

CONSTRUCCION Y CARACTERIZACION DE UN DIODO LASER ESTABILIZADO SINTONIZABLE

CONSTRUCTION AND CHARACTERIZATION OF A TUNABLE AND STABILIZED DIODE LASER

F. Barabas¹, G. Petrunaro¹, Ch. Schmiegelow¹, J. Codnia².

¹ Departamento de Física, FCE y N, UBA

Paellón 1, Ciudad Universitaria (1428) – Buenos Aires - Argentina

² Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones CEILAP (CITEDEF-CONICET)

Juan Bautista de La Salle 4397 - (B1603ALO) – Villa Martelli – Prov. Buenos Aires - Argentina

e-mail: gabypetrunaro@gmail.com, fede.barabas@gmail.com, schmiegelow@df.uba.ar, jcodnia@citedef.gob.ar

Recibido 28/02/11; aprobado 30/09/11

En este trabajo se presentan los resultados de la construcción y caracterización de un láser de diodo sintonizable. El sistema consistió en un diodo láser realimentado mediante una red de difracción en configuración de Littrow con control activo tanto de la corriente como de la temperatura. En este sentido se desarrolló una fuente de corriente regulable estabilizada. Dado que la estabilidad en frecuencia del láser depende críticamente de la temperatura, se diseñó y construyó un sistema activo de estabilización de temperatura a partir de una celda Peltier y un termistor. A su vez, se diseñaron y maquinaron los montajes optomecánicos para el diodo, la lente, la red y la celda Peltier. Utilizando un diodo láser extraído de una grabadora de CD se logró sintonizar en un intervalo de 6 nm en un entorno de la longitud de onda de emisión del diodo láser sin realimentar (típicamente 780 nm). El intervalo de sintonización se pudo variar modificando el valor de estabilización de la temperatura. Con el sistema desarrollado se obtuvo una variación de $0,2 \text{ nm K}^{-1}$.

Palabras Claves: Diodos láser, coherencia, cavidad externa.

The results of construction and characterization of a tunable and stabilized diode laser are presented. The system consisted in a laser diode with an external-cavity feedback from a diffraction grating in Littrow configuration. Active control of current was achieved by the design and construction of a controlled and stabilized current circuit. Since laser frequency critically depends on its temperature a stabilized temperature controller was developed based on a Peltier cell and a thermistor. Moreover, optomechanic mounting blocks were designed and constructed for the laser, the collimator lens, the diffraction grating and the Peltier cell. Using a cd-drive diode laser it was possible to vary the system frequency 6 nm near the laser original frequency (typically 780 nm). It was also possible to vary the tuning interval by changing the value of stabilized temperature at the rate of 0.2 nm K^{-1} .

Key Word: Laser Diode, coherence, external cavity.

I. INTRODUCCIÓN

Desde hace ya varios años los láseres de diodo son muy utilizados por su bajo costo, facilidad de operación y disponibilidad en distintas longitudes de onda⁽¹⁻³⁾. Sin embargo, en ciertas aplicaciones donde la estabilidad y pureza espectral son relevantes poseen una serie de desventajas: son multimodo, tienen un ancho de banda grande, y la longitud de onda de emisión es muy sensible a cambios en la temperatura y la corriente. Los láseres sintonizables de cavidad externa construidos a partir de láseres de diodo conservan gran cantidad de las ventajas de los láseres de diodo sin realimentación además de mejorar significativamente sus características espectrales y de estabilidad. Armandando una cavidad externa con una red de difracción, es posible reducir considerablemente el espectro de emisión del láser de diodo y, a su vez, poder sintonizarlo en un cierto intervalo de frecuencias de forma muy precisa. La llamada configuración de Littrow permite realimentar al diodo con el primer orden de difracción y salir por el orden cero.

