

**Universidad Autónoma de Baja California  
Facultad de Ingeniería  
Unidad Ensenada**



***Maestría en Ingeniería***

**Diseño y construcción de un diodo láser sintonizable usando  
realimentación con una cavidad externa**

**Tesis  
Que para obtener el grado de  
Maestro en Ingeniería  
Presenta:**

**Humberto Fabian Alonso Cordero**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ingeniería  
Unidad Ensenada

“Diseño y construcción de un diodo láser sintonizable usando realimentación con una cavidad externa”

Tesis

Que para obtener el grado de Maestro en Ingeniería Presenta:

Humberto Fabian Alonso Cordero


Aprobado por:



Dr. Raúl Rangel Rojo  
Director de tesis



MC. Humberto Cervantes De Ávila  
Miembro del Comité



MC. Víctor Manuel Blanco Rodríguez  
Miembro del Comité

Ensenada B. C., Mayo de 2006.

## Resumen

En esta tesis se presenta el diseño y construcción de un diodo láser sintonizable de cavidad externa tipo Littman, para longitudes de onda alrededor de 1550 nm.

La cavidad de la fuente luminosa esta formada por un diodo láser con una película antireflejante en una de sus caras para suprimir la cavidad resonante interna del diodo, una lente de colimadora, una rejilla de difracción de 600 líneas por milímetro en ángulo rasante y un espejo plano colocado de forma paralela a la rejilla de difracción para crear la cavidad resonante del diodo láser.

La selección en longitud de onda se obtiene por un movimiento angular del espejo en relación a un punto de pivote entre la rejilla y el espejo de retroalimentación.

El intervalo de sintonización en longitud de onda esperado para este instrumento es alrededor de 50 nm, con una potencia de 3 a 5 mW y un ancho de línea mínimo.

Este instrumento será útil para resolver las necesidades específicas en el Laboratorio de Óptica Estadística del Departamento de Óptica de CICESE, en el estudio de esparcimiento de luz por superficies rugosas y en el estudio de las características espectroscópicas de fibras ópticas dopadas con erbio.

Este láser permitirá ahorrar aproximadamente el 70% del costo de un instrumento comercial equivalente, al mismo tiempo este proyecto apoyará en la docencia del postgrado del Departamento de Óptica de CICESE.

## Abstract

In this thesis one appears the design and construction of a tunable laser diode of external cavity Littman type, for wavelengths around 1550 nm. The cavity of the luminous source this formed by a laser diode with an antireflejante film in one of its faces to suppress the internal resonant cavity of the diode, a lens of collimating, a grid of diffraction of 600 lines by millimeter in razante angle and a flat mirror placed of parallel form to the diffraction grid to create the resonant cavity of the laser diode. The selection in wavelength obtains by an angular motion of the mirror in relation to a point of pivot between the grid and the mirror of feedback. The interval of tuning in wavelength waited for is instrument is around 50 nm, with a power from 3 to 5 mW and a wide one of minimum line. This instrument will be useful to solve the specific necessities in the Laboratory of Statistical Optics of the Department of Optics of CICESE, in the study of relaxation of light by rough surfaces and in the study of the spectroscopic drugged optical fiber characteristics with erbium. This laser will allow approximately saving 70% of the cost of an equivalent commercial instrument, at the same time this project supported in teaching of the post degree of the Department of Optics of CICESE.

## **Dedicatoria**

A mi esposa Rosa Isela

A mis hijos: Alejandra y Humberto

Con Cariño

A mi madre: Raquel

A mis Familiares y Amigos.

## **Agradecimientos**

A los Drs. Raúl Rangel Rojo y Eugenio Rafael Méndez Méndez por la supervisión del presente trabajo, y por la comprensión brindada durante el periodo de estudios.

Mi agradecimiento a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California, por darme la oportunidad de realizar mis estudios de postgrado.

A todos los compañeros del departamento de Óptica de Centro de Investigación Científica de Educación Superior de Ensenada (CICESE) por brindarme su ayuda y conocimientos en las labores experimentales.

A mi amigo Luís Rios por su apoyo, sugerencias y consejos durante todo este tiempo.

A mis compañeros de la facultad, Antonio Mendoza y Enrique Colorado, por brindarme su amistad y apoyo cuando lo necesite.

## ÍNDICE

	Página
Resumen	iii
Abstract	iv
Índice	vii
Lista de Figuras	xii
<b>CAPÍTULO I</b> Introducción.....	1
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Planteamiento del Problema.....	10
1.3 Hipótesis.....	13
1.4 Objetivos.....	14
1.5 Importancia del Estudio.....	15
1.6 Limitaciones del Estudio.....	16
<b>CAPÍTULO II</b> Revisión Bibliográfica.....	17
2.1 Antecedentes Históricos.....	19
2.2 Estructura interna del diodo láser de cavidades externas.....	22
2.3 Arreglo óptico interno.....	25
2.4 Diferentes aplicaciones de los diodos láser.....	30
2.5 Construcción mecánica de un diodo láser sintonizable.....	35
2.6 La lente colimadora del diodo láser.....	39
2.7 Resumen.....	42
<b>CAPÍTULO III</b> Dispositivo Experimental.....	44

3.1	Procedimiento.....	44
<b>CAPÍTULO IV Montaje Experimental.....</b>		<b>51</b>
4.1	Procedimiento.....	51
<b>CAPÍTULO V Resultados Experimentales.....</b>		<b>58</b>
5.1	Caracterización de diodo láser.....	58
5.2	Caracterización del sistema completo.....	62
<b>CAPÍTULO VI .....</b>		<b>68</b>
6.1	Conclusiones.....	68
6.2	Recomendaciones.....	69
<b>CAPÍTULO VII Referencias bibliográficas.....</b>		<b>70</b>

## Lista de Figuras

Número	Página
1.1	Esquema de bandas de un semiconductor. 4
1.2	Láser semiconductor. 7
1.3	Configuraciones típicas para diodos sintonizables: (a) arreglo Tipo Littrow; (b) arreglo Tipo Littman, (DL) Diodo láser, (G) Rejilla, (L) Lente colimadora, (M) Espejo de sintonización. 8
1.4	Configuraciones típicas para diodos sintonizables: (a) arreglo Tipo Littrow; (b) arreglo Tipo Littman. 11
1.5	Diagrama del arreglo óptico tipo Littman, mostrando el punto pivote del espejo para la sintonización del láser. 11
2.1	Primer láser de Rubí utilizando una lámpara de destello helicoidal. 20
2.2	Eficiencia del ancho de línea angosto. 23
2.3	Espectro de luz del diodo láser, sintonizado por un motor a pasos. 24
2.4	Configuración mecánica, del arreglo óptico tipo Littman. 26
2.5	Alineación de la rejilla en ángulo rasante y el espejo de rotación. 28
2.6	Sintonización de tres diferentes alineaciones del diodo láser. 29
2.7	(a) Haz de luz del diodo, sintonizado por un piezoeléctrico, (b) Haz de luz del diodo en emisión libre no sintonizado. 31
2.8	16 diferentes frecuencias sobrepuestas emitidas por un láser sintonizable. 31
2.9	Diagrama del diodo láser ECDL, para uso en detección de hidrógeno. 32
2.10	Aplicación de un piezoeléctrico al espejo de sintonización. 33

