
Diseño Y Construcción De Un Láser Molecular De Nitrógeno

Xavier Díaz Daza^a, Oscar Neira Bueno^b y Abraham Díaz Pérez^b

^a Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Popular del Cesar, ^b Grupo de Espectroscopia y Láser, Universidad Popular del Cesar, Valledupar, Colombia;

RESUMEN

En este artículo se presenta un prototipo de un Láser Molecular de Nitrógeno, el cual está constituido por una fuente de alto voltaje, un circuito de carga y descarga de condensadores, un sistema de circulación de nitrógeno y un sistema de medición digital de presión. El régimen de funcionamiento del láser es de presiones bajas, comprendidos entre 60 - 100 Torr. El diseño del prototipo es flexible y funcional, habiéndose obtenido el efecto láser en una longitud de onda de 337,1nm. Para la implementación de los subsistemas que constituyen el láser se utilizó la instrumentación electrónica aplicada fundamentada en la electrónica de potencia y la electrónica digital.

Palabras Clave: Láser de Nitrógeno, Instrumentación Electrónica, Alto Voltaje, Espectroscopia.

ABSTRACT

This paper presents a prototype of a Nitrogen Molecular, which is conformed by a high voltage source, a load and unload circuit of capacitors, a nitrogen circulation system and a digital Pressure measuring system. The way of laser operation is of low pressures falling between 60 - 100 Torr. A flexible and functional prototype was designed. The laser effect was obtained in a wavelength of 337,1nm. The implementation of the subsystems of the laser was performed through Applied Electronic Instrumentation use, considering the power and digital electronics.

Keywords: Nitrogen Laser, Electronic Instrumentation, High Voltage, spectroscopy.

1. INTRODUCCIÓN

Los láseres ocupan hoy en día un lugar especial en diversos campos de la ciencia y la industria, debido a que trabajan en un amplio rango de longitudes de onda y la versatilidad de sus aplicaciones¹, entre las cuales se destaca el hecho de ser utilizado como elemento fundamental en una de las herramientas más importantes en la Investigación de la estructura de la materia: La Espectroscopia, la cual se utiliza en la investigación de moléculas, mediante excitación óptica de las mismas^{1,2}.

Dentro de los láseres, es importante destacar específicamente el Láser Molecular de Nitrógeno, por que en primer lugar este se convierte en una fuente de excitación óptica adecuada para sustancias de trabajo³ (colorantes), permitiendo la generación de nuevos haces luminosos en otras franjas del espectro electromagnético, ejemplo de ello es el desarrollo de láseres de colorantes^{1,2,4}. Además los láseres de Nitrógeno se destacan por la sencillez de su construcción (comparándolo con la construcción de otros tipos de láseres que requieren sistemas muy complejos) desde el punto de vista de diseño, como del punto de vista económico^{5,6}.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Grupo de Espectroscopia y Láser dentro de sus líneas de investigación propone el estudio de las propiedades espectrales-fluorescencia y de generación láser de nuevos compuestos de interés para los láseres sintonizables y la implementación de la espectroscopia óptica láser en el estudio de biotejidos, utilizando como sonda óptica la emisión de un láser de nitrógeno. Uno de los problemas de infraestructura de nuestro grupo como consecuencia de las limitaciones presupuestales de la Universidad Popular del Cesar hace imposible la adquisición de la mayoría de los equipos y elementos que se requieren para el desarrollo de la línea de investigación mencionada. En este contexto el semillero de instrumentación aplicada se plantea la pregunta ¿Qué se podría aportar para el desarrollo de infraestructura a partir de las necesidades del grupo?

3. METODOLOGIA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Teniendo en cuenta la problemática planteada, el Grupo de Espectroscopia y Láser consideró conveniente vincular a estudiantes de pregrado del programa de ingeniería electrónica, pertenecientes al semillero de Instrumentación Aplicada, en una primera actividad encaminada al desarrollo de infraestructura para el grupo, que consistió en el Diseño y Construcción de un Láser de Nitrógeno, cuyo régimen se caracterice por trabajar a bajas presiones.

Vale la pena destacar que esta actividad está enmarcada dentro del proyecto de investigación “Diseño y Construcción de un sistema láser económico constituido por un láser molecular pulsado y una cabeza óptica sencilla para colorantes”.

4. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO LÁSER DE NITRÓGENO

En el sistema láser construido (Ver figura 1), se utilizó como sustancia de trabajo el gas de Nitrógeno a baja presión (El gas a baja presión permite minimizar el ensanchamiento de las líneas espectrales que se produce debido a las colisiones entre átomos⁵), el cual se hace fluir a través de un tubo de descarga especialmente diseñado con electrodos en ambos extremos del tubo, donde se aplica niveles de alto voltaje (pulsados) que provocan una ruptura eléctrica a través del gas⁵ (La descarga eléctrica es la forma de excitación más conveniente cuando se trabaja con sustancias gaseosas^{2,5,7}).

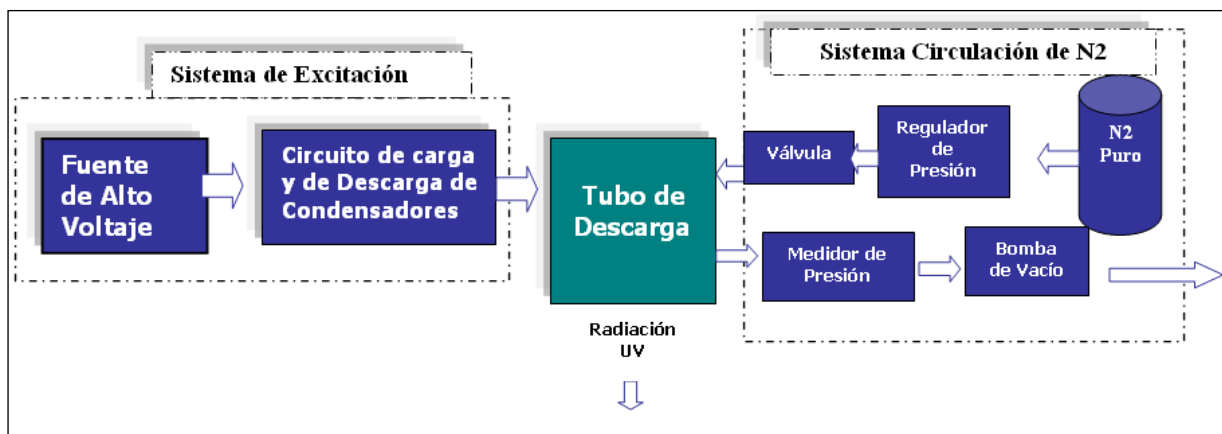


Figura 1: Diagrama de Bloques con los Elementos Fundamentales que constituyen el prototipo Láser de Nitrógeno

Para que se pueda producir emisión láser en el gas, es necesario llevar a la mayoría de los átomos o moléculas que conforman el gas, y que inicialmente se encontrarán distribuidos en los niveles de energía inferiores, al mismo nivel de energía^{1,5,7} (niveles superiores), acción, que en nuestro caso se logra excitando el gas de nitrógeno con pulsos de alto voltaje (estos pulsos tienen un ancho menor que el tiempo de vida del nivel superior de la molécula de Nitrógeno.) La descarga eléctrica en el gas, provoca una colisión (impacto electrónico) entre los electrones de la descarga y las moléculas de la sustancia de Nitrógeno^{5,7}.

Al proceso en el cual, la sustancia acumula la energía durante algún tiempo (como resultado de la colisión), y que se produzca una inversión numérica de átomos excitados con respecto a los que no lo están, se le denomina inversión de población^{2,4}. En este momento la sustancia de trabajo se convierte en un medio activo, sin embargo, dichas moléculas deberán regresar a su estado fundamental, para lo que requieren desprenderse de la energía acumulada y lo hacen emitiendo fotones⁵ (los fotones emitidos por acción del campo externo son totalmente coherentes con dicho campo, es decir tienen la misma frecuencia, fase, polarización y dirección de propagación^{1,2,5}). Algunos de los fotones emitidos chocan con otros átomos excitados que como respuesta emiten fotones idénticos⁵ (Emisión estimulada de radiación). Estos pueden a su vez chocar con otros átomos excitados y volver a producir más fotones que a su vez chocaran con otros átomos y así sucesivamente, estableciendo la radiación electromagnética del sistema láser⁷. La acción láser se logra en este caso en las transiciones electrónicas del nitrógeno molecular en la primera y segunda banda positiva. En

nuestro caso nos referimos exclusivamente a la línea superradiante de 337.1 nm, que corresponde a la transición de $C^3\Pi_u - B^3\Pi_g$.