En este trabajo se describe la construcción y caracterización de un sistema láser estabilizado sintonizable. El sistema desarrollado consiste en un diodo láser realimentado mediante una red de difracción en configuración de Littrow con control tanto de la corriente como de la temperatura. En este sentido se desarrolló una fuente de corriente regulable estabilizada. Dado que la estabilidad en frecuencia del láser depende críticamente de la temperatura, se diseñó y construyó un sistema activo de estabilización de temperatura a lazo cerrado a partir de una celda Peltier y un termistor. A su vez se diseñaron y maquinaron los montajes para el diodo, la lente, la red y la celda Peltier con su respectivo disipador, además de una caja de acrílico para aislar el sistema

II. PARTE EXPERIMENTAL

Diseño de piezas del montaje

Se diseñaron las piezas para el soporte del diodo, el soporte de la lente colimadora, el de la red de difracción

y la base común sobre la que éstos se ubican. El soporte del diodo y la lente se confeccionaron en aluminio y el soporte para la red y la base común, en latón. La Figura 1 muestra una fotografía donde se observa, de derecha a izquierda, los soportes del diodo, la lente y la red de difracción así como la base, debajo de la cual está montada la placa Peltier.

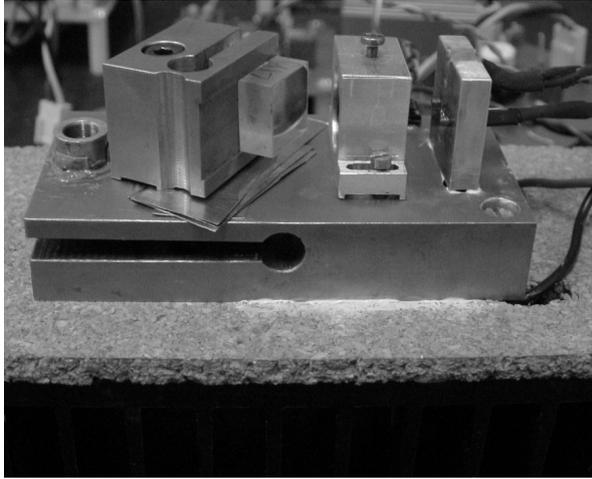


Figura 1. Detalle del montaje del diodo con la lente colimadora y la red de difracción

Regulación y control de corriente

La estabilidad y regulación de la corriente entregada al diodo láser son importantes para evitar fluctuaciones en la potencia y longitud de onda emitidas. La Figura 2 muestra un esquema del circuito construido.

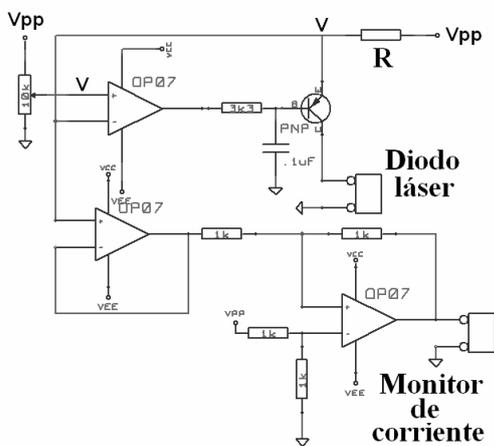


Figura 2. Esquema electrónico de la fuente de corriente regulada programable

La operación del mismo es la siguiente: existiendo realimentación negativa, la tensión, V , sobre el emisor del transistor es exactamente la del punto medio del potenciómetro multivuelta. La corriente por la resistencia, R , por lo tanto es

$$I = \frac{V_{pp} - V}{R} \quad (1)$$

la cual es, a su vez, la que circulará por el diodo dado que ni la base del transistor ni la realimentación negativa drenan una corriente significativa. Con el fin de disponer de una tensión calibrada para monitoreo de la corriente se dispusieron los otros dos opamps. Se agregó un sistema de encendido lento (no mostrado en el esquema) para eliminar los transitorios de conmutación protegiendo así al diodo de sobretensiones.

Regulación y estabilización de temperatura

El sistema de regulación y estabilización de temperatura consiste de tres bloques fundamentales: una primera etapa para la generación y amplificación de la señal de error (V_{error}). Una segunda etapa esencialmente de integración de la señal de error y finalmente una etapa de potencia para controlar la placa Peltier. La Figura 3 muestra el esquema del circuito electrónico completo. La señal de error se obtiene a partir de amplificar la salida del puente de Wheatstone formado por un termistor y un potenciómetro multivuelta y dos resistencias. La etapa de potencia está constituida fundamentalmente por un par de transistores complementarios en configuración *Push - Pull*. Estos transistores son manejados por la integral de la señal de error de forma tal que el sistema se estabiliza para $V_{error} = 0$. Sin embargo, con el fin de llevar al sistema al equilibrio más rápidamente y eliminar las oscilaciones alrededor del punto de trabajo, a la señal del integrador se le suma la señal de error con un factor de peso (etapa proporcional). La sensibilidad del sistema viene dada por la sensibilidad del termistor y la ganancia del amplificador de la señal de error. A partir del análisis de la primera etapa del circuito, la señal de error se puede escribir como:

$$V_{ERROR} = GV_{ref} \left(\frac{1}{1 + R_2/R_1} - \frac{1}{1 + R_T/R_{mf}} \right) \quad (2)$$