2.11	Estructura interna del diodo láser tipo Littrow.	35
2.12	Alineación de la rejilla, por tornillos para su sintonización.	36
2.13	Montura de la rejilla de difracción y el piezoeléctrico.	37
2.14	Arreglo óptico de la lente colimadora.	40
2.15	Sintonización de diodo láser con ancho de línea angosto.	41
3.1	Diseño óptico tipo Littman, se muestra la trayectoria del haz de luz dentro sistema óptico, iniciando en la parte posterior del diodo láser, y el espejo de sintonización, se muestra también la salida del haz sintonizado por el orden cero de reflexión de la rejilla.	45
3.2	La lente de colimación no permite que se incremente el tamaño del haz de luz del diodo láser en su sección transversa, por estar enfocada en un punto lejano.	46
3.3	La rejilla de difracción, con el ángulo de incidencia $\theta_i$ , y el ángulo de difracción $\theta_d$ .	46
3.4	Relación de ángulos para la rejilla de sintonía.	47
3.5	Diseño óptico tipo Littman, alineación para la rejilla de difracción con el espejo de sintonización.	49
4.1	Diagrama del sistema completo del diodo láser sintonizable de cavidad externa tipo Littman, incluyendo la alimentación de corriente y el control de temperatura	51
4.2	Montaje experimental del diodo láser sintonizable.	52
4.3	Diagrama de la montura de diodo láser de <i>InGaAsP</i> 1550 nm de 5 mW y la fotografía del dispositivo a través del microscopio.	52
4.4	Diagrama de la montura de bronce marino para fijar el diodo láser, el sensor de temperatura AD540, la celda Peltier, el disipador de temperatura y	

la montura de la lente de colimación.	53
4.5 Control de temperatura Newport modelo 325, utiliza el sensor AD590	54
4.6 Fuente de alimentación Newport modelo 505, con salida de 500 mA.	55
4.7 Movimiento angular del brazo, con relación al punto pivote.	56
4.8 Micrómetro Mitutoyo, de 5.0 cm de carrera y resolución de 0.01 mm.	57
5.1 Espectro de emisión libre del diodo láser sin cavidad externa.	59
5.2 Detalle del espectro de emisión del diodo láser.	60
5.3 Potencia de salida del diodo láser, con la temperatura controlada.	61
5.4 Analizador de espectro HP modelo 70915A.	62
5.5 Medidor de potencia Newport modelo 2832-C, con un detector de germanio para una longitud de onda alrededor de 1500 nm.	63
5.6 Espectro de emisión del diodo láser de cavidad externa, con 7 diferentes sintonizaciones.	64
5.7 Espectro de emisión del diodo, con un contraste de 1 : 45.	64
5.8 Espectro de emisión del diodo con un ancho aproximado (FWHM) de 0.2 nm.	65
5.9 Potencia de emisión del diodo láser de cavidad externa para diferentes condiciones de sintonía, para una corriente fija de 100 mA.	66
5.10 Calibración del micrómetro de sintonía.	67

## **Capítulo I**

### **Introducción**

Los adelantos tecnológicos han mejorado en muchos sentidos la vida de la gente. En particular la tecnología empleada en transportar, almacenar y procesar información ha sido parte importante de este proceso [Swanson, 2000]. La necesidad de un constante aumento en la cantidad de información que necesita ser procesada ha sido resuelta en los últimos años por la aparición de las telecomunicaciones ópticas. El desarrollo de los diodos láser y de las fibras ópticas en los años sesenta [A. E. Siegman, 1999], fueron el principal factor para la implementación de las telecomunicaciones ópticas en problemas prácticos. Aunque se demostró acción láser en diodos de los años sesenta no fue hasta la década de los ochenta en que se desarrollaron muchos y variados dispositivos comerciales.

Actualmente los diodos láser se encuentran en todos los sistemas de comunicaciones por fibra óptica, en los que constituyen la fuente de luz que se utiliza para codificar la información. Así mismo, el diodo láser ha jugado un papel importante en el almacenamiento óptico de información. De hecho su aplicación más importante desde el punto de vista económico es probablemente en este campo, pues todos los lectores de discos (CD y DVD), contienen un diodo láser.

Aparte de su uso en las telecomunicaciones, los diodos láser han encontrado aplicaciones en cada vez más campos tales como, la medicina, la industria y la investigación, donde por su tamaño, costo y eficiencia han empezado a remplazar a otros tipos de láseres. Las mejoras en su confiabilidad, potencia y longitud de onda de emisión han permitido esta diversificación de sus aplicaciones.

En particular el desarrollo de los diodos láser de cavidad externa, los cuales tienen la

capacidad de sintonizar la longitud de onda de emisión, ha sido importante para muchas de estas aplicaciones, como por ejemplo la detección y monitoreo de gases y contaminantes, en la espectroscopia, en diferentes propuestas para telecomunicaciones, etc.

En esta tesis reportaremos el diseño, construcción y la caracterización de un diodo láser sintonizable de cavidad externa. El uso del diodo láser sintonizable de cavidad externa [Tai Hyun Ion, 1999] satisface las necesidades para los procesos de investigación en óptica, con la capacidad de elegir diferentes longitudes de onda, y un ancho de línea angosto, siendo útil para trabajos de investigación dentro del Departamento de Óptica del CICESE, para suplir la necesidad de un diodo sintonizable alrededor de 1550 nm,

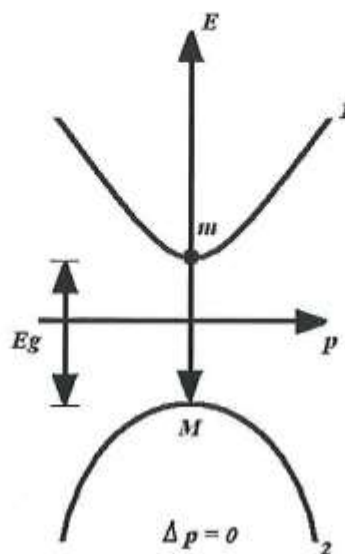
La configuración de la cavidad externa escogida es de tipo Littman [Michel G. Littman, 1978]. En el CICESE se cuenta con la experiencia necesaria para la construcción de este láser tomando en cuenta la experiencia en la elaboración y manejo de láseres sintonizables de pigmento [M Fernández. R. Rangel, 1990]. La elaboración de esta fuente de luz solucionará las necesidades específicas de sintonización en longitud de onda, ancho de banda angosto y una potencia de salida continua. La elaboración del instrumento beneficiará al Departamento de Óptica con el ahorro de aproximadamente un 70% del costo de un sistema comercial. Esta fuente de luz será útil para realizar estudios del comportamiento y características de fibras ópticas dopadas con erbio, al igual que en el estudio de esparcimiento de luz por superficies rugosas, a demás de que servirá en la impartición de clases de postgrado de este Departamento.

## 1.1 Antecedentes

Comparado con otro tipo de láseres, los diodos láser son más compactos y eficientes, características que han permitido su uso en un número creciente de aplicaciones, llegando incluso a desplazar a otros láseres. El surgimiento de los diodos láser fue gracias al desarrollo de los materiales semiconductores para la incipiente industria electrónica. Los primeros diodos láser estaban basados en homouniones, es decir la unión de dos bloques del mismo material semiconductor con dopajes diferentes, (uno de tipo  $p$  y el otro de tipo  $n$ ).

Estos láseres en un principio sólo funcionaban de modo pulsado y tenían una vida útil muy corta. Sin embargo aunque las aplicaciones de los diodos láser no se dieron sino hasta después de la invención de las heteroestructuras, que consisten en la unión de dos materiales diferentes, a finales de 1969. Estas heteroestructuras permitieron la producción de diodos que trabajan de modo continuo y a temperatura ambiente.

