

L A S E R .

INTRODUCCIÓN Láser, dispositivo de amplificación de luz por emisión estimulada de radiación. Los láseres son aparatos que amplifican la luz y producen haces de luz coherente; su frecuencia va desde el infrarrojo hasta los rayos X. Un haz de luz es coherente cuando sus ondas, o fotones, se propagan de forma acompasada, o en fase. Esto hace que la luz láser pueda ser extremadamente intensa, muy direccional, y con una gran pureza de color (frecuencia). Los máseres son dispositivos similares para microondas.

PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

Los láseres obligan a los átomos a almacenar luz y emitirla en forma coherente. Primero, los electrones de los átomos del láser son bombeados hasta un estado excitado por una fuente de energía. Después, se los `estimula' mediante fotones externos para que emitan la energía almacenada en forma de fotones, mediante un proceso conocido como emisión estimulada. Los fotones emitidos tienen una frecuencia que depende de los átomos en cuestión y se desplazan en fase con los fotones que los estimulan. Los fotones emitidos chocan a su vez con otros átomos excitados y liberan nuevos fotones. La luz se amplifica a medida que los fotones se desplazan hacia atrás y hacia adelante entre dos espejos paralelos desencadenando nuevas emisiones estimuladas. Al mismo tiempo, la luz láser, intensa, direccional y monocromática, se `filtra' por uno de los espejos, que es sólo parcialmente reflectante.

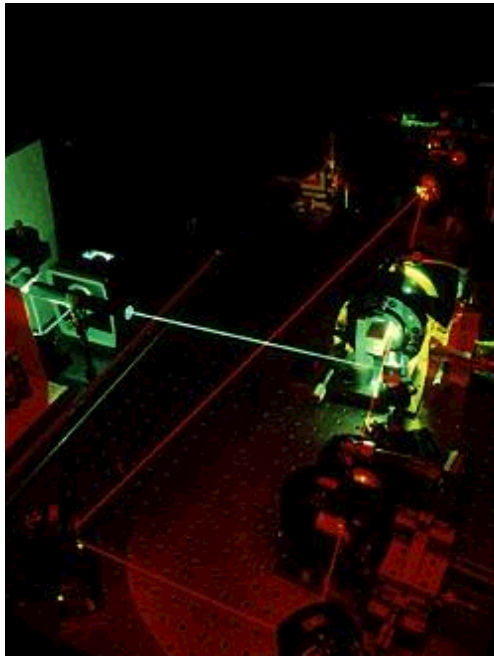
La emisión estimulada, el proceso en que se basa el láser, fue descrita por primera vez por Albert Einstein en 1917. En 1958, los físicos estadounidenses Arthur Schawlow y Charles Hard Townes describieron a grandes rasgos los principios de funcionamiento del láser en su solicitud de patente. Obtuvieron la patente, pero posteriormente fue impugnada por el físico e ingeniero estadounidense Gordon Gould. En 1960, el físico estadounidense Theodore Maiman observó el primer proceso láser en un cristal de rubí. Un año más tarde, el físico estadounidense nacido en Irán Alí Javan construyó un láser de helio-neón. En 1966, el físico estadounidense Peter Sorokin construyó un láser de líquido. En 1977, el Tribunal de Patentes de Estados Unidos confirmó una de las reivindicaciones de Gould en relación con los principios de funcionamiento del láser.

TIPOS DE LÁSER

Según el medio que emplean, los láseres suelen denominarse de estado sólido, de gas, de semiconductores o líquidos.

