

# Diseño y construcción de láser de diodo en configuración Littrow de cavidad externa\*

Mateo Cangrejo<sup>†</sup> and Nicolás Manrique<sup>‡</sup>  
*Departamento de Física, Universidad de los Andes.*  
(Dated: March 13, 2019)

Se construyó un láser para un diodo de  $637\text{nm}$  de  $5\text{mW}$  en configuración de Littrow de cavidad externa que logra mejorar la estabilidad de la longitud de onda del haz. Para esto se implementó un circuito capaz de controlar la corriente que a través del diodo dentro de sus límites de operación usando la fuente de poder CL-2005. Posteriormente, se colimó la luz emitida y se realizó el montaje de la configuración Littrow de cavidad externa.

## I. INTRODUCCIÓN:

Los láseres son empleados en las áreas de investigación académica, militar, medicina, medición, instrumentación, entre otras. Sus aplicaciones son diversas y sus modos de empleo siguen expandiéndose, convirtiéndose en un dispositivo muy útil tanto en el campo científico como en el tecnológico.

Un láser es un elemento capaz de convertir energía de cualquier fuente en una emisión óptica con coherencia espacial y espectral, es decir, el haz de luz es altamente direccional y tiene una frecuencia o gama de frecuencias bien definidas [1].

Ahora bien, una de las principales aplicaciones de los láseres por parte de la facultad de física de la Universidad de los Andes es la caracterización de la materia a través de la espectrometría. Esta aplicación requiere cierto control sobre los modos, la longitud de onda y el espectro del laser. En este momento, la facultad cuenta con una serie de láseres de longitud de onda y potencia fija.

A partir de la reciente fundición de uno de los diodos de un láser, y teniendo en cuenta el costo temporal y económico de importar un equipo de este tipo, surgió la idea de emplear su fuente de control para construir un láser propio. La principal ventaja de este nuevo diseño es que el diodo puede ser reemplazado con facilidad y, de ese modo, se puede usar el láser para diferentes longitudes de onda solo con unas leves modificaciones en el circuito de alimentación.

Finalmente, dado que para algunos experimentos es crucial una longitud de onda estable en función del tiempo, para dicho fin se realizó -luego de colimar el haz- la configuración Littrow en cavidad externa.

## II. MARCO TEÓRICO:

Un diodo láser semiconductor convencional se puede apreciar en la Figura 1. El funcionamiento de este diodo está determinado por la unión n-p, proveniente de las capas de materiales dopados con huecos o electrones que

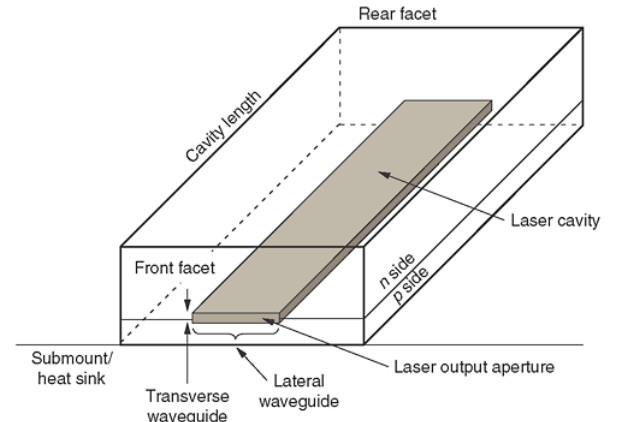


FIG. 1. Modelo de láser de diodo semiconductor estándar. [2]