Para entender como funciona un diodo láser, hay que comenzar por entender que es un semiconductor. Los semiconductores son sólidos cristalinos representados en la Tabla Periódica de los Elementos por el silicio y el germanio, y por ciertos compuestos como el arsénico de galio GaAs. En los semiconductores, los átomos individuales que conforman la red cristalina retienen los electrones de las capas interiores, en tanto que los electrones de la capa exterior forman una estructura de niveles o bandas anchas que caracterizan la acción colectiva de todos ellos. Los bordes superior de la banda de valencia e inferior de la banda de conducción están representados por los puntos  $M$  y  $m$  de las líneas 2 y 1, respectivamente, mostradas en la figura 1.1.



**Figura 1.1** Esquema de bandas de un semiconductor.

La banda prohibida o región donde no puede haber electrones, que separa a las bandas de valencia y conducción, tiene un ancho de energía  $E_g$ .

La distribución de electrones en las bandas de valencia o de conducción sigue la ley de Fermi-Dirac, cuya expresión es la siguiente:

$$f = \left[ 1 + e^{\frac{(E-F)}{kT}} \right]^{-1}, \quad (1.1)$$

donde  $E$  es la energía de los estados electrónicos,  $f$  es la energía del nivel de Fermi y  $T$  es la temperatura absoluta. Cuando la temperatura  $T$  es nula, los electrones sólo ocupan la banda de valencia, y el material se comporta como un aislador. Por encima de  $T = 0K$  algunos electrones ocupan la banda de conducción y el material se comporta como un conductor eléctrico, aunque la conductividad sea entre  $10^{-7}$  y  $10^{-14}$  veces menor que la de los metales.

Sin embargo, el paso de electricidad a través de un semiconductor se explica por el movimiento de los electrones promovidos a la banda de conducción y por los agujeros o

vacancias creados en la banda de valencia con motivo de dicha promoción. Estos agujeros se comportan como portadores de cargas positivas. En un semiconductor ideal, el número de electrones en la banda de conducción debe ser igual al número de agujeros en la banda de valencia.

Como la energía de toda partícula es una función de su cantidad de movimiento  $p$ , ( $p=mv$ ). La figura 1.1, muestra la variación de la energía  $E$  de los estados que pueden ser ocupados por los electrones como función de  $p$ . Cuando el máximo de energía  $M$  en la banda de valencia y el mínimo  $m$  de conducción ocurre para el mismo valor de  $p$ , el semiconductor se denomina directo. Si esta propiedad no se cumple, los semiconductores se llaman indirectos.

Además de las bandas de valencia y de conducción, aparecen algunos niveles de energía que pueden ser ocupados por electrones en la región prohibida. Estos niveles son consecuencia de impurezas existentes en el cristal o añadidas adrede durante el proceso de su fabricación. Las impurezas que crean los niveles en la cercanía de la banda de conducción se denominan donadoras y las que los crean cerca de la banda de valencia, receptoras. Si se añaden de forma adecuada, la cantidad y el tipo de impurezas, se pueden obtener a voluntad semiconductores con niveles de donadores o semiconductores tipo  $n$  y con niveles aceptores de tipo  $p$ . Más aún, cuando un mismo cristal se contamina en dos zonas distintas con impurezas que crean niveles de donadores en una y aceptores en la otra, se obtendrán regiones tipo  $p$  y tipo  $n$  adyacentes. La región de transición que las separa se llama juntura  $p-n$ . La función de un nivel donador es la entrega del electrón que se establece en él a la banda de conducción, en tanto que el nivel aceptor arranca un electrón de la banda de valencia y lo fija creando en ella un agujero.

La aplicación de una diferencia de potencial a la juntura  $p-n$ , conectado a la región  $p$  con el polo positivo de una batería y de la región  $n$  con el negativo, forzará el movimiento de los electrones de la región  $n$  a la  $p$  de los agujeros de la región  $p$  a la  $n$ . La recombinación de los

electrones y agujeros recuerda la transición de electrones entre niveles de energía atómicos. Como consecuencia de dicha recombinación se produce la emisión de radiación.

Como las bandas de conducción y de valencia son anchas, la radiación emitida por un semiconductor tendrá un perfil de ancho notable, cuyo borde del lado de las frecuencias menores será igual a:

$$\nu = \frac{E_m - E_M}{h} \quad (1.2)$$

En caso del GaAs a la temperatura de nitrógeno líquido (77 K) la radiación emitida se extiende en una banda de 10 nm alrededor del pico de longitud de onda de 845 nm. Esta radiación de ancho de línea notable y baja intensidad se observa cuando es baja la densidad de corriente que circula a través de la junta *p-n*; por tales características se le denomina emisión espontánea. A medida que la densidad de corriente crece, el ancho de banda espectral se estrecha, la intensidad de la radiación se eleva vertiginosamente y la juntura irradia un haz espacialmente mejor definido; a esta radiación se le llama emisión estimulada.

La figura 1.2 muestra en forma esquemática un láser de inyección de GaAs. El diodo de GaAs se fabrica a partir de un monocristal crecido artificialmente y se lo convierte en un semiconductor de tipo *n* mediante la adición de impurezas de telurio o selenio, de modo que el número de donadores sea de  $10^{17}$  a  $10^{18}$  por centímetro cúbico. Una parte del diodo se vuelve tipo *p* por medio de la difusión de átomos de cinc como elemento receptor. La concentración de los aceptores suele alcanzar entre  $10^{18}$  a  $5 \times 10^{19}$  por centímetro cúbico. La juntura *p-n* queda automáticamente definida después de estas adiciones de impurezas.

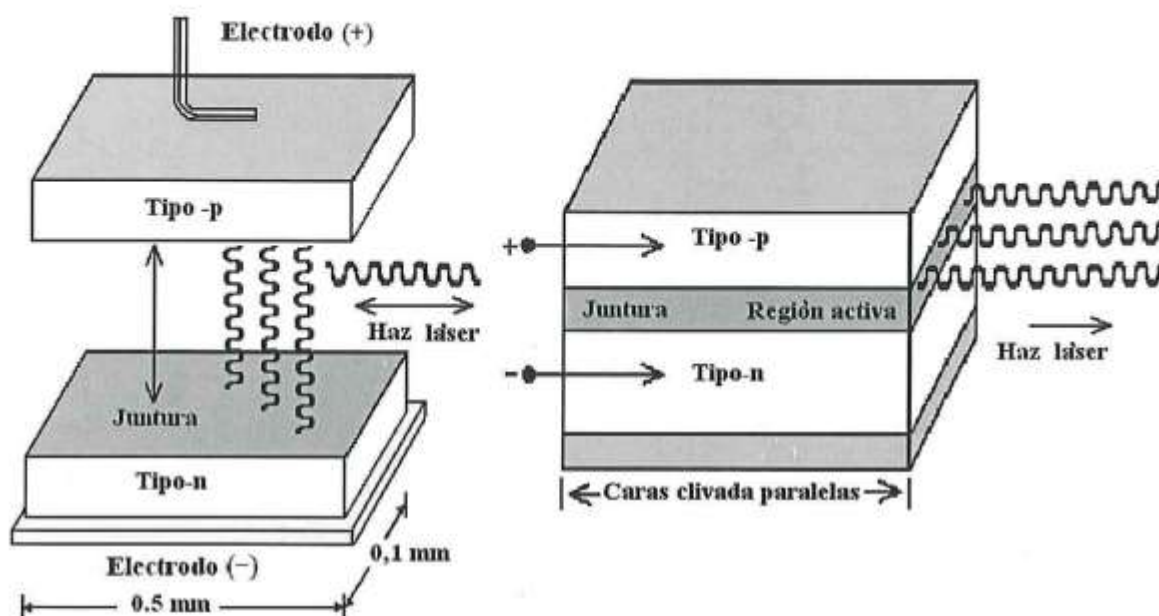


Figura 1.2 Láser semiconductor.