Láseres de estado sólido Los medios más comunes en los láseres de estado sólido son varillas de cristal de rubí o vidrios y cristales con impurezas de neodimio. Los extremos de la varilla se tallan de forma que sus superficies sean paralelas y se recubren con una capa reflectante no metálica. Los láseres de estado sólido proporcionan las emisiones de mayor energía. Normalmente funcionan por pulsos, generando un destello de luz durante un tiempo breve. Se han logrado pulsos de sólo $1,2 \times 10^{-14}$ segundos, útiles para estudiar fenómenos físicos de duración muy corta. El bombeo se realiza mediante luz de tubos de destello de xenón, lámparas de arco o lámparas de vapor metálico. La gama de frecuencias se ha ampliado desde el infrarrojo (IR) hasta el ultravioleta (UV) al multiplicar la frecuencia original del láser con cristales de dihidrogenofosfato de potasio, y se han obtenido longitudes de onda aún más cortas, correspondientes a rayos X, enfocando el haz de un láser sobre blancos de itrio.

Láseres de gas



El medio de un láser de gas puede ser un gas puro, una mezcla de gases o incluso un vapor metálico, y suele estar contenido en un tubo cilíndrico de vidrio o cuarzo. En el exterior de los extremos del tubo se sitúan dos espejos para formar la cavidad del láser. Los láseres de gas son bombeados por luz ultravioleta, haces de electrones, corrientes eléctricas o reacciones químicas. El láser de helio-neón resalta por su elevada estabilidad de frecuencia, pureza de color y mínima dispersión del haz. Los láseres de dióxido de carbono son muy eficientes, y son los láseres de onda continua (CW, siglas en inglés) más potentes.

Láseres de semiconductores Los láseres de semiconductores son los más compactos, y suelen estar formados por una unión entre capas de semiconductores con diferentes propiedades de conducción eléctrica. La cavidad del láser se mantiene confinada en la zona de la unión mediante dos límites reflectantes. El arseniuro de galio es el semiconductor más usado. Los láseres de semiconductores se bombean mediante la aplicación directa de corriente eléctrica a la unión, y pueden funcionar en modo CW con una eficiencia superior al 50%. Se ha diseñado un método que permite un uso de la energía aún más eficiente. Implica el montaje vertical de láseres minúsculos, con una densidad superior al millón por centímetro cuadrado. Entre los usos más comunes de los láseres de semiconductores están los reproductores de discos compactos y las impresoras láser.

Láseres líquidos Los medios más comunes en los láseres líquidos son tintes inorgánicos contenidos en recipientes de vidrio. Se bombean con lámparas de destello intensas cuando operan por pulsos o por un láser de gas cuando funcionan en modo CW. La frecuencia de un láser de colorante sintonizable puede modificarse mediante un prisma situado en la cavidad del láser.

Láseres de electrones libres En 1977 se desarrollaron por primera vez láseres que emplean para producir radiación haces de electrones, no ligados a átomos, que circulan a lo largo de las líneas de un campo magnético; actualmente están adquiriendo importancia como instrumentos de investigación. Su frecuencia es regulable, como ocurre con los láseres de colorante, y en teoría un pequeño número podría cubrir todo el espectro, desde el infrarrojo hasta los rayos X. Con los láseres de electrones libres debería generarse radiación de muy alta potencia que actualmente resulta demasiado costosa de producir.

APLICACIONES DEL LÁSER

Los posibles usos del láser son casi ilimitados. El láser se ha convertido en una herramienta valiosa en la

industria, la investigación científica, la tecnología militar o el arte.

Industria

Es posible enfocar sobre un punto pequeño un haz de láser potente, con lo que se logra una enorme densidad de energía. Los haces enfocados pueden calentar, fundir o vaporizar materiales de forma precisa. Por ejemplo, los láseres se usan para taladrar diamantes, modelar máquinas herramientas, recortar componentes microelectrónicos, calentar chips semiconductores, cortar patrones de moda, sintetizar nuevos materiales o intentar inducir la fusión nuclear controlada. El potente y breve pulso producido por un láser también hace posibles fotografías de alta velocidad con un tiempo de exposición de algunas billonésimas de segundo. En la construcción de carreteras y edificios se utilizan láseres para alinear las estructuras.

