AZCATL
Revista de divulgación en ciencias, ingeniería e innovación

El láser He-Ne, ciencia y tecnología

Armando Gómez Vieyra
Universidad Autónoma Metropolitana,
Unidad Azcapotzalco
agvte@azc.uam.mx

Hugo Enrique Ibarra Villalón
Universidad Autónoma Metropolitana
heiv@azc.uam.mx

Resumen

Este trabajo presenta una revisión histórica del desarrollo del láser He-Ne (helio-neón), el cual es un dispositivo usado tradicionalmente en la vida académica de los estudiantes de ciencias e ingeniería a nivel licenciatura, donde se expone cómo a partir de una idea teórica derivada de una investigación en ciencia básica, el desarrollo del primer máser (del inglés *microwave amplification by stimulated emission of radiation*) evoluciona a un dispositivo que cambió completamente la ciencia y la tecnología. Asimismo, se pretende enfatizar que la ciencia básica no puede avanzar sin el apoyo de la ingeniería, así como la tecnología no se puede crear sin la ciencia básica.

Palabras clave

Láser, desarrollo e ingeniería.

Abstract

This work presents a historical review of the development of the He-Ne laser, which is commonly used in the academic life of undergraduate students, which reflects how a theoretical idea derived from basic science research (the first maser) evolved into a device that completely changed science and technology. It is emphasized that basic science cannot progress without the support of engineering, just as technology cannot be developed without basic science.

Keywords

Laser, development, engineering.

APA: Gómez, A e Ibarra, H. E. (2024). El láser He-Ne, ciencia y tecnología. *Azcatl, 3,* 3-9. DOI: 10.24275/AZC2024B001

Introducción

En algún momento todos hemos oído hablar del láser (por sus siglas en inglés, cuya traducción es amplificación de luz por emisión estimulada de radiación), principalmente por las increíbles fábulas del cine como la franquicia de ciencia ficción Star Wars, la cual sigue vigente hasta nuestros días y se puede ver en el servicio de reproducción de prepago de Disney®; sin embargo, la idea y conceptos mostrados en esta serie no son los más adecuados para entender estos dispositivos que han cumplido más de 60 años de existencia.

Un relato histórico bastante detallado de la evolución de los máseres (término aceptado en español del inglés *masers*) y su paso natural al desarrollo de los láseres fue presentado en 1976 por Arthur Shawlow en la revista *IEEE Transactions on Electron Devices*.

Por otro lado, el artículo de Ibarra, Pottiez y Gómez (2018) «El camino hacia la luz láser» brinda una explicación bastante accesible del funcionamiento de un máser (cuya traducción es amplificador de microondas por emisión estimulada de radiación) y un láser, además de exponer los principios físicos que hacen posible la emisión de éstos, describiendo la inversión de población en un sistema de tres niveles de energía. Asimismo se ilustra la arquitectura y operación de la cavidad del láser de rubí y, adicionalmente, se describe la línea de tiempo desde la emisión estimulada propuesta por Albert Einstein hasta la invención del láser, pasando por todos los avances en ciencia básica (teórica y experimental) y tecnología que dieron pie a la construcción de este dispositivo. En particular, en esta revisión cronológica se destaca que el dispositivo precursor de los láseres fue el primer máser de amoníaco funcional construido por Townes, Gordon y Zeiger en 1954; al mismo tiempo, con algunos meses de diferencia, otro máser fue desarrollado por los rusos Prokhorov y Basov, aclarando que ambos grupos de investigación trabajaron independientemente.