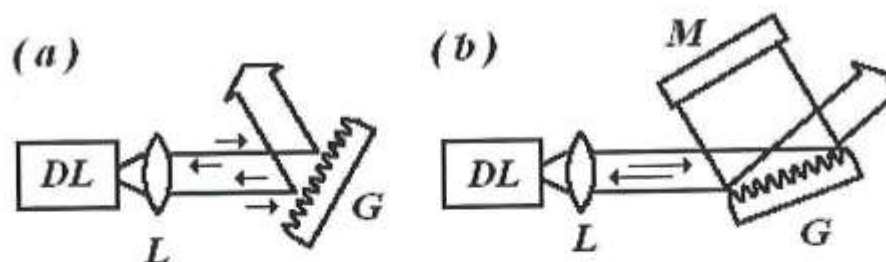
Los cristales se cortan según un plano de clivaje para obtener diodos de las dimensiones señaladas en la figura 1.2. Los planos de clivaje son naturalmente paralelos y se los emplea como las caras de un interferómetro de Fabry-Perot para construir la cavidad resonante. Como el valor del índice de refracción del GaAs es de 3.6, las caras libres del diodo tienen una reflectividad elevada, de más de 30%, por lo que no se requiere recubrimientos especulares en las mismas ni el empleo de espejos externos para formar la cavidad.

Mediante electrodos conectados en forma conveniente, la juntura se polariza y se inyecta la corriente eléctrica a su través. Desde la aplicación del potencial y hasta que la densidad de corriente adquiere valores del orden de  $5000 \text{ A/cm}^2$ , la intensidad luminosa emitida por la juntura crece proporcionalmente y el ancho de la banda de radiación puede ser mayor de 10 nm. A partir de  $8500 \text{ A/cm}^2$  la intensidad crece vertiginosamente y el ancho de la banda de radiación se reduce drásticamente. En tales condiciones se ha alcanzado la inversión de población y tiene lugar la emisión estimulada de radiación.

## Diodos Láser de Cavity Externa

Los diodos láser producidos de esta forma, funcionan a una longitud de onda dada, la cual puede variarse en forma muy restringida mediante cambios de temperatura del diodo. Para poder hacer un diodo láser con una salida sintonizable, es preciso destruir primero la cavidad formada por las paredes del diodo, e insertarlo dentro de una cavidad externa. Esta cavidad externa deberá contar un elemento seleccionador de longitud de onda, el cual determinará la salida del láser. El método más usado para evitar la formación de una cavidad por las reflexiones en las caras del diodo, es depositar una película antirreflejante en una de sus caras.

Dentro de los arreglos ópticos para cavidades externas, existen principalmente dos tipos que son los usados con mayor frecuencia, que son el de Littman y el de Littrow. La figura 1.3 muestra ambas configuraciones. En el montaje Littrow la luz proveniente del diodo, la cual ha sido colimada por una lente, se hace incidir en una rejilla de difracción. En este caso la rejilla se encuentra insertada de manera que la luz difractada en el primer orden sea retroreflejada hacia el diodo, formándose una cavidad. La salida del láser consistirá en este caso del orden cero de difracción, como se muestra en la figura 1.3 (a).



**Figura 1.3** Configuraciones típicas para diodos sintonizables: (a) arreglo Tipo Littrow; (b) arreglo Tipo Littman, (DL) Diodo láser, (G) Rejilla, (L) Lente colimadora, (M) Espejo de sintonización

Para la configuración de Littman, se coloca también una rejilla de difracción pero en este caso se hace incidir la luz a un ángulo rasante. Para formar la cavidad, se añade un espejo que refleja el orden  $-1$  de la difracción de regreso a la rejilla y hacia el diodo. En este caso la salida se logra también a través del modo cero de difracción, como se detalla en la figura 1.4 (b).

En ambos casos debido a la selectividad espectral de la rejilla, solo la luz a una longitud de onda dada cumplirá un viaje de ida y vuelta en la cavidad y se amplificará. La sintonización de la luz se logra variando el ángulo de la rejilla y por ende la longitud de onda que se amplifica. Aunque la configuración Littrow es más sencilla, la configuración de Littman produce anchos espectrales más angostos. La razón de esto es que en este caso, la luz es difractada dos veces por la rejilla en un viaje redondo, en vez de una sola vez en la configuración de Littrow, produciendo una mejor selección en longitud de onda.

Estos dispositivos producen la luz láser en longitudes de ondas específicas con un ancho de banda angosto de forma continua. La longitud de onda depende de la composición específica del material del semiconductor, en nuestro caso es a una longitud de 1500 nm. La sintonización fina del diodo se realiza con ajustes de cambio de temperatura, e incluso puede ser obtenida ajustando la corriente eléctrica con la que se alimenta el diodo láser.

La elaboración de esta fuente coherente de luz requiere de diversas áreas de la óptica, como es el uso de la rejilla de difracción, en la sintonización del láser, para obtener un haz con el menor ancho de línea posible. En los capítulos subsecuentes se describe el diseño y la caracterización del diodo láser sintonizable construido en el laboratorio.

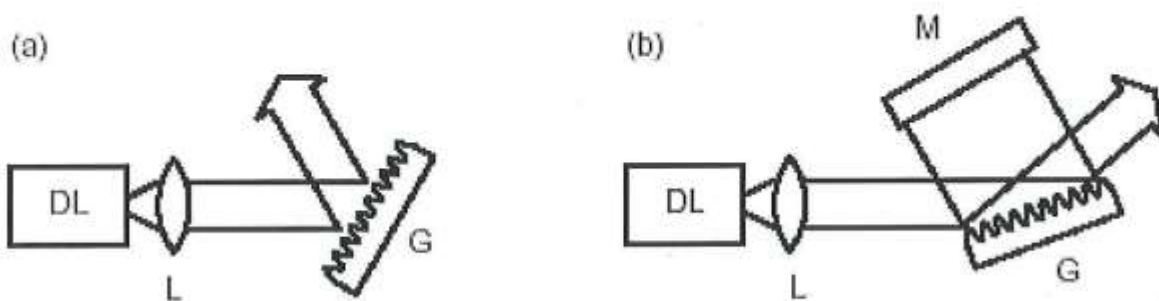
## 1.2 Planteamiento del Problema

El presente trabajo propone desarrollar el diseño y construcción de un diodo láser sintonizable de cavidad externa, con una longitud de onda alrededor de 1500 nm, con el que se podrán realizar estudios de esparcimiento de superficies ópticas rugosas y caracterización de fibras ópticas dopadas con erbio, dentro del Departamento de Óptica del CICESE.

Se podrá modificar esta fuente de luz sintonizable, para suplir las necesidades específicas en longitud de onda, y así obtener un mayor desempeño de este instrumento. La elaboración de este proyecto dentro del Departamento de Óptica, dará como resultado la reducción del costo de este instrumento, siendo el precio en el mercado de un instrumento comercial entre 25 y 30 mil dólares. Con la construcción del dispositivo se podrá reducir su costo en un 70 % de su valor comercial.