Investigación científica Los láseres se emplean para detectar los movimientos de la corteza terrestre y para efectuar medidas geodésicas. También son los detectores más eficaces de ciertos tipos de contaminación atmosférica. Los láseres se han empleado igualmente para determinar con precisión la distancia entre la Tierra y la Luna y en experimentos de relatividad. Actualmente se desarrollan conmutadores muy rápidos activados por láser para su uso en aceleradores de partículas, y se han diseñado técnicas que emplean haces de láser para atrapar un número reducido de átomos en un vacío con el fin de estudiar sus espectros con una precisión muy elevada. Como la luz del láser es muy direccional y monocromática, resulta fácil detectar cantidades muy pequeñas de luz dispersa o modificaciones en la frecuencia provocadas por materia. Midiendo estos cambios, los científicos han conseguido estudiar las estructuras moleculares. Los láseres han hecho que se pueda determinar la velocidad de la luz con una precisión sin precedentes; también permiten inducir reacciones químicas de forma selectiva y detectar la existencia de trazas de sustancias en una muestra.

Comunicaciones La luz de un láser puede viajar largas distancias por el espacio exterior con una pequeña reducción de la intensidad de la señal. Debido a su alta frecuencia, la luz láser puede transportar, por ejemplo, 1.000 veces más canales de televisión de lo que transportan las microondas. Por ello, los láseres resultan ideales para las comunicaciones espaciales. Se han desarrollado fibras ópticas de baja pérdida que transmiten luz láser para la comunicación terrestre, en sistemas telefónicos y redes de computadoras. También se han empleado técnicas láser para registrar información con una densidad muy alta. Por ejemplo, la luz láser simplifica el registro de un holograma, a partir del cual puede reconstruirse una imagen tridimensional mediante un rayo láser.

Medicina

Con haces intensos y estrechos de luz láser es posible cortar y cauterizar ciertos tejidos en una fracción de segundo sin dañar al tejido sano circundante. El láser se ha empleado para 'soldar' la retina, perforar el cráneo, reparar lesiones y cauterizar vasos sanguíneos. También se han desarrollado técnicas láser para realizar pruebas de laboratorio en muestras biológicas pequeñas.

Tecnología militar Los sistemas de guiado por láser para misiles, aviones y satélites son muy comunes. La capacidad de los láseres de colorante sintonizables para excitar de forma selectiva un átomo o molécula puede llevar a métodos más eficientes para la separación de isótopos en la fabricación de armas nucleares.

MEDIDAS DE SEGURIDAD

El principal peligro al trabajar con láseres es el daño ocular, ya que el ojo concentra la luz láser igual que cualquier otro tipo de luz. Por eso, el haz del láser no debe incidir sobre los ojos directamente ni por reflexión. Un láser debe ser manejado por personal experto equipado con gafas o anteojos de seguridad.

LÁSER ATÓMICO En enero de 1997, un equipo de físicos estadounidenses anunció la creación del primer láser compuesto de materia en vez de luz. Del mismo modo que en un láser de luz cada fotón viaja en la misma dirección y con la misma longitud de onda que cualquier otro fotón, en un láser atómico cada átomo se

comporta de la misma manera que cualquier otro átomo, formando una onda de materia coherente.

Los científicos confían en las numerosas e importantes aplicaciones potenciales de los láseres atómicos, aunque presenten algunas desventajas prácticas frente a los láseres de luz debido a que los átomos están sujetos a fuerzas gravitatorias e interaccionan unos con otros de forma distinta a como lo hacen los fotones.

El artículo *Cirugía con láser* muestra las muchas aplicaciones que el láser presenta en el tratamiento de distintas enfermedades, como la limpieza de la luz de las arterias, la disgregación de cálculos renales o la eliminación de cataratas. El texto que se reproduce a continuación muestra algunas de estas aplicaciones.

Fragmento de *Cirugía con láser*.

De Michael W. Berns.