Desarrollo del láser helio-neón

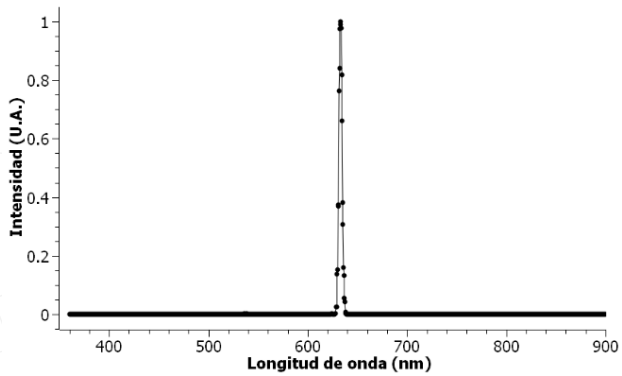
En el mundo en que vivimos es bien sabido que el desarrollo científico y tecnológico no se puede detener. En 1958, los físicos Schawlow y Townes plantearon la idea de construir el primer máser emitiendo en la región del visible e infrarrojo, actualmente conocido como láser. Sin embargo, esto se logró hasta 1960 por Theodore Maiman, quien construyó el láser de rubí (Al_2O_3: Cr) en los laboratorios de investigación de Hughes, en Malibú, California. Como resultado de estos trabajos, en diversos laboratorios de empresas privadas y en universidades se llevaron a cabo investigaciones y el desarrollo de diversos tipos de láseres que hoy en día se emplean en diferentes ramas de la ciencia y la tecnología.

En la actualidad los láseres son de diodo y tienen una potencia óptica pequeña (pero que puede ocasionar daños a las estructuras oculares del ojo), un ancho de banda regularmente mayor a 5 nm y su longitud de coherencia es mínima. Se trata de dispositivos versátiles y accesibles que se consiguen en mercados y tiendas de autoservicio con un costo equivalente a un dólar. Por lo general se utilizan como apuntadores, aunque muchos niños, así como algunos adultos inconscientes, los usan indebidamente como juguetes. Existen diversos tipos de láseres, entre éstos se encuentran los láseres de dióxido de carbono (CO_2) que son ampliamente usados en la industria para el corte de piezas metálicas, plásticos, piel y otros; los láseres excímeros, los cuales utilizan una mezcla de gases halógenos como medio activo y son ampliamente empleados en cirugías oculares, tratamientos dermatológicos, así como en odontología; los láseres de estado sólido, tales como el granate itrio-aluminio (YAG), dopados con neodimio (Nd), o el de cristal de vanadato de itrio (YVO_4) que son parte fundamental de la industria automotriz y microelectrónica, ya que sirven para cortar, soldar y marcar materiales que pueden ser delicados o muy duros; los láseres de fibra óptica dopada de tierras raras como erbio, iterbio, neodimio, disprosio, tulio, etcétera, son parte esencial en los sistemas automatizados de grabado y corte, comunicaciones ópticas, espectroscopía, metrología y medicina, entre otros tipos de láseres que son utilizados en diversas aplicaciones.

En la educación a nivel superior, los láseres más empleados en los procesos de enseñanza-aprendizaje son los de gas de He-Ne (Figura 1), los cuales permiten realizar experimentos de polarización, difracción e interferome-

a)

b)



c)

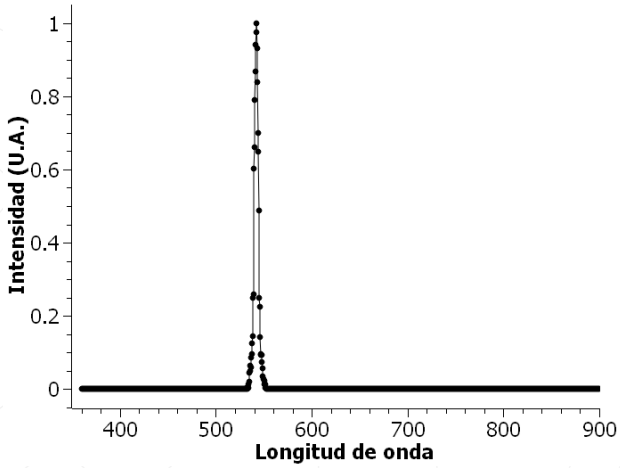
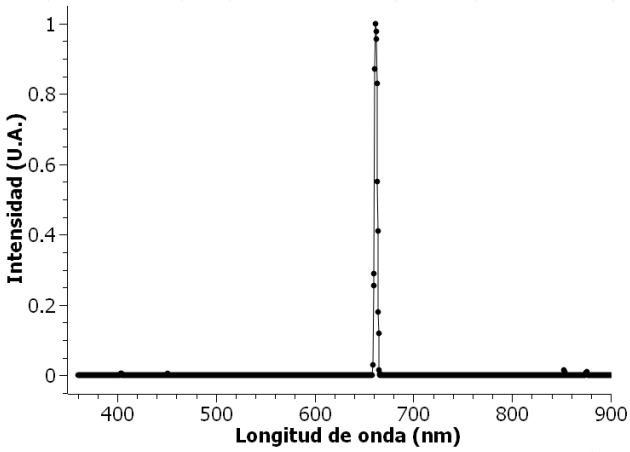