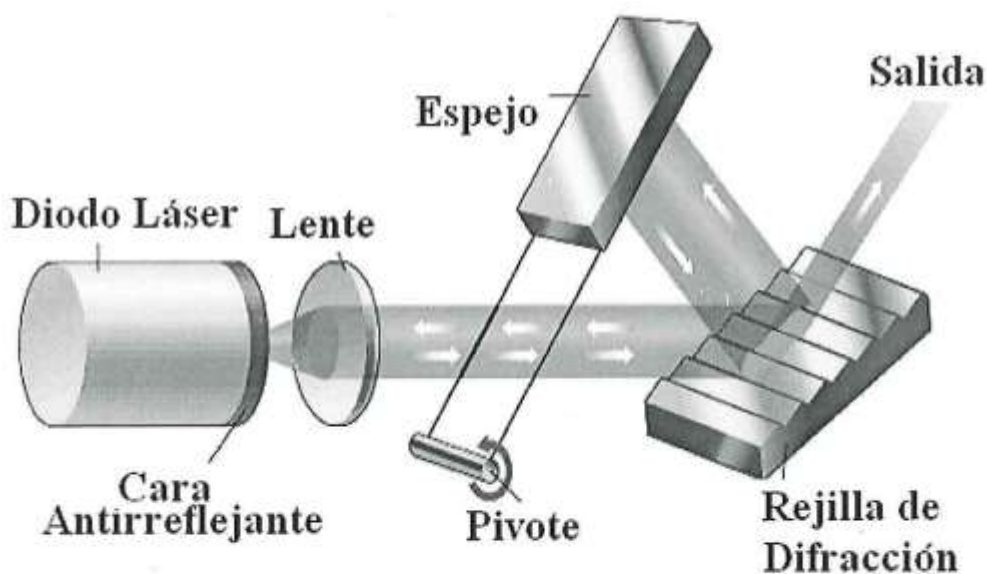
Los diodos láser que se encuentran en el laboratorio, emiten a una sola longitud onda, por lo que se encuentran limitados, y en algunos casos cuentan con la capacidad de variar su potencia de salida. Debido a la necesidad de contar con una fuente de luz sintonizable y con un ancho de línea angosto para realizar estudios específicos con fibras ópticas, es indispensable un diodo láser sintonizable de cavidad externa [Michel G. Littman, 1978].

Dentro de los láseres sintonizables de cavidad externa se encuentran principalmente dos tipos de arreglos ópticos: El de tipo Littrow que consta de un diodo láser, una lente colimadora y una rejilla de difracción. Este instrumento muy sencillo de manejar, estable y compacto. Como se muestra en la figura 1.4 (a).



**Figura 1.4** Configuraciones típicas para diodos sintonizables: (a) arreglo Tipo Littrow; (b) arreglo Tipo Littman.

El arreglo óptico de tipo Littman, a diferencia de del tipo Littrow, y la diferencia es selectividad en longitud de onda al agregarse un espejo de sintonización a su configuración. Este aspecto lo hace más eficiente en potencia y estabilidad, a continuación se muestra la figura 1.5, donde se presenta la cavidad resonante, entre el diodo láser y la rejilla de difracción en ángulo razante y el espejo de sintonización.



**Figura 1.5** Diagrama del arreglo óptico tipo Littman, mostrando el punto pivote del espejo para la sintonización del láser.

Se pretende realizar un diodo láser sintonizable de cavidad externa con un arreglo de tipo Littman, que emita luz en un intervalo de sintonización de 1525 nm a 1565 nm aproximadamente, con 5 mW de potencia de salida, y poder obtener así un haz de luz sintonizable con un ancho de línea angosto.

### 1.3 Hipótesis

Se podrá construir un diodo láser sintonizable de cavidad externa tipo Littman, para sintonizar a una longitud de onda de alrededor de 1500 nm con 5 mW de potencia, con la capacidad de intercambiar los diodos láser para variar los intervalos de sintonización.

## 1.4 Objetivos

Los objetivos del presente trabajo serán:

Se:

- Determinarán los requerimientos de los intervalos de sintonización y potencia del diodo, en términos de las necesidades actuales del laboratorio de óptica estadística del Departamento de Óptica de CICESE.
- Diseñará la cavidad del sistema óptico del diodo láser con la rejilla de difracción.
- Construirá el sistema mecánico para el acoplamiento del diodo láser.
- Acoplará el sistema óptico, mecánico y electrónico, para su caracterización y estabilidad en sintonización de la longitud de onda y potencia.

### **1.5 Importancia del Estudio**

La elaboración de este instrumento dentro del laboratorio de óptica estadística del Departamento de Óptica de CICESE, solucionará la necesidad de contar con una fuente de luz sintonizable, para poder realizar estudios de medición en óptica con necesidades específicas de un ancho de línea angosto.

Los trabajos que se realicen apoyarán principalmente al fortalecimiento de investigaciones [L. D. Turner, 2002] en el campo de las comunicaciones por fibra óptica y en el estudio de fibras ópticas, el estudio de fibras ópticas dopadas con Erblio en distintos intervalos de longitud de onda y en estudio superficies rugosas, (Perfiles, ángulos, rejillas, etc.) además de permitir realizar caracterizaciones de instrumentos de medición de luz como lo es un analizador de espectros.

### 1.6 Limitaciones del estudio

Este proyecto se realizará dentro del Departamento de Óptica de CICESE, y se pretende construir un diodo láser sintonizable alrededor de 1500 nm de longitud de onda con 5 mW de potencia con un arreglo interno tipo Littman, para realizar mediciones en Óptica no lineal, además del comportamiento de fibra óptica dopada con erbio.

## Capítulo II

### Revisión Bibliográfica

En este capítulo se describen y analizan los estudios más sobresalientes sobre el tema de los Diodos Láser Sintonizables de Cavidad Externa de los últimos años publicados por diversos autores. Actualmente se encuentra en la literatura una gran variedad de trabajos sobre el tema de diodos láser sintonizables de de cavidad externa, mencionando las diferentes investigaciones e innovaciones realizadas, encontrándose principalmente los de acoplamiento de nuevos componentes mecánicos, la implementación de sistemas ópticos mas compactos, y el uso de diferentes longitudes de onda y potencias de salida.

Generalmente estos trabajos son impresos en revistas internacionales, reportes de investigación, y en su gran mayoría son del dominio público.

Los artículos también nombran esta fuente de luz sintonizable como una herramienta en la utilización en diferentes campos de la investigación, principalmente en las comunicaciones por medio de fibra óptica, o su aplicación dentro de la industria para la utilización como sistemas de medición principalmente. La utilización de estas fuentes de luz sintonizables, son indispensables donde se requiere de un haz de luz con un ancho de línea angosto además de contener un intervalo de longitud de onda la cual se pueda sintonizar en otras diferentes longitudes, con una variación en la potencia de salida.

La utilización de esta fuente de luz es ideal para trabajos donde el ancho de línea del haz de luz es muy angosto lo que permite realizar estudios de medición donde los diodos comunes no funcionan por no contar con un ancho de línea angosto además de no ser sintonizables, en el uso de las comunicaciones es común encontrar este tipo de instrumentos por ser muy estables en el envío de información al no colisionar con otra longitud de onda dentro de la fibra y siendo mayor

el numero de emisión de datos por contar con un mayor numero de longitudes de onda en una misma emisión.

Los diodos láser sintonizables que se encuentran principalmente, son los arreglos ópticos de tipo Littman y Littrow, estos dos arreglos son estables y de fácil manejo por lo que se recomiendan ampliamente para diferentes aplicaciones.

Se pueden encontrar reportes en la literatura de las principales aplicaciones y usos de esta fuente de luz sintonizable, en sistemas de medición utilizados en microscopía de campo cercano, detección espectral de gases [Zoltán Bozóki, 1999], medición de interferometría, en óptica no lineal, y comunicaciones por fibras ópticas, siendo estas algunas de las aplicaciones más relevantes.