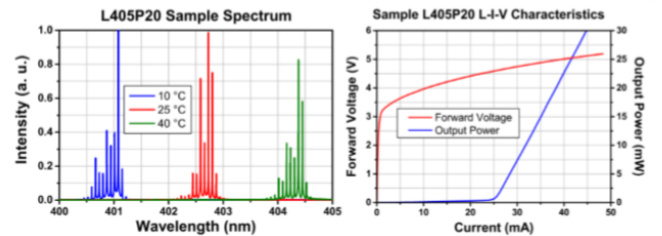


FIG. 2. Perfil de longitud de onda para tres temperaturas diferentes a la derecha y curvas voltaje-corriente y potencia-corriente para diodo láser de  $405\text{nm}$  a  $20\text{mW}$  [3]

generan un pozo de potencial en el que se acumulan portadores cuando estos se ven sometidos a una corriente determinada. Estos portadores son confinados y excitados de manera que emiten fotones, que a su vez son confinados en la cavidad de láser. Allí, estos fotones interfieren constructiva y destructivamente, hasta que alcanzan la salida (sólo una de las caras de la cavidad de laser tiene un alto índice de refracción que permite la salida de luz a través de la misma).

Debido a que la emisión de fotones es altamente dependiente de la energía del pozo de potencial, los cambios en la temperatura pueden derivar en diferencias considerables en el espectro de longitud de onda correspondientes a un mismo diodo láser. Este comportamiento se puede observar en la Figura 2, correspondiente a los datos re-

\* Proyecto, Laboratorio Intermedio

<sup>†</sup> dm.cangrejo10@uniandes.edu.co

<sup>‡</sup> n.manrique10@uniandes.edu.co

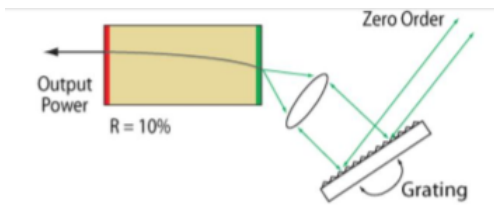


FIG. 3. Configuración en cavidad externa de Littrow. [4]

portados por el fabricante para un diodo láser de 405nm a 20mW [3].

Se observa un corrimiento hacia menores longitudes de onda para temperaturas inferiores. Mantener una temperatura estable del diodo, además de minimizar las variaciones en el espectro de longitudes de onda del diodo, también implica potencias del haz de salida más uniformes como se puede apreciar en una relación también dada por el fabricante en la Figura 4. De esta manera, el diseño del láser debe ser capaz de disipar la suficiente energía térmica para poder operar en regiones de longitud de onda y potencia lumínica estable. Por otro lado, la implementación de una cavidad externa, como la configuración de Littrow, permite seleccionar modos normales fuera de la cavidad del diodo, mejorando la estabilidad del sistema al verse sometido a cambios de temperatura y variaciones de corriente. Esta configuración consiste en retroalimentar el haz de salida del diodo con la difracción de primer orden, que se obtiene haciendo incidir dicho haz en una rejilla de difracción, dirigiendo la luz difractada directamente a la cavidad del diodo. Los modos normales de la cavidad interfieren entonces constructiva o destructivamente con los modos del haz refractado hacia la cavidad (que se pueden variar modificando el ángulo de incidencia del haz de salida del diodo en la rejilla). El haz de salida de dicho sistema es entonces la difracción de orden cero del haz de salida del diodo en la rejilla. Se observa en la Figura 3.

### III. OBJETIVOS:

#### A. Objetivo general:

Diseñar y construir un láser de diodo semiconductor en configuración de Littrow, capaz de mejorar la estabilidad de la longitud de onda del haz emitido con respecto a la configuración sin retroalimentación.

#### B. Objetivos Específicos

- Implementar un circuito de alimentación del diodo capaz de controlar la corriente a la que opera este elemento, limitando la corriente máxima con el fin de evitar daño al diodo.
- Colimar la luz emitida por el diodo.

