

El Láser: un invento impresionante

Claudia Sifuentes¹, Sonia Torres², Ma. Auxiliadora Araiza¹, Gerardo Miramontes¹, Ismael de la Rosa¹

The laser: an amazing invention

Recibido: enero 11, 2011

Aceptado: abril 2, 2011

Palabras clave: Laser; amplificador de luz; monocromaticidad

Abstract:

The word LASER is an acronym for Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. A laser is a light amplifier which is capable of producing an intense beam of photons that have special features: brightness, monochromaticity, coherence and directionality. To use a laser, you must have knowledge of them, the characteristics of each one and select the appropriate application.

Keywords: Laser; light amplifier; monochromaticity

LA palabra LASER es un acrónimo de Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Un láser es un amplificador de luz el cual es capaz de producir un rayo de fotones muy intenso que tiene propiedades escalares y vectoriales idénticas (frecuencia, fase, dirección y polarización). Como resultado, el rayo tiene características especiales: brillantez, monocromaticidad, coherencia y unidireccionalidad.

Se puede decir que gracias a la aportación que en 1917 hizo Albert Einstein dentro de la mecánica cuántica, ahora podemos gozar de este invento tan sobresaliente.

Einstein, con su explicación del efecto fotoeléctrico, descubrió que en determinadas circunstancias los fotones, es decir, las partículas de luz, golpeaban a los electrones de un material hasta liberarlos de sus átomos, permitiéndoles fluir libres en forma de corriente eléctrica. Con este descubrimiento se concibió que los electrones son capaces de absorber o emitir luz, pero espontáneamente. Posteriormente, Einstein predijo la posibilidad de estimular los electrones para que éstos emitiesen luz en una determinada longitud de onda. El siguiente trabajo fundamental para la evolución posterior del láser fue el del bombeo óptico, desarrollado a principios de la década de los cincuenta por Alfred Kastler.

En 1954 Nicolai G. Basov y Aleksandr M. Prokhorov, escribieron ampliamente sobre la amplificación de la emisión estimulada, sin embargo, fueron Charles H. Townes, James P. Gordon y Herbert Zeiger, de la Universidad de Columbia quienes lograron construir el primer Máser (Amplificación de Microondas por Emisión Estimulada de Radiación). A partir de este acontecimiento se comenzó a experimentar para amplificar diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético, sobre todo en el rango del visible y del infrarrojo [1].

Finalmente, en 1960 el físico Theodore H. Maiman logró construir el primer Láser. Maiman construyó un pequeño artefacto que consistía en un cristal cilíndrico de rubí de aproximadamente un centímetro de diámetro, rodeado de una lámpara espiral intermitente. Los extremos de la barra de rubí habían sido cubiertas con el fin de que actuasen como espejos, lo cual es una condición necesaria para que exista oscilación del láser. Cuando el cristal recibía ráfagas de luz de unas millonésimas de segundo de duración, producía breves pulsaciones de luz Láser [2].

Funcionamiento del Láser

Las partes principales de un láser se muestran en la Figura 1, las cuales son: el medio activo y el resonador óptico. El medio activo es el que proporciona la amplificación óptica por medio de átomos, moléculas, o iones en el estado sólido, líquido, o gaseoso. El resonador óptico consiste de dos espejos esféricos de alta reflectividad alineados paralelamente para manipular la luz entre ellos.



Figura 1. Partes principales de un láser.

Dentro de la cavidad de un láser se llevan a cabo dos procesos muy importantes, la absorción y emisión de radiación.

Absorción y emisión

Para explicar con más facilidad estos procesos usamos un modelo orbital atómico, justificado por la mecánica cuántica, la cual concluye que un electrón radia energía sólo cuando se encuentra en un estado $E_{inicial}$ y pasa a un estado E_{final} , dando como resultado una frecuencia de radiación dada por:

$$\nu = \frac{E_{inicial} - E_{final}}{h}, \quad (1)$$

donde h es la constante de Planck.