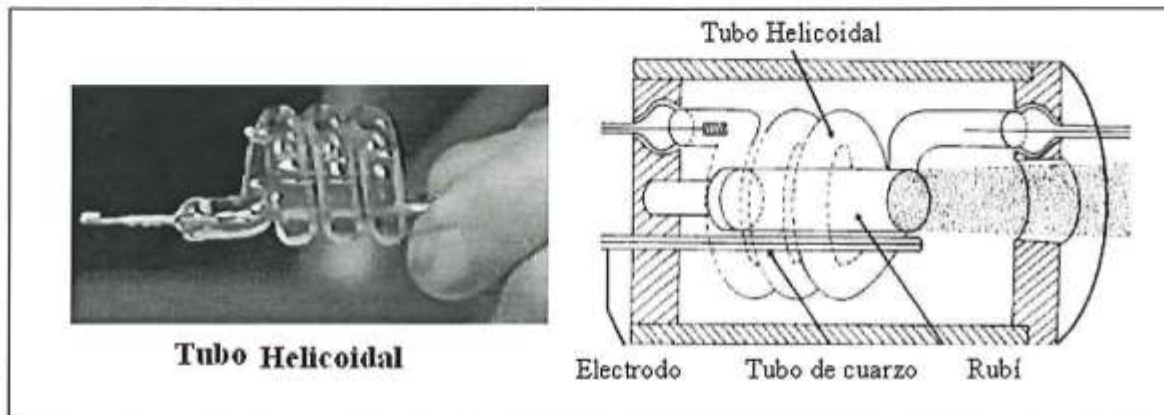
## 2.1 Antecedentes Históricos

Basándose en la extraña naturaleza de la luz evidenciada por la radiación del cuerpo negro, y del efecto fotoeléctrico, Louis de Broglie propuso en 1924 que la materia también debía poseer propiedades tanto ondulatorias como corpusculares. También Maxwell, entre 1864 y 1873, señaló que el campo electromagnético era una onda que viajaba a la misma velocidad de la luz. Dando como resultado que la luz era un fenómeno electromagnético, lo que indujo a los investigadores a buscar el efecto de la luz sobre los fenómenos eléctricos. A principios de 1927, los experimentos de C. J. Davison (1881-1958) y L. H. Germer (1896-1971), llevados a cabo en los laboratorios de la compañía Bell en EE.UU., confirmaron de forma concluyente, la naturaleza ondulatoria de los electrones.

Se describirá los principios básicos de cómo funciona un láser.

El primer láser óptico construido por Maiman en 1960, consistió en un cristal de rubí, que se encontraba circundado por una lámpara de destello helicoidal, y que estaba dentro de una cavidad elíptica de aluminio ver figura 2.1, la barra cilíndrica de rubí contiene una cavidad paralela pulida, creando una cavidad óptica de tipo Fabry-Perot, en una de sus caras contiene una película de evaporación de plata y en la otra la película es de menor reflectividad para permitir la salida del haz de luz. Así se logró obtener un pulso intenso de luz monocromática, mediante destellos de luz, estableciendo la apertura para las siguientes investigaciones en láseres. Nelson y Boyle (1962) realizaron un láser continuo, sustituyendo la lámpara de destello por una lámpara arco. Con el estudio de los primeros materiales semiconductores en 1952, se realizó el primer semiconductor emisor de luz (LED del inglés *light emitting diode*). Este fue el antecedente para que en 1963 se creara el primer diodo láser. Para estos láseres la cavidad resonante se lograba en

base a la aplicación de una alta reflectancia obtenida en las paredes internas del material semiconductor que constituye el medio activo.



**Figura 2.1** Primer láser de Rubí utilizando una lámpara de destello helicoidal.

Actualmente se encuentran en el mercado una gran diversidad láseres los que dependiendo de su composición del medio activo con que se encuentren elaborados pueden emitir en diferentes longitudes de onda y potencia.

Por su emisión y su composición los láseres pueden ser de tipo: líquido, gaseoso, de semiconductor, esta variedad de láseres emite un haz de luz en diferentes longitudes de onda, desde el visible al infrarrojo, del mismo modo presentan diferentes potencias de salida, dependientes del material activo con que se encuentren elaborados.

Los láseres con medio activo elaborados con gas pueden ser de: Dióxido de carbono  $\text{CO}_2$ , Helio Neon (He-Ne), Helio cadmio (He-Cd), Argon (Ar), entre otros. En el caso de los láseres con un medio activo líquido, puede ser un láser de colorante como la rodamina, siendo un dispositivo donde convierte la radiación electromagnética de una longitud de onda, la que se convierte en una longitud de onda sintonizada.

Los diodos láser de semiconductor, al aplicarse una película antirreflejante en una de sus caras se logra crear un láser de cavidad externa, donde pueden presentarse principalmente los arreglos ópticos de tipo Littman o Littrow.

El diodo láser se puede utilizar en diferentes arreglos ópticos. La emisión en longitud de onda depende estrictamente de la composición del semiconductor, con la que está construido [Emilie T, 1996]. La potencia de salida está ligada a la cantidad de corriente suministrada, y su estabilidad en potencia y longitud de onda, depende en gran parte del control de temperatura.

El uso y aplicación de esta fuente de luz, como una herramienta para su aplicación en cualquier instrumento de medición especializada, depende estrictamente de las necesidades del ancho de línea angosto y de el intervalo de sintonización, por lo tanto es importante conocer los lineamientos de para su aplicación, [G. Souhaité, 1998]. Para obtener un buen resultado también es importante elegir el tipo de cavidad externa la, cuidadosamente para su aplicación.

Existen en el mercado una gran variedad de compañías dedicadas a la venta y fabricación de diodos láser de cavidad externa, los módulos contienen un láser por unidad el cual no se puede intercambiar para variar el intervalo de sintonización. Los módulos son exclusivos por cada fabricante, los cuales no se pueden intercambiar con otro fabricante, su sistema de alimentación y control temperatura de igual manera son dependientes para cada marca.

Por lo tanto es posible intercambiar los módulos entre las diferentes compañías, o permitir realizar diferentes mediciones en intervalos de la longitud de onda requerida con un solo modulo.

La investigación dentro de óptica no lineal, requiere de la aplicación de tecnologías que permitan resolver de manera más fácil y eficiente las necesidades que se presentan, en particular para la investigación de esparcimiento en superficies rugosas y el manejo de señales por medio de fibras ópticas.

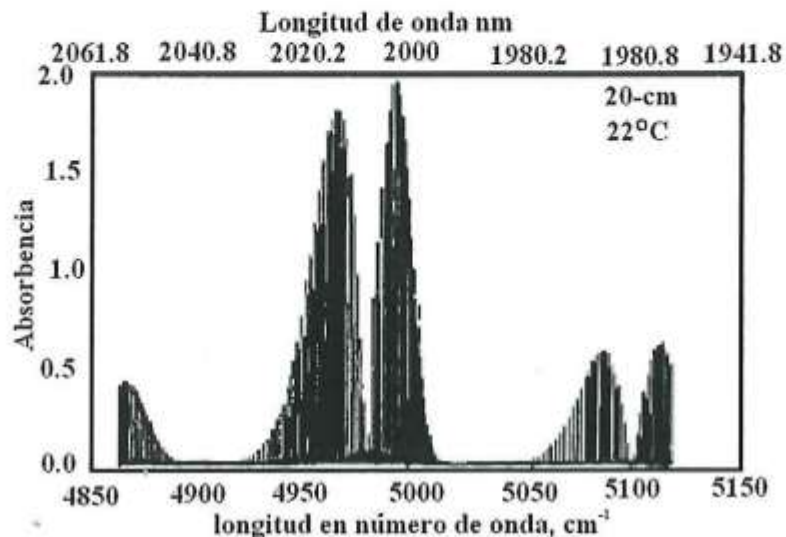
## 2.2 Estructura interna del diodo láser de cavidades externas

El diodo láser de cavidad externa se encuentra disponible comercialmente desde hace varios años. A partir de su introducción, se han encontrado en diferentes aplicaciones de uso [Tim Day, 1988], como son las telecomunicaciones y la espectroscopía atómica.