Los primeros cirujanos recurrían a ese haz luminoso por el calor intenso que generaba. Esa propiedad sigue explotándose todavía, merced a la especificidad de su efecto destructor y al control preciso que permite tener de su operación. Si la longitud de onda de la luz del láser coincide con la banda de absorción de la zona diana, esta zona absorberá la luz del láser y sufrirá la agresión consiguiente.

Demos un ejemplo. La melanina de la retina es un pigmento de color marrón oscuro que absorbe el haz verde del láser de argón. Ello nos dice que el láser de argón puede destruir regiones específicas de la retina sin dañar otras zonas del ojo, que absorben luz de diferentes longitudes de onda. Mediante este procedimiento se puede tratar eficazmente la retinopatía diabética, una enfermedad degenerativa que causa buena parte de las cegueras adquiridas.

Las manchas rojas de nacimiento absorben también el haz del láser de argón, que será azul o verde a tenor de su longitud de onda. La luz destruye los cientos de vasos sanguíneos que se encuentran debajo mismo de la capa exterior de la piel y le confieren el color característico. Aunque en este caso la cirugía con láser es preferible a la incisión e injerto de la piel, la técnica tiene sus inconvenientes. El calor generado por el haz podría extenderse a otras zonas adyacentes a los vasos sanguíneos anómalos y producir cicatrices o pérdidas de pigmentación.

El evitar esos efectos secundarios constituyó un hito en la cirugía láser. En 1983, R. Rox Anderson y John Parrish, de la Universidad de Harvard, sugirieron que exposiciones cortas, inferiores a una milésima de segundo, a luz intensa destruirían la zona de absorción sin dañar el tejido adyacente. El proceso de absorción de la energía y la subsiguiente disipación del calor requerían, argumentaban, menos tiempo que la transferencia de ese calor a las zonas contiguas. Por tanto, la destrucción selectiva de las zonas diana pigmentadas tendría dos requisitos: absorción de luz preferente y pulsación luminosa suficientemente corta.

Se demostró que esta teoría era cierta. La fototermólisis selectiva, nombre que recibe la técnica, ha permitido mejorar notablemente el tratamiento de las manchas rojas de la piel. También se ha mostrado eficaz para eliminar tatuajes. Se puede evitar la cicatrización emitiendo el haz de láser en pulsos cortos, en vez de emitirlo de forma continua o en pulsos largos, que duran apenas la cuarta parte de un segundo. (Lo ideal sería que admitiesen un uso continuo para propagar los efectos térmicos allende la zona de absorción o un empleo en pulsos cortos para circunscribir la destrucción a la zona diana.)

Ahora bien, en determinadas circunstancias, la propia extensión de las lesiones que produce el calentamiento mayor y más prolongado del tejido puede resultar una ventaja. Pensemos en el cirujano que se propone destruir una zona dañada del hígado sin producir hemorragias importantes; o en el ginecólogo que desea extirpar un tumor cervical maligno en fase inicial y utilizar simultáneamente el calor para obturar los capilares adyacentes que contribuyen al sangrado. En ambos casos, la exposición prolongada al láser de onda continua

(a diferencia del láser de pulsos cortos) reduce la hemorragia gracias a que el calor se extiende a los capilares cercanos. Para estas situaciones, podemos recurrir a un láser de CO₂ con una longitud de onda de 10,6 micrometros, ya que es absorbido por el componente dominante en los tejidos: el agua.

Aunque para determinados procedimientos médicos se exigirá un haz continuo, y por tanto con efectos térmicos, el láser de pulsos sirve también para destruir tejido. Mi colaborador J. Stuart Nelson ha demostrado que el láser de erbio-itrinio-aluminio-granate (YAG), con una longitud de onda de 2,9 micrometros y una duración de pulso de 200 microsegundos, elimina con limpieza tejido óseo calcificado. En la parte opuesta del espectro visible se encuentra el láser excímero de cloruro de xenón, que se sitúa en la región ultravioleta del espectro con 0,308 micrometros y una duración de pulso de 10 nanosegundos (un nanosegundo es la milmillonésima parte del segundo). Este láser puede vaporizar el hueso sin apenas producir lesiones térmicas secundarias.