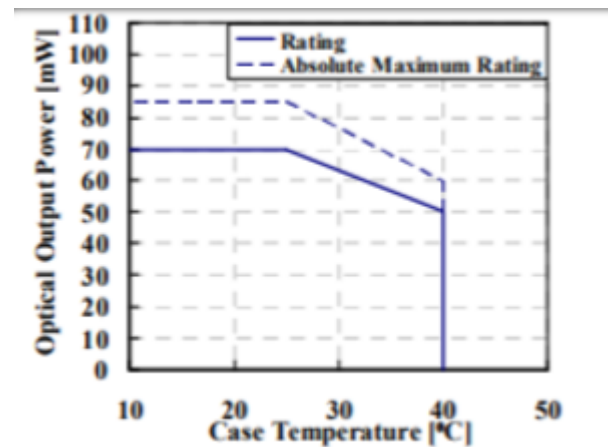


FIG. 4. Relación entre temperatura del diodo láser de 405nm a 20mW y potencia de luz emitida [3]

- Relacionar, mediante experimentación, los parámetros de entrada del sistema (corriente y temperatura) con las variables físicas de salida del haz de luz (potencia y longitud de onda).
- Determinar la respuesta temporal de la longitud de onda del haz de salida del láser.
- Realizar el montaje de los componentes del láser de cavidad externa en configuración Littrow y determinar si se mejora la estabilidad del haz de luz retroalimentado.

## IV. MONTAJE EXPERIMENTAL

Para el montaje del láser, se requería una fuente de corriente regulable, una base capaz de disipar la suficiente energía térmica como para poder despreocuparse de los cambios de temperatura del diodo y no afectar la longitud de onda de salida, de no ser suficiente, sería necesario implementar un control activo de temperatura, como por ejemplo, con una cerla peltier enfriando o calentando la base. A continuación se comenta, desde la caracterización de la fuente con la que contaba el laboratorio hasta la prueba de la respuesta en temperatura para la base manufacturada para el desarrollo del experimento.

#### A. Fuente de poder

Se caracterizó la fuente con la que contaba el laboratorio para llevar a cabo el experimento. Esta fuente no solo regulaba la corriente del diodo, sino que también recibía retroalimentación de la temperatura y la potencia del haz de salida (a partir de una termocupla y una fotorresistencia), controlando la corriente entregada tanto al diodo como a una celda peltier para mantener la potencia estable. Sin embargo, debido a las diferencias en

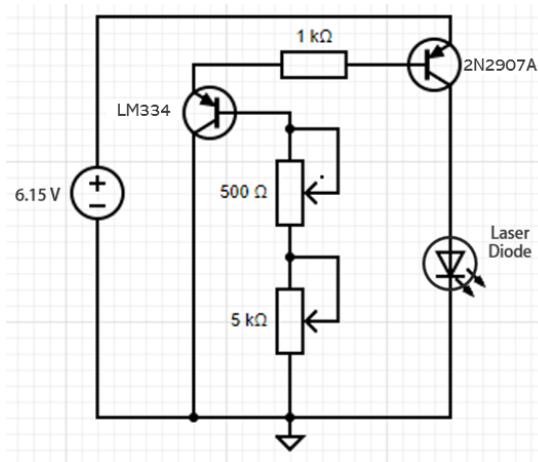


FIG. 5. Circuito controlador de corriente para alimentar el diodo.

el montaje se empleó dicha fuente como una de voltaje constante a 6.15 voltios, con una corriente máxima de 400mA. De esta manera, fue necesario diseñar e implementar un circuito capaz de regular la corriente a través del diodo para una entrada constante de 6.15mA.

### B. Circuito de alimentación

El circuito implementado para controlar la corriente del diodo se muestra en la Figura 5.