Siendo V_{ref} la tensión de referencia dada por el regulador de tensión LM399, G la ganancia de la etapa amplificadora, R_2 y R_1 las resistencias equivalentes de una de las ramas del puente (potenciómetro multivuelta) y R_T y R_{mf} las resistencias de la otra rama donde en particular R_T es el termistor. La variación de R_T con la temperatura es del tipo hiperbólica. Con los elementos utilizados en este trabajo se obtuvo la expresión

$$\delta T = k \delta V \quad (3)$$

siendo la constante $k^{-1} = 28 \text{ V K}^{-1}$ una medida de la sensibilidad.

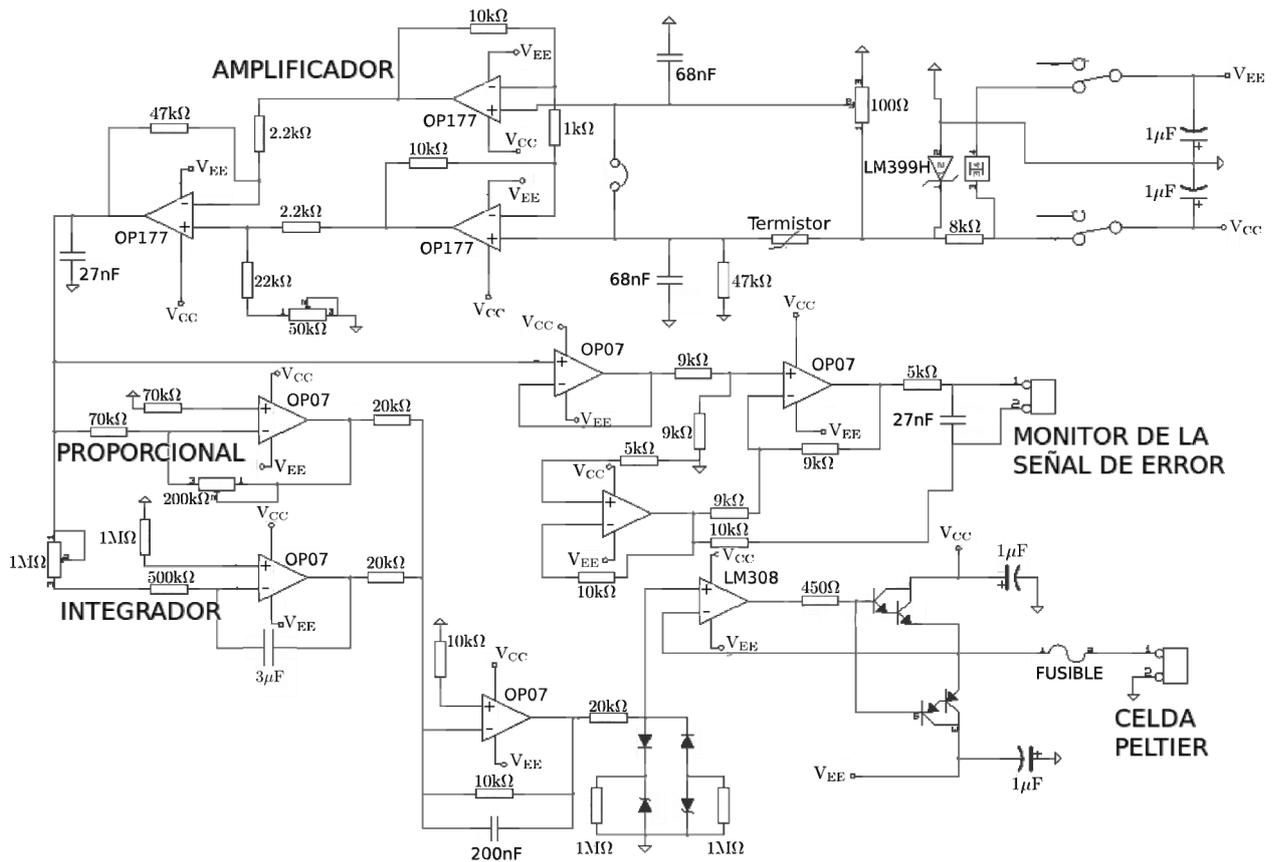


Figura 3. Esquema electrónico del circuito de estabilización de temperatura.