Figura 1. *a*) Láseres helio-neón utilizados en los laboratorios de docencia de la UAM-Azcapotzalco, *b*) espectro de un láser He-Ne rojo y *c*) espectro de un láser He-Ne verde.

a)

b)



c)

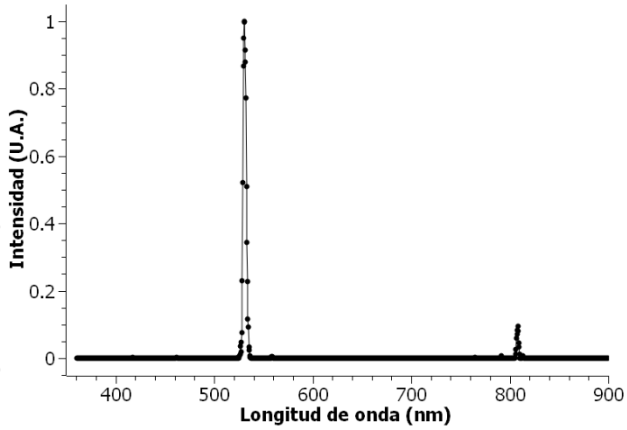


Figura 2. *a*) Apuntadores láser de diodo rojo y verde, *b*) espectro del láser de diodo rojo y *c*) espectro del láser de diodo verde.

tría. En dichos experimentos es importante que los láseres tengan un grado adecuado de coherencia óptica, tal como lo introducen los de He-Ne. Por consiguiente, no se puede utilizar cualquier tipo de láser en los laboratorios de docencia, como por ejemplo los láseres de diodo (ver Figura 2) pues presentan una coherencia óptica baja, la cual no es suficiente para reproducir los experimentos interferométricos. Estos láseres tienen muchas aplicaciones actuales que van desde análisis atómicos hiperfinos hasta herramientas de trazado y guía, aunque la ciencia y tecnología de estos dispositivos es discutida por los autores Hira Nasim y Yasir Jamil. No obstante, es posible que esto cambie en un futuro debido a que el empleo de los láseres de diodo se ha incrementado notablemente, ya que éstos se están utilizando en la mayoría de las aplicaciones modernas pues el costo es apreciablemente inferior con respecto a otro tipo de láseres, entre otras ventajas, sin embargo, su longitud de coherencia es muy corta.

El láser He-Ne fue el primer láser de gas, desarrollado por el físico iraní Ali Javan y sus colaboradores en los Laboratorios Bell. Para lograr este avance tecnológico, Javan ya había trabajado en el laboratorio de Townes, con quien desarrollo su trabajo doctoral (1954) y realizó una estancia posdoctoral por cuatro años, adquiriendo los fundamentos de los máseres y la espectroscopía en microondas. Cuando Javan realizaba una entrevista de trabajo en los Laboratorios Bell (abril de 1958), Arthur Schawlow (premio Nobel por el desarrollo de la espectroscopía láser), quien también trabajaba con Townes y fue uno de los primeros en predecir la posibilidad de desarrollar el láser, le mencionó por primera vez la posibilidad de desarrollar un máser en la región del visible.

A partir de octubre de 1958, Javan inició su investigación para el desarrollo de la emisión estimulada en el visible escogiendo como medio activo un gas, debido a que consideraba que sería más sencillo el estudio de los procesos físicos y que los esquemas de bombeo propuestos por Schawlow y Townes no proporcionarían la energía suficiente para lograr su objetivo. En ese momento contempló que las opciones viables eran la excitación directa de electrones (usando únicamente neón) o vía colisión, esta última implicaba evaluar la combinación más apropiada entre dos gases para lograr la transferencia de energía adecuada. Javan se decidió por la segunda opción eligiendo el helio y el neón, en particular el helio como primer medio para ser excitado por un bombeo óptico, lo cual implica que una descarga de electrones introducidos por el bombeo colisionen con los átomos de helio. Posteriormente, los átomos de helio que se llegan a excitar transfieren su energía al neón a partir de colisiones entre estos dos gases, logrando la inversión de población del neón para lograr emisión láser.