De acuerdo a lo anterior un electrón que se encuentra en un estado inferior y se le suministra energía, éste tiende a pasar a un estado superior, y se dice que absorbe energía; en cambio, si el electrón está en un estado superior y cae a un estado inferior, emite energía.

Por lo regular, la naturaleza de un electrón excitado (término que se le da a un electrón que se encuentra en un estado superior), tiende a regresar a su estado inferior en un tiempo aleatorio, pero muy corto menor a un microsegundo, al que se le denomina vida media del estado. A este proceso se le conoce como emisión espontánea. La otra posibilidad es que una vez que el electrón se encuentre en un estado superior éste reciba energía externa de la misma frecuencia de la que emitiría, produciendo un decaimiento al estado inferior en un tiempo deseado, con esto se logra una emisión estimulada. Sin embargo, para que la emisión estimulada tenga lugar, se requiere que el electrón permanezca en el estado superior un tiempo suficientemente largo para darle oportunidad al fotón estimulador a que llegue al átomo. Por esta razón, el proceso de emisión estimulada es más fácil si el nivel superior tiene una vida media relativamente larga. Estos procesos se ilustran en la Figura 2.

Cabe mencionar que por lo general la energía que se le aplica a un electrón es energía luminosa, y que cuando existe emisión espontánea emite energía en forma de un fotón, como se observa en la Figura 2 (a) y (b). En cambio, cuando es emisión estimulada, se tiene una ganancia de energía ya que en lugar de emitir un fotón se obtienen dos, el que estimuló y el estimulado, tal como se ilustra en la Figura 2 (c). Por lo tanto, cuando se están excitando constantemente los átomos de un cuerpo al estado superior, mediante un mecanismo cualquiera, éstos caerán espontáneamente al estado inferior emitiendo luz. A este proceso se le conoce con el nombre de “bombeo óptico”.

Lo que logra el bombeo óptico es que la mayoría de los átomos estén constantemente en el nivel superior. Este proceso se denomina inversión de población, y es absolutamente indispensable para que se produzca la emisión láser.

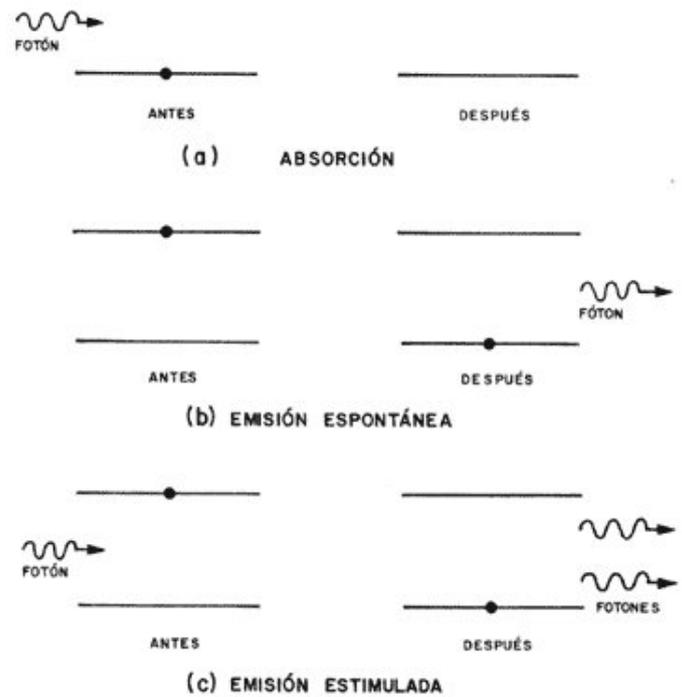


Figura 2. Esquemas que representan los procesos atómicos de (a) emisión espontánea, (b) absorción y (c) emisión estimulada.