El Láser de Nitrógeno es un láser pulsado, debido a que la condición necesaria para que un láser trabaje en régimen continuo consiste en que el nivel superior de la transición láser tenga un tiempo de vida mayor que el inmediatamente inferior⁵. En el láser de nitrógeno esta situación es contraria, debido a que el tiempo de vida del nivel superior del láser (~47 ns)⁷ es mucho menor que el tiempo de vida del nivel inferior (~10 us)⁷, lográndose obtener solamente inversiones transitorias. De forma específica, el prototipo del Láser de Nitrógeno construido, está constituido por un Sistema de Excitación Eléctrica (Fuente de Alto Voltaje, y un Circuito de Carga y Descarga de Condensadores de alto voltaje), un Tubo de Descarga, y un Sistema de Circulación de Nitrógeno.

4.1. Sistema de Excitación Eléctrica

Este sistema tiene la función de generar pulsos de alto voltaje con un tiempo de crecida bastante pequeño^{7,11} (menor que el tiempo de vida del nivel superior de la molécula de Nitrógeno). Para lograr este propósito se utiliza primero una etapa de generación de alto voltaje ajustable, basada en un transformador “FlyBack”. Para el correcto funcionamiento del transformador FlyBack se diseño e implementó un circuito de excitación conformado por una fuente conmutada básica, que entrega en su salida niveles desde 20vdc hasta 140 vdc y un circuito de conmutación a alta frecuencia controlado por una señal modulada por ancho de pulsos (PWM), que convierte en régimen pulsado en voltaje entregado por la fuente conmutada^{8,9,10}. De esta forma se genera una señal pulsada y ajustable (ciclo útil) de la señal con la cual se excita el primario del transformador Flyback, obteniendo en el bobinado secundario de este niveles de alto voltaje, que dependen directamente del ciclo útil de la señal de excitación, y que son estabilizados por un banco de condensadores de alto voltaje que se conectan en la salida (bobinado secundario) del transformador FlyBack¹². En la figura 2 se ilustra el diagrama esquemático de la fuente de alto voltaje implementada.

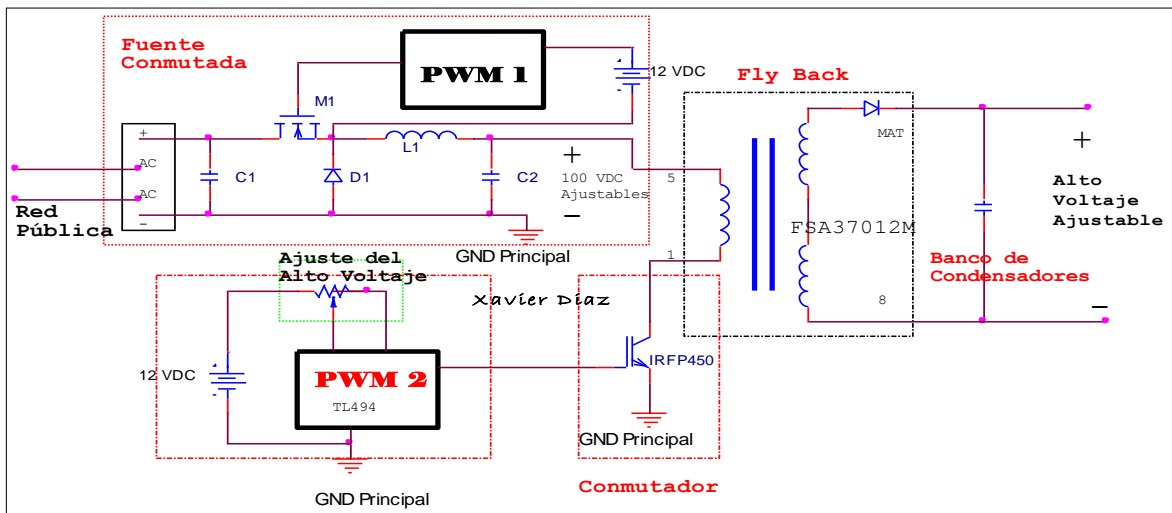


Figura 2: Diagrama esquemático de la Fuente de Alto Voltaje utilizada para generar niveles de alto voltaje DC