Es importante destacar que la emisión de helio, producida por el decaimiento radiactivo de los átomos excitados, consiste en líneas centradas en longitudes de onda del ultravioleta y el visible, como se ilustra en la Figura 3(a), medidas obtenidas en los laboratorios de docencia de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco (UAM-A). Estas líneas espectrales no se utilizan en la emisión del láser He-Ne, no obstante, son útiles para excitar a los átomos de neón. Como resultado, el neón excitado por la energía transferida por el helio produce líneas espectrales de emisión centradas en el rojo e infrarrojo, tal como se ilustra en la ventana espectral del rojo en la Figura 3(b). Dentro de las líneas espectrales del neón, la emisión centrada a ~633 nm es la línea de emisión que más se utiliza en la operación de un láser He-Ne comercial.

Además de Javan, el británico John Sanders también había iniciado una investigación en láseres de gas, pero él eligió usar únicamente helio en estado gaseoso, el cual fue excitado mediante descargas eléctricas, y planteó realizar una cavidad de Fabry-Perot de máximo 15 cm, debido a las limitaciones de alineación. En cambio, Javan decidió determinar primero los parámetros de ganancia, por lo que consultó al espectroscopista William R. Bennett de la Universidad de Yale, quien realizó diferentes análisis de las mezclas de helio-neón para determinar la más adecuada.

En la primavera de 1959, Javan recurrió a Donald R. Herriott, quien era especialista en aparatos ópticos (ingeniero óptico), para resolver los problemas asociados al proyecto. Esto fue muy importante porque Herriott te-

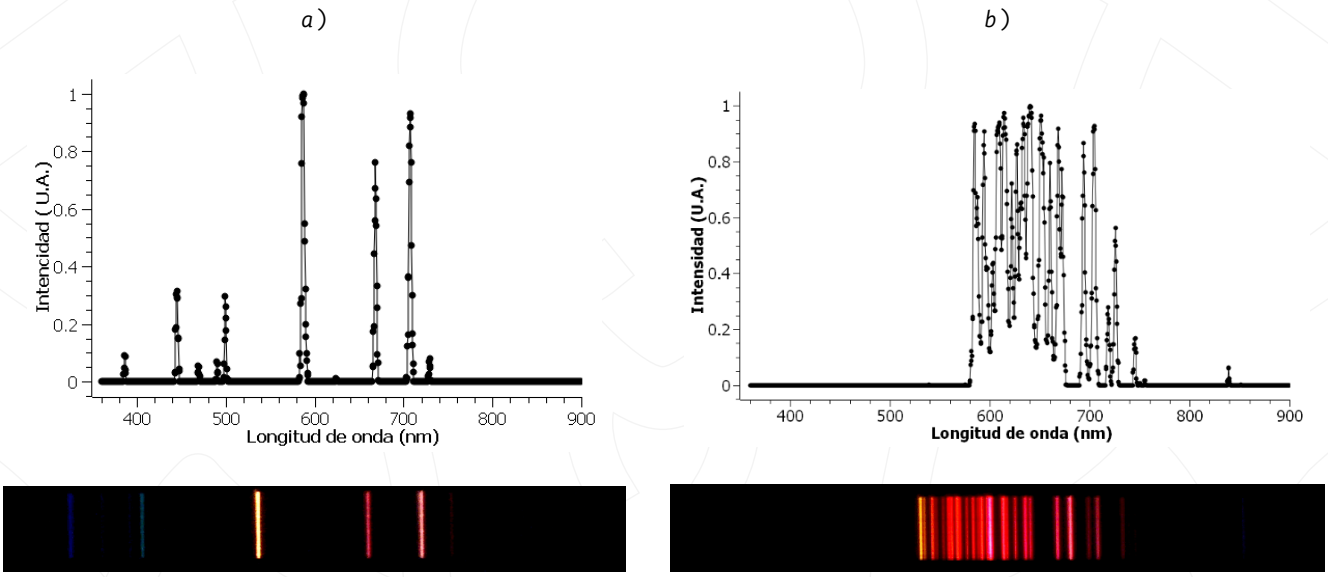


Figura 3. *a*) Espectro del helio y *b*) espectro del neón obtenidos en los laboratorios de docencia de la UAM-Azcapotzalco con un espectrómetro Spectra-1, 3B Scientific.

