo.
- Tecnologías de fabricación de grandes mono-cristales con mínimas imperfecciones en su red cristalina.
- Tecnologías de recubrimientos dieléctricos multicapa de los elementos ópticos del sistema (espejos, cristales no lineales de conversión de frecuencia, cristales de modulación para Q-switching, etc.).

Igualmente se está investigando en la consecución de anchos de pulso mayores (en el rango de milisegundos o decenas de microsegundo) ya que se consideran más eficientes para aplicación como arma que los actuales con una anchura típica del orden del nanosegundo.

5. Láseres de semiconductor

Los diodos láser de semiconductor son una de las tecnologías emergentes con gran potencial para revolucionar todas las aplicaciones militares del láser. Su desarrollo es análogo al de los transistores, y su evolución hacia los circuitos integrados con los consiguientes beneficios en costo, tamaño, peso, manejabilidad y fiabilidad del equipo justifica las grandes cantidades invertidas en investigación desde su invención en 1962. La posibilidad de acoplar la salida de sucesivos módulos proporciona una enorme versatilidad para aplicaciones que requieran desde fracciones de vatio a miles de vatios. A esta clase pertenecen los láseres de inyección de GaAlAs y GaInP, y los de bombeo por haz de electrones (que utilizan CdS y ZnS), en los que se investiga para obtener potencia continua de salida superior a 1 vatio con eficiencias superiores al 40%.

6. Otros candidatos

El láser de electrones libres (FEL) utiliza las oscilaciones coherentes de un haz relativista de electrones —con velocidades cercanas a la de la luz— para generar radiación óptica coherente. Con una adecuada selección de parámetros de diseño este tipo de láser puede sintonizarse en una amplia banda del espectro electromagnético que va desde las microondas al ultravioleta. Además, los primeros desarrollos prometen altas eficiencias con muy altas potencias de salida. Sus aplicaciones militares se centran en proyectos de armas de energía dirigida situadas tanto en tierra como en el espacio. No obstante, dado el tamaño proyectado para este láser, se considera más adecuado para misiones estratégicas que para utilización táctica.

CONCLUSION

COMO fácilmente puede deducirse la plena incorporación operativa del láser de alta energía al arsenal táctico revolucionaría el armamento utilizable, las medidas defensivas, las técnicas de operación, etc., es decir, el propio campo de batalla. La balanza claramente se inclinaría hacia el lado del nivel tecnológico superior.

La sucesiva enumeración de tecnologías afines y de desarrollos básicos de la física que coadyuvan al logro de este tipo de armamento demuestra la necesidad para un país de invertir también en investigación básica (no sólo aplicada), cuyos beneficios redundan tanto en aplicaciones civiles como militares.

Finalmente, el estado actual de muchos de los desarrollos enumerados permite asegurar que el armamento láser de utilización táctica será ampliamente incorporado al arsenal convencional en un futuro muy próximo. ■