Con la fuente de alto voltaje implementada se obtuvieron niveles de alto voltaje, ajustables desde 3kV hasta 19 Kv, los cuales se midieron utilizando una punta atenuadora de alto voltaje (Modelo 80K-40 Fluke) acoplada a un multímetro digital (F117 Fluke). Seguido de la Fuente de alto voltaje se implementó el circuito Blumlein, el cual permitió generar el pulso de alto voltaje requerido, mediante la carga y descarga rápida de condensadores de alto voltaje. En la figura 3 se representa el diagrama esquemático del circuito de blumlein.

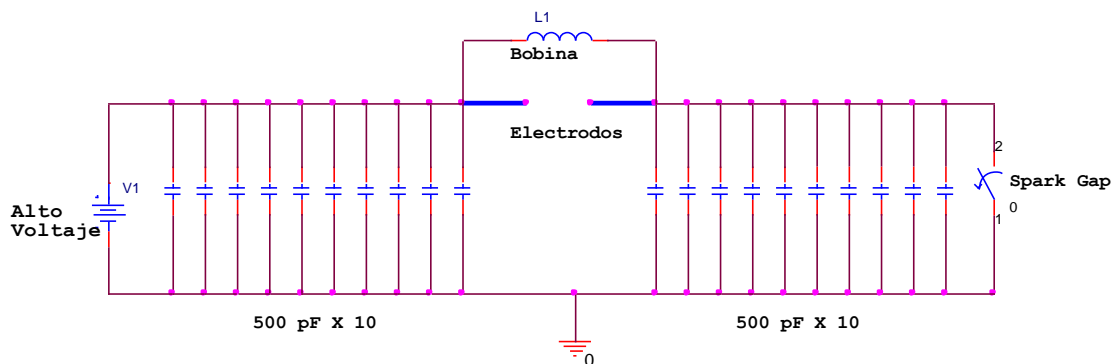


Figura 3: Diagrama esquemático del Circuito Blumlein, utilizado para generar pulsos de alto voltaje

A diferencia de las referencias encontradas, en nuestro circuito se utilizaron un conjunto de condensadores fijos distribuidos a lo largo de los electrodos del tubo de descarga, de tal forma que se emulase una capacitancia distribuida, y de esta forma garantizar uniformidad en la descarga. La frecuencia de descarga de los condensadores fue controlado por medio de un Spark Gap, constituido por 2 electrodos de hierro, uno de los cuales es móvil.

4.2. Sistema de Descarga

El Tubo de descarga esta constituido por dos electrodos paralelos de aluminio de 30 cm de largo y 3 cm de ancho, con separación interna de 0.5 cm. Estos electrodos están acoplados por medio de 2 láminas de acrílico tanto en la parte superior como en la inferior, y unas ventanas en los extremos del tubo, diseñadas especialmente para contrarrestar las perdidas de potencia por reflexión de la radiación emitida⁵, formando así una cámara de descarga herméticamente sellada, como se ilustra en la figura 4, por donde se hace fluir Nitrógeno, para posteriormente provocar la descarga eléctrica en el gas.