III. RESULTADOS

En primer lugar se relevó la curva potencia - corriente del diodo a temperatura ambiente. En la Figura 5 se muestra la variación de la potencia de salida del diodo con la corriente. Como es usual en los diodo láser, se ve que a partir de una corriente umbral, I_{UMBRAL} , la potencia crece linealmente. Mediante regresión lineal se obtuvo $I_{UMBRAL} = (36,7 \pm 0,4)$ mA y la pendiente $(1,036 \pm 0,006)$ W/A.

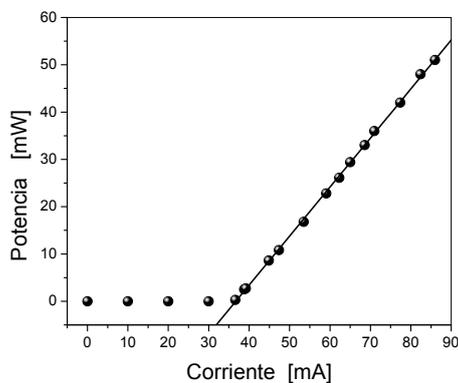


Figura 5. Potencia de salida versus corriente de alimentación del diodo.

En segundo lugar, manteniendo la corriente fija, se determinó la variación de la longitud de onda de emisión del diodo en función de su temperatura. Para

ello se utilizó un espectrómetro de fibra óptica AvaSpec 3648. La Figura 6 muestra dicha variación donde se observa un comportamiento lineal con una pendiente de $(0,203 \pm 0,004)$ nm $^{\circ}\text{C}^{-1}$.

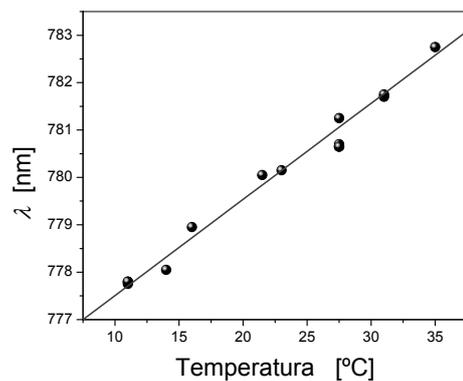


Figura 6: Longitud de onda de emisión versus temperatura del diodo.

Esto implica que el láser se puede sintonizar en un intervalo de 6 nm modificando la temperatura cerca de 30 $^{\circ}\text{C}$. Por otro lado da una idea del enorme requerimiento de estabilidad en temperatura ya que para una emisión estable en 0,0002 nm ($\Delta\nu = 100$ MHz) la variación de temperatura debe ser del orden de 1 mK. El sistema de control y estabilización de temperatura se caracterizó de dos regímenes: en primer lugar el comportamiento transitorio y luego la estabilidad a

largo plazo. La Figura 7 muestra el comportamiento de las tensiones de la señal de error, de salida del integrador y la de alimentación de la placa Peltier al arrancar el sistema a temperatura ambiente y haber seteado la temperatura de trabajo 10 grados por debajo de ésta.

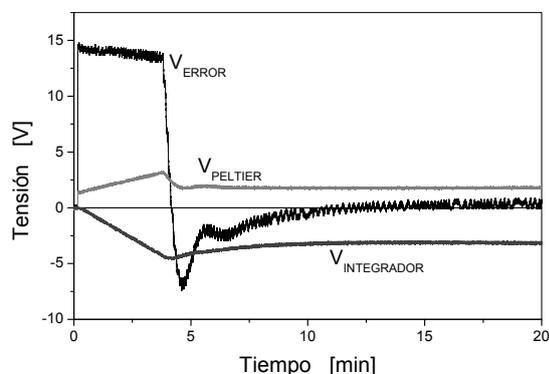


Figura 7. Histogramas de los datos normalizados para los 13 valores de la diferencia de camino óptico.