El circuito consiste en un transistor 2N2907A (PNP) que mantiene fija la diferencia de potencial entre la base y el emisor en 1.5 voltios aproximadamente, y tiene una ganancia de corriente entre la base y el emisor de un factor aproximado de 180 (dependiente de la temperatura). La función del segundo transistor (LM334) es regular la corriente de la base, que es la misma del colector, partiendo de que la diferencia de potencial entre la base y el emisor se mantiene constante en 67.7mV aproximadamente (dependiente de la temperatura). De esta manera, la resistencia de la base al emisor se puede variar, determinando la corriente del colector del LM334, que a su vez es la de la base del 2N2907A. La corriente del diodo es entonces regulada modificando los potenciómetros conectados a la base del LM334. Se nota que el aumento de la resistencia equivalente de los dos potenciómetros implica una disminución en la corriente. Incluso cuando las ganancias de los transistores son sensibles a cambios de temperatura, la corriente en el diodo ( $I_{diodo}$ ) se relaciona con la resistencia equivalente de los potenciómetros como

$$I_{diodo} \approx \frac{12.18V}{R_{eq}}. \quad (1)$$

La configuración de los potenciómetros como se muestran en el circuito permiten fijar una corriente mínima calibrando el potenciómetro de  $500\omega$ , y variando el potenciómetro de  $5k\omega$  es posible modificar la corriente del

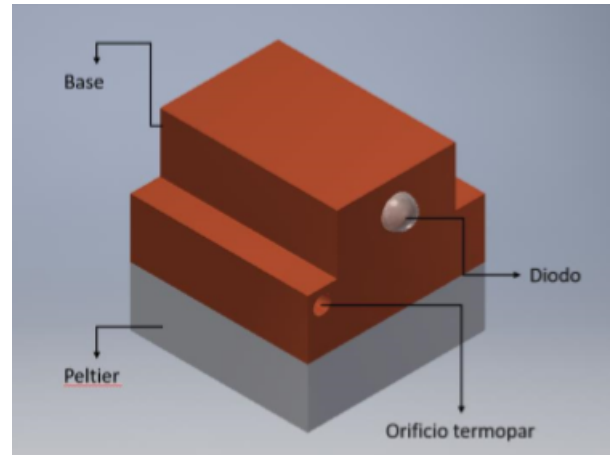


FIG. 6. Ensamble para manufactura para disipador de energía térmica del diodo láser

máximo, a valores cercanos a 0. Por ejemplo, fijando uno de los potenciómetros en  $450\omega$ , y variando el otro de 0 a  $5k\omega$  se obtiene un rango de corrientes entre 2 y 27mA.

### C. Base del láser

Inspirados en el diseño del láser fundido, el laboratorio de óptica en conjunto con el laboratorio de manufactura diseñó un ensamble capaz de alojar un diodo láser semiconductor convencional, que a su vez actuara como un controlador de temperatura, implementando una celda Peltier en contacto con un disipador de calor manufacturado en cobre para facilitar el equilibrio térmico, y a su vez albergar una termocupla que permitiera la medición de temperatura cerca al diodo láser. El diseño general se puede observar en la Figura 6.

El montaje fue probado con el diodo L637P5 de Thorlabs, diodo semiconductor de luz roja con potencia lumínica de 5mW.

Habiendo montado y encendido el diodo, se registró la temperatura con una termocupla en el tiempo, con el diodo operando a la corriente típica según la hoja de especificaciones del proveedor. No se notaron cambios de temperatura significativos, de manera que no fue necesario implementar un control activo de este parámetro.

### D. Colimación de la luz

Para la colimación del haz se usó una lente C220TMD-B de Thorlabs. La cara plana del lente se puso frente al diodo y de la cara esférica salía el haz colimado. Para realizar este proceso se fijó la lente dentro de la montura roscada. Al girar la montura, se acercaba o separaba la lente del diodo. Se giró la montura hasta que el ancho del haz emitido por la lente no variaba a diferentes distancias del láser. En ese momento el haz estaba colimado.

Es importante aclarar que la polarización emitida por la lente es elíptica.

### E. Potencia y longitud de onda de haz colimado

Una vez colimado el haz se procedió a medir su potencia en función de la corriente. Para esto se realizó el montaje del láser colimado y se colocó el Power Meter (con la función de filtro encendido y a una longitud de onda de  $633nm$ ) a unos  $15cm$  del láser. Se empezó con la corriente en el valor mínimo posible del circuito y se iba subiendo continuamente la corriente hasta llegar al valor máximo. En cada aumento de corriente se medía también la potencia del haz.