nía experiencia en el trabajo en las ventanas planas con el objetivo de no distorsionar la salida del haz de la cavidad de bombeo. Posteriormente, instrumentó los espejos que forman el resonador y creó la estructura para lograr la alineación adecuada del instrumento. Finalmente, desarrolló todo el arreglo experimental para medir y analizar la radiación generada. Es relevante mencionar que el trabajo en ingeniería óptica desarrollado por Herriott muestra la necesidad fundamental de una muy buena ingeniería para lograr avances tecnológicos.

Posteriormente, en septiembre de 1959, Bennett se mudó a los Laboratorios Bell, al grupo de investigación de Javan, para realizar un intenso y meticuloso trabajo en el cálculo y medición de las propiedades espectroscópicas de las mezclas de helio-neón, esto con la finalidad de determinar las condiciones que gobiernan los factores de inversión de población en el mecanismo de transferencia de energía del helio hacia el neón, lo que se discutió previamente. Los resultados de esta parte de su investigación fue que sólo el 1.5 % de la energía introducida al sistema participaba en la inversión de población, por lo que se impusieron muchas restricciones en el sistema óptico para conseguir las mínimas pérdidas de energía en el resonador y poder lograr el objetivo del máser emitiendo en la región electromagnética de la óptica. Además, los investigadores estaban preocupados por los efectos de difracción, ya que podrían aumentar las pérdidas de energía en el dispositivo, esto basado en las ideas de Schawlow y Townes, quienes consideraron un resonador con ondas planas propagándose en su interior.

Hacia 1960, Gardner Fox y Tingye Li publicaron unos artículos fundamentales en el desarrollo de los resonadores ópticos, donde se demostró que los efectos de la difracción pueden ser despreciados. Los haces de luz pueden propagarse en distintos modos electromagnéticos y en consecuencia se planteó la necesidad de desarrollar diversas arquitecturas de los resonadores. Es necesario mencionar que Li era un especialista en programación, lo que le permitió obtener resultados en simulación computacional que analíticamente podrían ser imposibles de recabar. Actualmente, los modos de propagación de los resonadores ópticos y las fibras ópticas multimodo pueden ser calculados y visualizados empleando herramientas computacionales, bajo los principios introducidos por

Fox e implementados por Li. Generalmente, estos artículos son revisados en un curso de pregrado o posgrado en láseres.

Javan, Bennett y Herriott continuaron con el desarrollo de su dispositivo hasta lograr una primera versión, pero no funcionó como se esperaba, ya que el tubo de cuarzo que confinaba al gas se derritió debido a la fuente de bombeo que emplearon, un potente magnetrón. Por lo que tuvieron que construir un segundo prototipo, en el cual se realizaron mejoras en los espejos y mayor supervisión en el alto vacío del dispositivo. Como resultado, el 13 de diciembre de 1960 se logró detectar la radiación láser de este dispositivo en un osciloscopio; ajustaron el monocromador y encontraron un pico a 1.153 μm (infrarrojo cercano), una de las líneas de emisión esperadas. En este prototipo se tuvieron que ajustar la posición y los ángulos de los espejos para maximizar la señal de radiación, dicho prototipo se muestra en la Figura 4. Después de este logro, la operación del primer láser de gas, se cuenta como anécdota que el grupo de investigación celebró con una botella de vino de 100 años que Javan había comprado en París.

En paralelo, White, Gordon y Rigden, en los mismos Laboratorios Bell, realizaban una investigación simultánea sobre el desarrollo de un láser emitiendo en el visible. Como resultado, en marzo de 1962, estos investigadores presentaron un láser de helio-neón emitiendo a 632.8 nm y con una potencia promedio de 50 mW. Años después, los Laboratorios Bell admitieron haber invertido aproximadamente 2 millones de dólares de ese tiempo, cantidad que equivale a 20 millones de dólares actuales, en desarrollar el prototipo de Javan y colaboradores. Como un dato adicional, el tiempo de vida de los láseres de esa época era del orden de cien horas, lo que limitaba su introducción a procesos industriales e investigaciones científicas.