Para comprender mejor lo que es la emisión de luz, observaremos la Figura 3, la cual muestra el proceso en el que todos los átomos del cuerpo participan, pero en forma independiente y totalmente no sincronizada (incoherente). Dicho de otro modo, las fases de las ondas no tienen ninguna relación entre sí, o lo que es lo mismo, las crestas de estas ondas no están alineadas. Si tomamos en cuenta una lámpara cualquiera, la luz que emite es en forma incoherente, Figura 3a.

Una de las características del láser es emitir una luz coherente (obsérvese la Figura 3b), la emisión estimulada conduce a una amplificación coherente de la radiación estimulada incidente y es el proceso responsable para la amplificación de la radiación óptica en un láser, como se muestra en la Figura 4 [3].

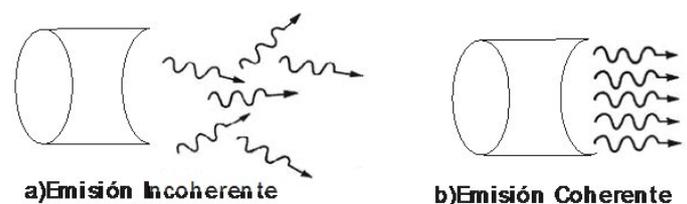


Figura 3. Tipo de emisión de fotones.



Figura 4. Amplificación de luz por emisión estimulada.

Clasificación de los láseres

Para poder hacer una clasificación del láser, se tienen que tomar en cuenta las diferentes características que lo definen, por ejemplo: por el medio activo, por la forma de emisión, por su rango espectral, por su mecanismo de excitación, o por sus aplicaciones. El objetivo de esta sección es clasificar los láseres por su medio activo, definido por ser el que proporciona la amplificación óptica por medio de átomos, moléculas, o iones. En esta parte también se realiza el proceso de emisión estimulada, que ocurrirá en un nivel de energía diferente, dependiendo del material, por lo cual la longitud de onda emitida variará, en cada caso, desde el ultravioleta hasta el infrarrojo, lo que se conoce como la región óptica. Tomando en cuenta el material que se usa como medio activo se tienen los siguientes tipos de láseres:

- a) Láseres de gas.
- b) Láseres de estado sólido.
- c) Láseres líquidos.

Características principales

Láseres de gas

Utiliza el gas como medio activo, puede ser un gas puro, una mezcla de gases o incluso 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 con luz ultravioleta, con haces de electrones, con corrientes eléctricas o reacciones químicas. Este tipo de láseres es el más ampliamente usado; su potencia puede ser muy baja, o muy alta dependiendo de la aplicación que se le dé. Ejemplos de este tipo de láseres son: Helio-Neón, Argón, Bióxido de Carbono, y Fluoruro de Xenón.

Láseres de estado sólido

Se utilizan como medio activo varillas de cristal de rubí 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. El bombeo se realiza mediante luz de tubos de destello de xenón, lámparas de arco o lámparas de vapor metálico. El rango de frecuencia se ha ampliado desde el infrarrojo (IR) hasta el ultravioleta (UV) y actualmente, gracias al avance científico y tecnológico, se han obtenido longitudes de onda aún más cortas, correspondientes a rayosX. Ejemplos de este tipo de láseres son: láseres de Rubí, de Nd³⁺:YAG, de Nd: Vidrio y los de semiconductores.

Láseres líquidos

Su medio activo está compuesto de tintes inorgánicos contenidos en recipientes de vidrio, como por ejemplo agua, etanol, metanol, etc, los cuales son los que se encargan de producir el efecto láser. Se bombean con lámparas de destello intensas –cuando operan por pulsos– o por un láser de gas –cuando funcionan en modo CW (*continuous wave*)–. La frecuencia de un láser de colorante sintonizable puede modificarse mediante un prisma situado en la cavidad del láser. Ejemplos de los tintes inorgánicos utilizados son: Rodamina 6G, Rodamina 110, Cumarina, Fluoresceína, Azul de metileno [4].