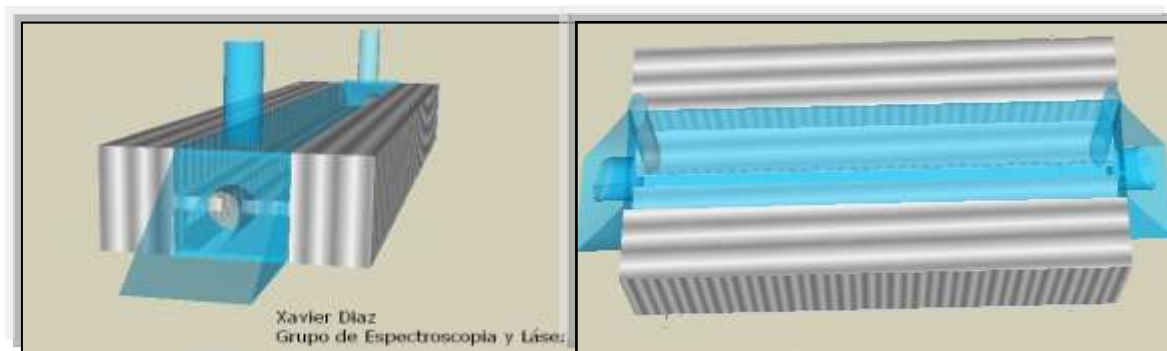


Figura 4: Tubo de Descarga implementado en el prototipo del láser de Nitrógeno.

4.3. Sistema de Circulación de Nitrógeno

El sistema de circulación de nitrógeno permitió garantizar un flujo controlado de nitrógeno a través del tubo de descarga, con presiones constantes, cuyos valores estuvieron comprendidos desde 50 a 180 Torr. Este sistema esta conformado por un cilindro donde se almacena el gas de nitrógeno a una presión de 150.012 Torr, un regulador de presión de doble etapa (mantiene la presión de salida constante, a pesar que varíe la presión de entrada) que permite reducir la presión del flujo de nitrógeno a parámetros aceptables. Además el sistema cuenta con una bomba de vacío y un medidor de presión, que nos permiten reducir y medir la presión en el interior del tubo de descarga a niveles adecuados para el funcionamiento de láser.

5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se ha logrado la implementación de un prototipo de un láser molecular de nitrógeno, con el que fue posible obtener radiación ultravioleta, que fue comprobada inicialmente con la fluorescencia producida en un detector visual de radiación ultravioleta. (figura5).



Figura 5: Súper fluorescencia emitida por el prototipo Láser de Nitrógeno.

Posteriormente se utilizó el espectrofotómetro **HR4000** de alta resolución, para la obtención del espectro de súperfluorescencia (Figura 6a) y el espectro de emisión láser (figura 6b) respectivamente de nuestro prototipo. En el espectro (Figura 6b) se comprueba la existencia del pulso láser, con mayor intensidad en la banda centrada en 337.1 nm, cuando se trabajó en un rango de presión comprendido entre 60 – 70 torr y niveles de voltaje de 9 kV y 13 kV. Los espectros también ponen de manifiesto la existencia de radiación en bandas cercanas a la deseada, lo que produce por la inestabilidad que se presentaba en la descarga de los condensadores, producto del desgaste que sufrían los terminales del SparkGap construido.

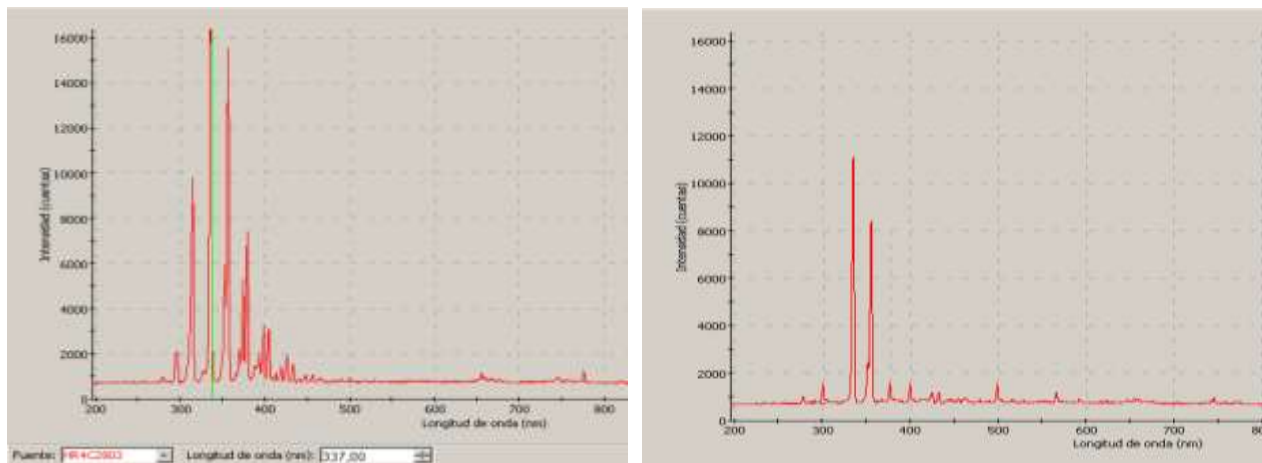


Figura 6: Espectro de superfluorescencia y Espectro de emisión láser del prototipo Láser de Nitrógeno,