En esta figura se observa que, inicialmente la señal de error está saturada por lo que el integrador varía linealmente (lo mismo que la tensión de control de la Peltier) enfriando al sistema. Al alcanzar la temperatura programada la señal de error se va a cero y el sistema alcanza el equilibrio como un sistema dinámico de segundo orden en condición de amortiguamiento crítico. El tiempo característico resultó ser menor que 15 minutos.

Una vez alcanzada la temperatura programada se procedió a ver la estabilidad de la misma. La Figura 8 muestra la variación de la temperatura en un intervalo de tiempo de 1 hora y media.

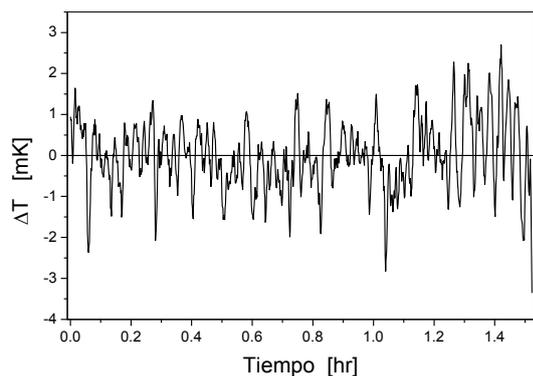


Figura 8: Evolución temporal de la temperatura alrededor del valor programado.

Las variaciones de la temperatura se estimaron a partir de las variaciones de la señal de error utilizando la expresión (3). Como se ve en la figura las variaciones son inferiores 4 mK de pico y 0,8 mK de valor eficaz. Finalmente se observó la capacidad de sintonización con la cavidad externa mediante la red de difracción. La Figura 9 muestra el espectro de emisión del sistema

láser para 4 posiciones distintas de la red observándose un intervalo de variación de cerca de 6 nm. Estas mediciones se realizaron con un espectrómetro Czerny Turner de 0,5 m de longitud y 0,02 nm de resolución.

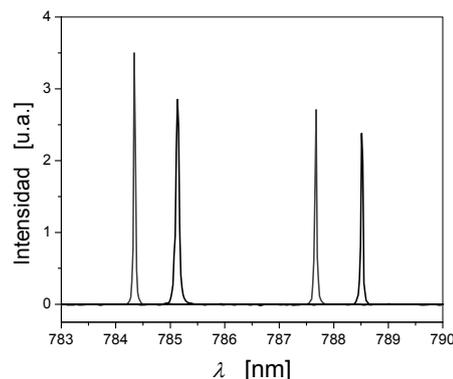


Figura 9. Espectro de emisión del láser operando con la cavidad externa para 4 posiciones diferentes de la red de difracción.

IV. CONCLUSIONES

Se construyó y caracterizó un sistema láser estabilizado y sintonizable utilizando un diodo láser extraído de una grabadora de CD. Se diseñaron y construyeron los circuitos electrónicos para el control activo de la corriente y la temperatura obteniéndose una gran estabilidad en ambos parámetros. La corriente se pudo regular en un intervalo entre 0 – 100 mA con una sensibilidad de 0,1 mA manteniéndose constante durante horas. Respecto de la temperatura, el sistema alcanzó el equilibrio térmico al cabo de unos 15 minutos y luego se mantuvo estable con una fluctuación RMS de 0,8 mK lo cual implica una estabilidad en frecuencia de 80 MHz.

Con la cavidad externa, realimentando con la red, el láser se pudo sintonizar en un intervalo de 6 nm alrededor de la longitud de onda de emisión del diodo láser libre, típicamente 780 nm. Se trató de determinar el ancho espectral pero sólo se obtuvo una cota superior de 0,02 nm dada por la resolución del espectrómetro utilizado.

Actualmente se está desarrollando un sistema a lazo cerrado el cual, controlando la posición de la red de difracción con un PZT, podrá fijar la frecuencia de emisión del diodo utilizando como referencia una banda de absorción estrecha de un gas a baja presión.

Referencias

- 1 – MacAdam, K.B., Steinbach, A., Wieman, C. Am J. Phys, **60** (12), 1098-1111 (1992).
- 2 – Mellish, A.S., Wilson, A.C., Am J. Phys, **70** (9), 865-871 (2002).
- 3 – Zorabedian, P. Tunable Laser Handbook, Cap 8, Ed. Duarte, F.J. Academi Press, New York (1995).