Los diodos láser sintonizables, son de fácil manejo y proporcionan una combinación entre su longitud de onda y su ancho de línea angosto.

Los diodos láser disponibles, son insuficientes en las longitudes de onda, se han limitado a la región de 0.6 a 1.6  $\mu\text{m}$ . La compañía de New Focus, Inc. desarrolló investigaciones enfocadas, para la construcción de diodo láser, con una sintonía mayor a 2.0 micras. Para desarrollar esta tecnología, los investigadores, diseñaron y elaboraron un láser de semiconductor InGaAs/InP.

Para lograr suprimir las oscilaciones internas entre las caras del diodo láser, se aplicaron películas delgadas, y una de estas capas es de menos reflejante, para dejar transmitir la luz del diodo. La calidad de la película antireflejante es ideal para alcanzar una emisión de operación unimodal, con un ancho de línea estrecho y evitar las oscilaciones internas, que no interferirán con la eficiencia de la cavidad externa. Como se muestra en la figura 2.2.



**Figura 2.2** Eficiencia del ancho de línea angosto.

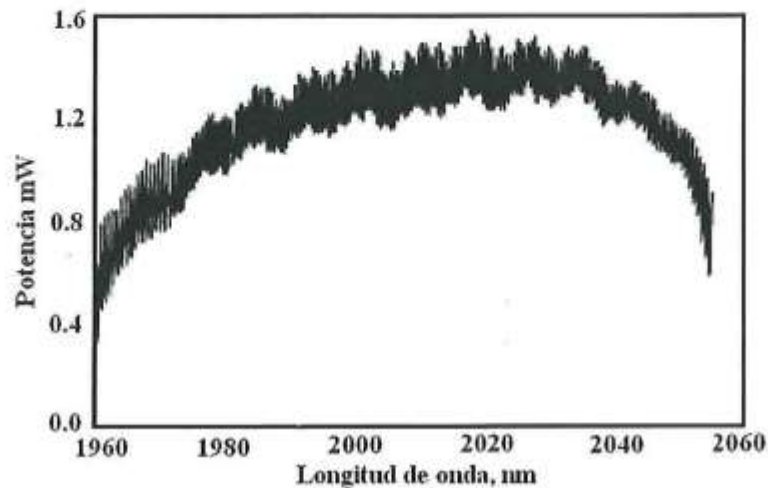
Posteriormente se coloca en la cavidad externa una rejilla, formando un arreglo óptico tipo Littman-Metcalf. La rejilla sirve como acoplador de longitud de onda selectivo del láser, oscilando con un solo modo de su longitud de onda.

El ancho de línea es angosto se da como resultado de la naturaleza dispersiva de la rejilla.

El espejo con el que se sintoniza tiene una película delgada, que sirve como filtro para la longitud de onda en la cual trabaja. El ajuste de este espejo es mediante un movimiento angular, donde se selecciona la longitud de onda requerida.

En los arreglos comerciales hay dos métodos para alinear el espejo; uno es por medio de un motor a pasos, que proporciona un movimiento rápido de sintonización, pero de forma burda.

A continuación se muestra la figura 2.3, el barrido del área de sintonización motor.



**Figura 2.3** Espectro de luz del diodo láser, sintonizado por un motor a pasos.

El segundo ajuste fino, se alcanza con un arreglo de cristales piezoeléctricos apilados. Este tipo de arreglo provee al usuario la facilidad de modular la longitud de onda de manera fina.

La región de 2.0-micras es especialmente útil para la espectroscopía molecular, tal como  $\text{CO}_2$ , para el diagnóstico de combustión y control del medio ambiente.

Se encontraron algunos artículos relacionados con el mismo tema:

[Michael G. Littman, Harold J. Metcalf, 1978]

[A. E. Siegman, 1999]

[Tim Day, Michael Brownell, Fan Wu, 1998]

[L.D. Turner, K.P. Weber, C.J. Hawthorn, R.E. Scholten, 2002]

### 2.3 Arreglo óptico interno

Los diodos láser de cavidad externa, se utilizan comúnmente en diferentes aplicaciones de la óptica y la física atómica [C. J. Hawthorn, 2001], se utilizan por ser económicos y eficientes. Utilizan la generación selectiva de la frecuencia para alcanzar el ancho de banda angosto.

La regeneración selectiva de la frecuencia se alcanza típicamente con el uso de rejillas de difracción, en arreglos de configuración óptica de tipo Littrow o Littman.

La configuración más común es Littrow, la cual actúa dentro del primer orden de difracción de la rejilla, y el cual se incide de regreso al diodo del láser, creando la cavidad del diodo sintonizable.

Esta configuración es simple y eficaz, se utiliza una rejilla de difracción, a la longitud de onda que es dependiente del material semiconductor con que se trabaje, en el arreglo óptico se puede tener problemas de alineación, al sintonizar el láser. Esto puede ser evitado utilizando un acoplador a salida, pero es difícil evitar pérdidas en la reflexión.

La rejilla y el haz de luz debe ser eficiente para reducir el mínimo pérdidas, y prevenir la formación secundaria de modos, que afectarían la cavidad resonante.

El diseño de Littman-Metcalf, como se muestra en la siguiente figura 2.4., en su diseño consta de una rejilla de difracción en ángulo razante, la luz reflejada del primer orden es reflejada a un espejo, y de nuevo la rejilla, después al diodo láser. La longitud de onda es seleccionada por movimiento del angular del espejo, del orden cero de la rejilla se refleja a la salida. Comparado al arreglo de Littrow, con este diseño es más complejo, y requiere de un espejo adicional más grande que la rejilla de difracción, este arreglo óptico es típicamente más eficaz a su salida.

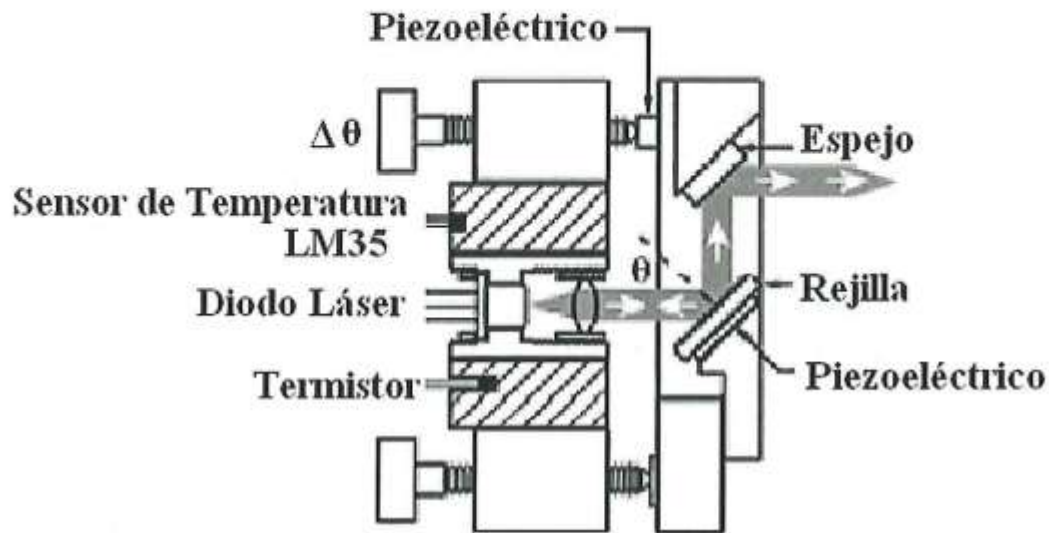


Figura 2.4 Configuración mecánica, del arreglo óptico tipo Littman.