Así mismo, se midió al haz colimado su longitud de onda en función de la corriente. Para esto, se colocó el receptor del Wavelength Meter a unos  $15cm$  del láser y para cada valor de corriente se obtuvo su correspondiente longitud de onda.

Finalmente, se midió el desarrollo temporal de la longitud de onda del haz. Para esto, con el Wavelength Meter se midió durante 1 hora la longitud de onda a una corriente fija de  $20mA$  (el valor de operación).

### F. Configuración Littrow de cavidad externa

Inicialmente se colocó la rejilla de difracción en la montura móvil del montaje pegandola con cintas de doble faz de modo tal que la refracción de los modos se diera en la dirección horizontal. Posteriormente, con el Power Meter se midieron los 3 modos de refracción. El segundo de más potencia (refracción de primer orden) se colocó en la misma dirección del haz incidente de modo que existiera interferencia entre estos dos haces.

Posteriormente, se realizó el ajuste fino de la rejilla con los tornillos de la montura de modo que la potencia emitida por la rejilla estuviera en un máximo de su valor.

### G. Longitud de onda de haz en configuración de Littrow

Con el montaje en configuración de Littrow descrito en la sección IV F, se procedió a medir en el modo de mayor potencia el desarrollo temporal del valor de la longitud de onda. Para esto, se colocó el receptor del Wavelength Meter en este modo durante uno o media hora a una corriente fija de  $20mA$  (la corriente de operación).

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### A. Pruebas del control de temperatura.

Para este diodo de  $637nm$  a  $5mW$  se observó, mediante una termocupla, que su temperatura no cambió más de

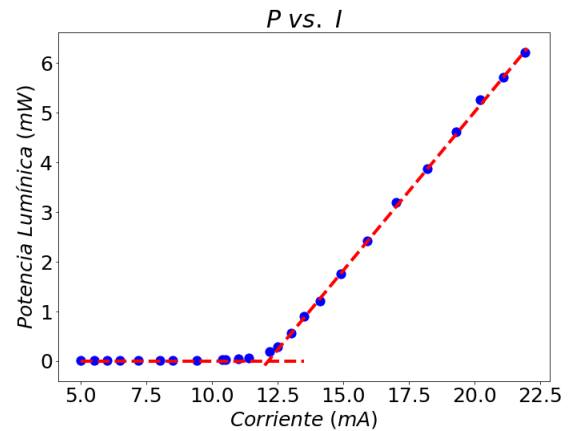


FIG. 7. Corriente contra intensidad lumínica a  $17.4^{\circ}C$ . El intercepto de las proyecciones marca la corriente de threshold.

$0.5^{\circ}C$  durante 2 horas de operación a  $20mA$  (corriente de operación). Debido a esto se decidió despreciar los efectos de la temperatura para el resto de mediciones ya que el calentamiento era casi imperceptible, y se puede atribuir a cambios en la temperatura ambiente.

Sin embargo, si se requiere una precisión máxima durante un largo tiempo de operación, o un diodo de mayor potencia, es importante controlar su temperatura con la celda Peltier para evitar cambios en la longitud de onda.

### B. Potencia y longitud de onda de haz colimado.

Los resultados obtenidos de la potencia del haz en función de la corriente del diodo se muestra en la figura 7. Es evidente de esta gráfica el valor de la corriente de threshold de  $I_{TH} = 12.1mA$ . Antes de esta corriente la potencia del haz de luz es mínima pero al llegar al valor  $I_{TH}$  empieza a incrementar considerablemente la potencia del haz linealmente con la corriente. Esta gráfica va conforme al funcionamiento dado por el fabricante.