La carrera tecnológica por lograr mejores y más eficientes láseres impulsó su desarrollo a nivel mundial y México no fue la excepción. El grupo de óptica del Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), liderado entonces por Daniel Malacara Hernández, trabajaron durante algún tiempo en el desarrollo tecnológico de este tipo de láseres He-Ne (ver Figura 5) realizando algunas aportaciones científicas y tecnológicas, así como la aplicación de estos dispositivos en la construcción de las primeras líneas del metro. En la misma época se fundaron y evolucionaron las grandes compañías estadounidenses especializadas en la fabricación de láseres, las cuales contrataron un número considerable de investigadores para realizar innovaciones y avances tecnológicos en los láseres con el objetivo de hacer rentable su comercialización.

Es muy importante enfatizar que el desarrollo de toda la tecnología moderna, en este caso los láseres de He-Ne, ha sido un esfuerzo de la investigación en ciencia básica y la aplicación de las diversas ramas de la ingeniería.

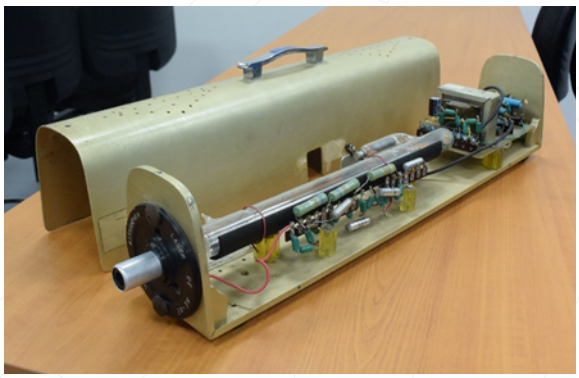


Figura 5. Láser He-Ne construido en México, entre 1968 y 1972, que actualmente se exhibe en el Museo de Óptica del Centro de Investigaciones en Óptica, A. C. Nota. Malacara, 2024.

Figura 4. Primer prototipo de un láser funcional de helio-neón. Nota. Reproducida de National Museum of American History, 2024.

Referencias

Bertolotti, M. (2004). *The history of the laser*. CRC Press.

Bromberg, J. L. (1991). *The laser in America, 1950-1970*. MIT Press.

Fox, A. G. y Li, T. (1960) Resonant modes in an optical maser. *Proceedings of the Institute of Radio Engineers*, *48*(1).

Fox, A. G. y Li, T. (1961). Resonant modes in a maser interferometer. *Bell System Technical Journal*, *40*(2), 453-488. doi: 10.1002/J.1538-7305.1961.TB01625.X

Ibarra, H. E., Pottiez, O. y Gómez, A. (2018) El camino hacia la luz láser. *Revista Mexicana de Física E*, *64*(2). doi: 10.31349/RevMexFisE.64.100

Javan, A., Bennett, W. R. y Herriott, D. R. (1961). Population inversion and continuous optical maser oscillation in a gas discharge containing a He-Ne mixture. *Physical Review Letters*, *6*(106). doi: 10.1103/PhysRevLett.6.106

Maiman, T. (1960) Stimulated optical radiation in ruby. *Nature*, *187*. doi: 10.1038/187493a0

Malacara, D. (1970). Dependence of the power output of He-Ne lasers on the cavity configuration. *American Journal of Physics*, *38*, 327-330. doi: 10.1119/1.1976320

Malacara, D., Berriel, L. R. y Rizo, I. (1969). Construction of helium-neon lasers operating at 6328 Å. *American Journal of Physics*, *37*, 276-284. doi:10.1119/1.1975506

Nasim, H. y Jamil, Y. (2014). Diode lasers: From laboratory to industry. *Optics & Laser Technology*, *56*, 211-222. http://dx.doi.org/10.1016/j.optlastec.2013.08.012

Schawlow, A. L. (1976). Masers and lasers. *IEEE Transactions on Electron Devices*, *23*(7), pp. 773-779. doi: 10.1109/T-ED.1976.18481

Schawlow, A. L. y Townes, C. H. (1958). Infrared and optical masers. *Physical Review Journals Archive*, *112*. doi: 10.1103/PhysRev.112.1940

White, A. D., Gordon, E. I. y Rigden, J. D. (1963). Output power of the 6328Å gas maser. *Applied Physics Letters*, *2*. doi: 10.1063/1.1753793