Aplicaciones de los láseres

Para poder utilizar un láser, es necesario tener conocimiento de ellos, las características de cada uno y así, seleccionar el adecuado para su aplicación.

Desde la aparición del láser las aplicaciones de éste son cada vez mayores. Actualmente, se utiliza el láser como componente fundamental en investigaciones avanzadas en ciencias básicas hasta en sencillos dispositivos de uso doméstico. La combinación de láseres con fibra óptica, sólo como un ejemplo, ha revolucionado las comunicaciones con un gran ancho de banda, están transformando los hábitos económicos y sociales modernos. El impacto final de estos dispositivos es difícil de prever.

Aplicaciones en la medicina

La medicina es uno de los campos donde el láser ha tenido un impacto sin precedente. En medicina los láseres se utilizan básicamente con fines terapéuticos que comprende procesos anti-inflamatorios y antiálgicos y con fines quirúrgicos en cierto tipo de cirugías donde el haz luminoso del láser puede reemplazar con grandes ventajas al bisturí. La principal ventaja es que al mismo tiempo que corta, va cauterizando los pequeños vasos sanguíneos, evitando prácticamente toda hemorragia. La intensidad y la velocidad del punto luminoso se regulan a fin de controlar la penetración del corte.

Aplicaciones en la Oftalmología

Sin duda el campo de la medicina donde más uso se le da al láser es en la oftalmología. El uso, básicamente depende de la forma cómo éste afecta los tejidos. Las aplicaciones más comunes son la corrección de defectos de la retina como la miopía, el astigmatismo y la hipermetropía.

Aplicaciones Estéticas

El uso del láser en la estética es muy amplio, ya que se aplica en muchos tratamientos sobre todo en la piel: Varices y arañas vasculares, depilación definitiva, manchas corporales, faciales y acné, arrugas y rejuvenecimiento de la piel, eliminación de tatuajes, etc.

Aplicaciones en la Oncología

En la Cirugía de tumores cancerosos, a un paciente con cáncer se le inyecta un colorante que ha sido seleccionado de tal manera que sea absorbido preferentemente por las células cancerosas. Después se ilumina la región donde está el tumor con un láser de alta potencia. La luz del láser es de tal color que es absorbido de manera especial por las células coloreadas, es decir, por las cancerosas, destruyendo el tejido maligno sin afectar al tejido sano. Este proceso se encuentra todavía en la etapa de experimentación, pero hay muchas esperanzas de éxito.

Aplicaciones en la Odontología

En Odontología, a nivel de los tejidos duros, el láser encuentra sus principales aplicaciones en el tratamiento de la caries, ya que gracias a su efecto térmico produce la esterilización de la dentina tratada. En Odontopediatría, el láser se puede usar en el tratamiento los dientes temporales, sobre dentina irradiando las paredes más cercanas a la pulpa. También se utiliza en pulpotomías y pulpectomías. Otra indicación es el tratamiento de los primeros molares definitivos con caries profundas, cuando desde el punto de vista clínico es difícil establecer dónde termina la dentina infectada y empieza la dentina sana [5].

Aplicaciones en la industria

Para la mayoría de las aplicaciones industriales se usan solamente cuatro láseres, que son: el de bióxido de carbono, el de rubí, el de neodimio en YAG y el de neodimio en vidrio. El de bióxido de carbono y el de neodimio en YAG pueden operar tanto en forma continua como pulsada, mientras que el de rubí y el de neodimio en vidrio sólo pueden operar en forma pulsada. Cuando la energía de un haz láser se enfoca sobre una pieza de trabajo, una parte de la misma es absorbida produciendo calor que puede vaporizar,

fundir o transformar el material que compone la pieza. La principal ventaja del procesado de materiales mediante técnicas láser radica en que la energía del haz se puede aplicar sobre una zona muy pequeña de la pieza durante intervalos de tiempo pequeños de modo que el calor generado no fluye a otras zonas. Las principales aplicaciones son en los siguientes campos:

Corte de materiales

Los materiales ideales para ser cortados con láser son las telas, plásticos, algunos materiales sintéticos, fibras, pieles y otros similares. La madera no es un material adecuado, debido a que sus orillas se carbonizan.