No obstante, el valor threshold dado por el fabricante va entre  $15$  a  $20mA$  a una temperatura de  $25^{\circ}C$ . El valor obtenido de  $12mA$  es menor dado que la temperatura del diodo durante la medición es de  $17.4^{\circ}C$  mucho menor a la del fabricante ( $25^{\circ}C$ ).

En la figura 8 se muestran los resultados de la longitud de onda en función de la corriente del diodo. De esta gráfica se puede observar que la longitud de onda incrementa en función de la corriente. Además, se ven claramente dos secciones de la curva (antes y después de los  $15.3mA$ ) en las que el crecimiento es lineal. Sin embargo, entre estas dos secciones hay un salto en la longitud de onda. Este salto discreto se debe a que se da un paso de un modo normal predominante de la longitud de onda emitida a otro. Por otra parte, en la sección de la curva con corrientes mayores a los  $15.3mA$ , se ven 3 puntos fuera de la línea de tendencia. Estos puntos

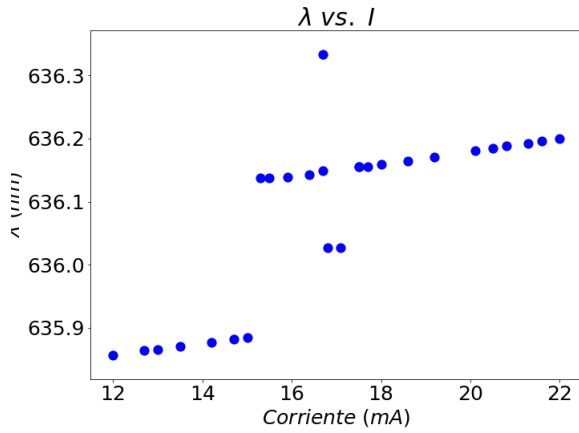


FIG. 8. Corriente contra longitud de onda a  $17.4^{\circ}C$ .

posiblemente son otros modos normales de la longitud de onda del láser que se dan justamente a esa corriente del diodo.

### C. Longitud de onda de haz en configuración de Littrow

En la figura 9 se muestran los resultados del desarrollo temporal de la longitud de onda del haz para mediciones de 30 minutos.

La primera gráfica muestra la variación de la longitud de onda del haz en el caso en que no se tiene la configuración de Littrow, es decir, sin la retroalimentación que esta configuración genera.

Las siguientes 3 gráficas muestran el desarrollo temporal de la longitud de onda del haz en el caso en que se tiene la retroalimentación dada por la configuración de Littrow. En la gráfica del feedback 1 se nota un decrecimiento con saltos bruscos periódicos de la longitud de onda, en la gráfica del feedback 2 se observa inicialmente un aumento de la longitud de onda pero luego decrece intentando estabilizarse en cierto valor, y en el caso de feedback 3 se mejoró el ajuste fino de la rejilla generando una menor variación de la longitud de onda.

En todas las curvas se observa que en la mayoría del intervalo de medición la longitud de onda decrece, esto se debe a que el diodo durante la operación se calienta y esto ocasiona la disminución de dicho valor. No obstante, no es completamente clara la explicación física de cada uno de los comportamientos detallados de estas curvas.

En la figura 10 se muestran los modos normales de la frecuencia del haz de luz para los diferentes casos de feedback. En el caso a) sin feedback, se observan varios modos interfiriendo entre sí. En el caso con b) con feedback se observan 2 modos interfiriendo entre sí (uno con mayor amplitud que el otro), es decir, que aún falta calibrar la configuración. En el caso c) con feedback la calibración está casi conseguida, pero en los valles se ob-