Aunque estos dos tipos de láser vienen a producir idénticos efectos en los tejidos, operan de manera muy distinta. La energía del fotón ultravioleta decuplica la del fotón procedente del láser de erbio YAG, energía que se destina probablemente a la ruptura de los enlaces moleculares en el tejido diana a través de un proceso no térmico llamado fotodisociación molecular.

Cuando el tejido y sus células absorben la intensa luz del láser, la energía debe disiparse. Esta pérdida adquiere distintas formas: calor (ya explicado), fotodisociación, ondas de choque, reacciones químicas o fluorescencia. Los médicos utilizan todos estos efectos para manipular o estudiar las células y los tejidos de manera muy precisa y con fines diagnósticos o terapéuticos. Abanico de efectos que facultan para mejor acometer la microcirugía subcelular.

Más aún. Con el acoplamiento del láser con otras técnicas, pensemos en la fibra óptica, se consiguen efectos no térmicos y térmicos en partes del organismo antes inaccesibles. En ese contexto, los cirujanos se sirven de fibras ópticas y sondas para inyectar luz de láser a través de las paredes del tórax y tratar dos alteraciones pulmonares muy graves: el neumotórax espontáneo y el enfisema severo. En el primer caso, la persona sana sufre una rotura o escape en uno de los pulmones. Se puede recurrir al láser para cerrar el escape, tal y como descubrieron mis colaboradores Akio Wakabayashi y Matthew Brenner, de la Universidad de California en Irvine. No se necesita, pues, la intervención quirúrgica tradicional.

El mismo procedimiento viene en nuestro auxilio para tratar el enfisema, que, en distintos grados, afecta a muchos millones de personas. Se aplica un láser de CO₂ canalizado a través de un orificio en la pared torácica a las frágiles ampollas, *bullae*, que ocupan amplias zonas de los pulmones. El calor del láser encoge las ampollas cerrando los escapes y disminuyendo el riesgo de nuevas roturas.

Fuentes: Berns, Michael W. *Cirugía con láser*. Libros de Investigación y Ciencia: Láseres. Barcelona. Prensa Científica.

Carrol, J. M. *Fundamentos y aplicaciones del láser*. Barcelona: Editorial Boixareu, 1978. Libro de divulgación en el que se exponen, muy brevemente, los conceptos y las teorías físicas acerca del láser.

Han, M. *La vida secreta de los cuantos*. Madrid: Editorial McGraw-Hill, 1992. Libro de divulgación en el que se exponen las nuevas tecnologías vinculadas a la cuántica: ordenadores, láser y superconductores.

Hecht, J. y Teresi, D. *El rayo láser*. Barcelona: Editorial Argos Vergara, 1982. Obra de divulgación en la que tras una breve exposición de los fundamentos del láser se explican un gran número de aplicaciones.

Mauldin, John. *Luz, láser y óptica*. Madrid: Editorial McGraw-Hill, 1991. Libro de divulgación. Investiga los problemas del desarrollo de los láseres de alta potencia y analiza los problemas de la holografía y las imágenes en tres dimensiones.

Orza Segade, J. M. y otros. *Láseres. En colección Nuevas Tendencias*. Madrid: Ediciones C.S.I.C., 1986. Obra conjunta de varios autores y en la que con un nivel superior se exponen algunas de sus aplicaciones y se comenta el grado de implantación de la tecnología láser en el mundo.

Ostapchenko, E. *Iniciación al láser*. Barcelona: Marcombo, 1975. Obra de divulgación, destaca por su extensión la parte dedicada a las aplicaciones del láser.

Tsibulkin, B. *Holografía*. Moscú: Editorial Mir, 1992. En este libro, traducido al castellano, se describen en un lenguaje ameno y sin tecnicismos los fundamentos de la holografía física y digital.