En la figura 7a, se ilustra el sistema de medición de la radiación utilizado para la medición del espectro y en la figura 7b el montaje completo correspondiente al prototipo láser de nitrógeno implementado.



Figura 7: Sistema de medición de la radiación emitida por el prototipo Láser de Nitrógeno y Montaje experimental.

Con el diseño y construcción de este primer prototipo de un láser de nitrógeno, se obtienen valiosos conocimientos teóricos y experimentales en la física del láser, basados en la implementación de nuevos dispositivos electrónicos e instrumentación electrónica que permitan mejorar los prototipos laseres., así como la formación de Ingenieros Electrónicos en el campo de la Instrumentación Electrónica Aplicada a la espectroscopia y física del láser.

6. RECOMENDACIONES

Es necesario mejorar ciertos aspectos del prototipo realizado, lo que permitirá obtener mejores resultados. En el caso del SparkGap, este puede ser remplazado por un Tiratrón, el cual proporcionaría mayor estabilidad y sobre todo la posibilidad de un control mas seguro de la frecuencia de descarga de los condensadores. El transformador de alto voltaje FlyBack, puede ser remplazado por un modulo especial de alto voltaje, que facilitaría la medición y control del alto voltaje, aunque haría un poco más costoso el sistema.

AGRADECIMIENTOS

Se le agradece a la vicerrectora y División de Investigación de la Universidad Popular del Cesar por su apoyo y financiación del proyecto “Diseño y Construcción de un sistema láser económico constituido por un láser molecular pulsado y una cabeza óptica sencilla para colorantes”

REFERENCIAS

1. G. C. Thomas, G. Chakrapani and C. M. L. Kerr (2004). Coherent radiation from a nitrogen laser. *Applied Physics Letter*, 30(12), 633-635.
2. A. Bojara, W. Gawlik, R. Grabski, and J. Zachorowski. Simple, highly stable nitrogen laser with preionization. *Review of Scientific Instruments*, 55(2), 166-168
3. Demtroder, W. (1996). “Laser Spectroscopy: Basic Concepts and Instrumentation”(Second Enlarged Edition). New York: Springer.
4. J.R. Lakowicz, (1983) “Principles of Fluorescence Spectroscopy“. New York. Plenum.
5. Neira Bueno, Oscar León. Torres Moreno, César Orlando. Diseño y Construcción de un Láser Molecular de Nitrógeno. Bucaramanga, 1985, 140 p. Trabajo de Grado (Magíster en Física). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias. Departamento de Física.
6. Seki, H. Takemori, S. Sato, T. *Development of a highly efficient nitrogen laser using an ultra-fast magnetic pulse compression circuit*, Selected Topics in Quantum Electronics, IEEE Journal, Volume: 1, 825- 829,1995
7. M. Villagran, M. Argote, M. C. Dominguez. Láseres de N₂ para fines didácticos. *Revista Mexicana de Física* 40 No. 6. Mexico. 1994. pp 935-945.

-
8. Boylestad, R; Nashelsky, L. (1997). Electrónica: Teoría de Circuitos. México: Prentice – Hall.
 9. Rashid, M. (1995). Electrónica de Potencia (2da Edición). Prentice – Hall.
 10. Griffith P. (2004). Designing Switching Voltage Regulator with the TL494. Application Report Texas Instruments Incorporated (SLVA001 - December 2003 – Revised August 2004).
 11. Arieli, Rami (2008). La Aventura Láser (online). (Murcia, España), (Citado 2007)
<http://www.um.es/LEQ/laser/index.htm>
 12. Goldwasser, S. (2006). Testing of Flyback (LOPT) Transformers (Version 1.58).
<http://www.repairfaq.org/sam/flytest.htm>.