### Desarrollo temporal de la longitud de onda para configuraciones con diferente retroalimentación

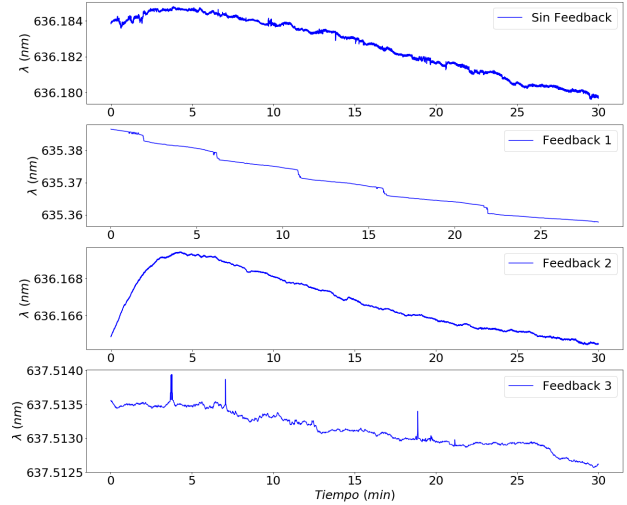


FIG. 9. Resultados del desarrollo temporal de la longitud de onda para diferentes ajustes de feedback.

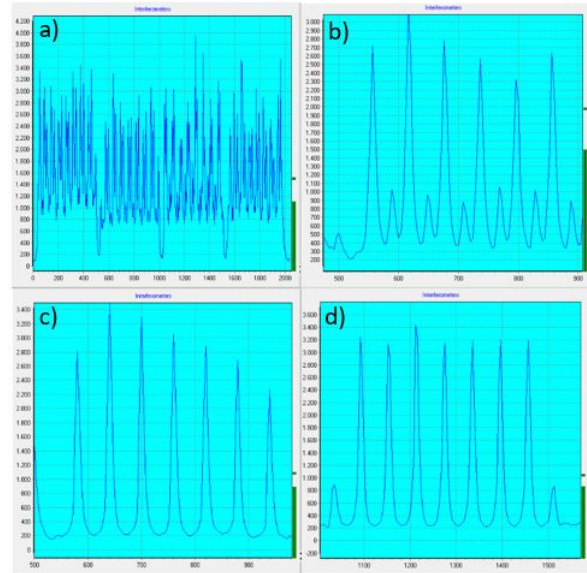


FIG. 10. Espectro de los modos normales de la frecuencia del haz de luz para diferentes ajustes de feedback: a) sin feedback, b) feedback 1, c) feedback 2 y d) feedback 3.

servan ciertas interferencias muy leves. En el último caso d) con feedback se logra el mejor ajuste fino de la rejilla consiguiendo así solo un modo normal en la medición (sin interferencias). Se resalta que las configuraciones en las que se alcanzaban modos normales únicos, con picos bien definidos (unimodales) son capaces de mantener una longitud de onda más estable en el tiempo, con respecto a las que corresponden a configuraciones en las que el haz de salida es multimodal, como el haz sin feedback.



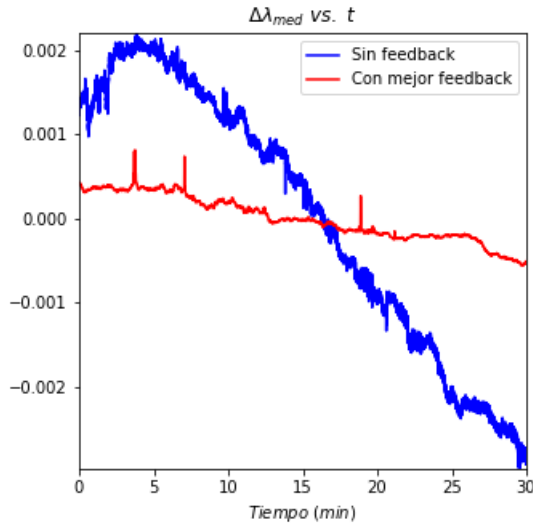


FIG. 11. Desarrollo temporal de la diferencia con respecto a la media de las longitudes de onda medidas sin feedback y con el mejor feedback.