Marcas y grabados

Los fabricantes de circuitos integrados usan láseres para grabar sobre las obleas de silicio con las que se fabrican estos dispositivos. Otro ejemplo es el marcado de los códigos de barras o el marcado de caracteres alfanuméricos y logotipos [6].

Soldaduras

Si la potencia del láser se selecciona de tal manera que el material no se volatilice, sino que sólo se funde, no se producirá ningún corte, sino tan sólo una fusión local.

Aplicaciones en la industria militar

El principal desarrollo de cualquier campo de la ciencia se realiza primero que nada debido a que los gobiernos de las economías más fuertes se pueden servir de ellos para aumentar su poderío. El láser no es la excepción por lo que una de las principales áreas en las que los láseres tienen mayor aplicación es en la industria militar. Algunos ejemplos de su aplicación son:

- a) El posicionador de blanco por láser. En este caso se hace incidir un haz sobre el blanco y cuando está sobre éste, se tiene la certeza de no fallar.
- b) Designación del objetivo. El láser se utiliza para marcar los objetivos de ataque por artillería “inteligente” y misiles guiados.

Aplicaciones en las comunicaciones

Las telecomunicaciones han tenido una gran revolución desde la aparición del láser. Las fibras ópticas combinadas con láseres de estado sólido, básicamente semiconductores, aumentan la cantidad de información que se transmite debido a que se aprovecha el gran ancho de banda tanto de la fibra como del láser. Actualmente son muy utilizados en redes telefónicas y redes de computadoras en todo el mundo [7].

Aplicaciones en la vida diaria

Actualmente los láseres se han vuelto tan populares que han invadido nuestra vida diaria. En los automóviles así como en los hogares no puede faltar un reproductor de CD's o un DVD. Cuando se hacen las compras en los centros comerciales, los lectores de códigos de barras reducen el tiempo de espera en las cajas. En las discotecas o conciertos los láseres son indispensables para dar vida al espectáculo, proyectando figuras y para la iluminación.

Uno de los inventos científico-tecnológico más importantes de los últimos tiempos ha sido sin duda el láser. Sin embargo, cuando se construyó el primero, no se tenía una visión clara del amplio alcance de este invento, se dijo que se tenía la solución pero no el problema a solucionar. Conforme ha avanzado la ciencia y la tecnología y al unirse la óptica y la electrónica ha surgido una amplia gama de aplicaciones para este invento, tales aplicaciones aún continúan aumentando.

Bibliografía

- [1] J. L. Zyskind, J. A. Nagel, H. D. Kidorf, "Erbium-Doped Fiber amplifiers for Optical Communications," Optical Fiber Telecommunications IIIB, edited by I. P. Kaminov and T. L. Koch, (Academic Press, San Diego, CA, USA 1997).
- [2] E. Hecht y A. Zajac, *Optica*, Addison –Wesley Iberoamericana (1980).
- [3] J. Wilson, J. F. B. Hawkes, "Optoelectronics: an Introduction", Prentice-Hall Internacional (1983).
- [4] A. E. Siegman, "Lasers", OUP (1986)
- [5] S. Stenholm, "Laser in Applied and Fundamental Research", Hilger, (1985).
- [6] V. Aboites, "Laseres: Una introducción, CIO,(1991)
- [7] A. Ghatak, K. Thyagarayan, *Introduction to fiber optics*", Cambridge University Press, New York, USA, (1998).

Acerca del autor o autores

¹Universidad Autónoma de Zacatecas, Facultad de Ingeniería Eléctrica. Cuerpo académico de Procesamiento Digital de Señales. Zacatecas, Zac., México. Correo-e: cgsifuen@cantera.reduaz.mx

²Estudiante de Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma de Zacatecas.