En la figura 12 se muestra una comparación entre el desarrollo temporal de los cambios de longitud de onda entre la medición sin (sin feedback) y con la configuración de Littrow (feedback 3). Es evidente en la gráfica que la configuración en Littrow con el ajuste fino genera una mejor estabilidad de la longitud de onda del haz emitido que en el caso en el que no se tiene dicha configuración. En el caso sin feedback la variación supero los  $0.005nm$  mientras que con feedback la variación fue menor que  $0.001nm$ .

Esto demuestra que el diseño y construcción del láser en configuración Littrow en cavidad externa cumple con el objetivo de mejorar la estabilidad del sistema ante perturbaciones del medio tales como cambios de temperatura debido al ambiente y variaciones de corriente.

## VI. TRABAJO FUTURO

Los trabajos a seguir se pueden dividir en las siguientes partes:

- Implementar el control de temperatura del diodo: No es indispensable dado que, como ya se mencionó, el aumento de temperatura es despreciable. Sin embargo, para mediciones que requieran una muy alta precisión o diodos de mayor potencia si es recomendable controlar la temperatura del diodo.

- Realizar las mismas mediciones de potencia y longitud de onda pero ahora variando la temperatura del diodo. Esto puede ser importante si se implementa el control de temperatura.

## Diferencia de longitud de onda con respecto a la media para diferentes retroalimentaciones

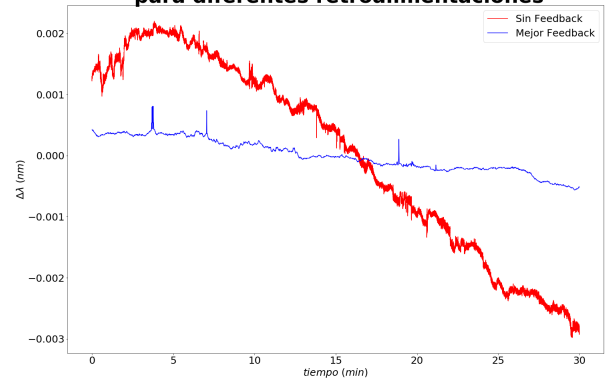


FIG. 12. Desarrollo temporal de la diferencia con respecto a la media de las longitudes de onda medidas sin feedback y con el mejor feedback.

- Verificar la implementación para otro tipos de diodos: el diseño propuesto sirve para diferente variedad de diodos, sin embargo, se debe verificar experimentalmente que si funciona correctamente.
- Probar la configuración de Littrow en cavidad externa para otro tipo de lentes, y con diferentes tipos de polarización.

## VII. CONCLUSIONES

Se construyó un láser de diodo semiconductor en configuración de Littrow que logra mejorar la estabilidad de la longitud de onda del haz emitido.

Se implementó satisfactoriamente un circuito de alimentación del diodo capaz de controlar la corriente a la que opera el diodo. Se resalta la dificultad para alcanzar la interferencia entre los modos de la cavidad externa y la cavidad del diodo. Además, se nota que la mejora no fue drástica debido a que el haz emitido por el diodo sin feedback es casi unimodal. Se esperarían cambios más relevantes si se trabajara con un diodo cuya emisión tuviera más características de emisión multimodal.

Se verificó el comportamiento de la potencia del haz de luz colimado en función de la corriente del diodo y se obtuvo la respectiva corriente de threshold.

Se midió la dependencia de la longitud de onda del haz colimado en función de la corriente del diodo.

Se obtuvo los desarrollos temporales de la longitud de onda del haz de luz en el caso de la configuración de Littrow y sin esta configuración.

- 
- [1] F. J. Duarte, "Tunable laser optics," (2003).
- [2] H. Injeyan and G. D. Goodno (McGraw-Hill Professional, 2011) Chap. High power laser handbook.
- [3] Thorlabs, "L405p20 datasheet, 405nm at 20mw laser diode," (2015).
- [4] Thorlabs, "External cavity diode," (2015).