La modificación es muy simple, al ampliar su configuración en el arreglo Littrow, para producir un haz de luz, de bajo costo, con una buena energía de salida, evitando reflejos de modos secundarios no deseados.

Se instaló otro elemento, el cual consiste en una lente colimadora con una distancia focal de 4.5 milímetros, colocada frente al diodo emisor de luz, para su trayectoria interna del arreglo hasta su salida.

La rejilla de difracción utilizada, tiene 1800 líneas por milímetro, con una superficie de 15x15x3 mm, en sustrato de bloque de vidrio y recubierto con una película de oro. La eficacia típica de la difracción es de un 15% hasta 80%, dependiendo del arreglo de óptico.

La rejilla proporciona un ajuste de movimiento del haz de luz del láser, por medio de un piezoeléctrico colocado a la rejilla. Se utiliza este sistema para modificar la longitud, y seleccionar la frecuencia requerida en el sistema.

Se maneja un termistor de 10 k $\Omega$ , como sensor de temperatura instalado en la base de la montura que soporta al diodo láser.

Se le adiciona una celda Peltier, (de 30x30x3.3 mm.), para el control de la temperatura. El diodo láser, (produce típicamente 40 mW, en una longitud de onda de 780 nm.)

Este instrumento puede modular 10 nanómetros por la rotación de la rejilla. Con un aho de línea angosto, se ajusta de manera aun más fina con el manejo de cambios temperatura. Nuestra modificación principal es la adición de un espejo plano, fijo frente a la rejilla de difracción, modulando el ancho de banda del sistema. El haz del láser se refleja sobre la rejilla y después al espejo, girando el espejo convenientemente, para la salida del haz de luz del láser. Las distorsiones más grandes pueden ser corregidas alineando manualmente el ángulo del espejo o de la rejilla.

El uso del termistor para el control de temperatura, se puede intercambiar por un sensor de semiconductor modelo LM35, para un mejor control de temperatura.

La montura del láser, es una base de metal de 5 Kg., que se encuentra sobre una mesa de trabajo, con una capa gruesa de plástico intermedia para aislarlo. Incluye una cubierta de aluminio, que también protege el láser de las corrientes de aire y de la humedad, la cual además elimina vibraciones acústicas.

La estabilidad de esta fuente de luz, es controlada por la longitud de onda en su salida en un tiempo real, con un analizador de espectros localizado a la salida del láser.

Las modificaciones que se describen aquí son simples y se pueden realizar en los diodos láser de cavidad externa, en la configuración de tipo Littrow, así como en láseres empleados en espectroscopía, y otros experimentos atómicos de la física.

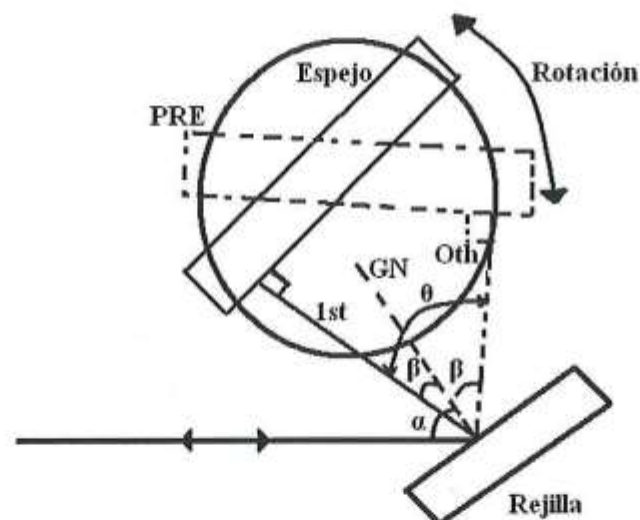
La medición de espaciamentos por rejillas de difracción, en la región de submicras ha llegado a ser muy importante, debido al hecho de sus medidas absolutas, por las rejillas se pueden utilizar como estándares de la longitud en los campos de medición de la óptica.

Las rejillas también se utilizan en diferentes aplicaciones. Las rejillas calibradas en las escalas de longitud de onda corta, se incorporan al estudio de difracción, utilizada en metrología, para estándares de períodos de longitud de onda, y para calibrar los dispositivos de alta precisión de medición de longitudes de onda.

Otra aplicación es en la medición de longitudes pequeñas, tales como microscopios ópticos de alta resolución; exploración de electrones, microscópico de tunelamiento, los microscopios ópticos de campo cercano y microscopios de fuerza atómica. La sintonización de la rejilla es una parte esencial para la difracción.

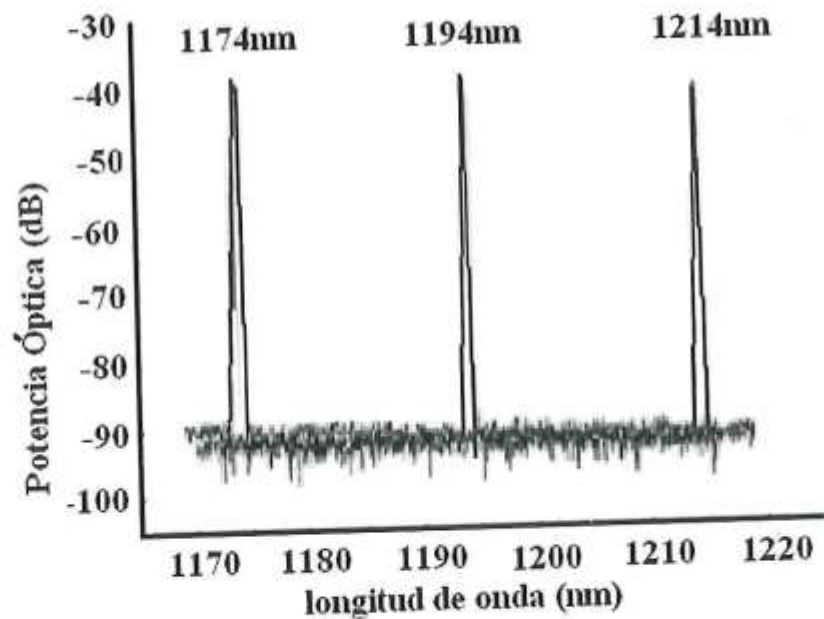
La rotación del espejo debe satisfacer las necesidades de configuración del arreglo óptico tipo Littman.

Al espejo se le adiciona un dispositivo de ajuste fino, para un movimiento angular, donde depende del ángulo y del sentido de giro, para su alineación con la capacidad de repetición de la longitud de onda requerida, se muestra la rotación del espejo en figura 2.5.



**Figura 2.5** Alineación de la rejilla en ángulo rasante y el espejo de rotación.

La fuente de luz de un diodo láser de ECDL, puede utilizar un diodo láser de 100 mW, con una longitud de onda de centro de 792 nm, en un arreglo tipo Littman. Con una alineación eficiente del diodo del láser de cavidad externa, se puede obtener diferentes sintonizaciones, Como se muestra en la figura 2.6., con un ancho de línea angosto.



**Figura 2.6** Sintonización de tres diferentes alineaciones del diodo láser.

La sintonización en el intervalo de la longitud de onda, puede modular en 18 nm a partir de 789 a 807 nm por medio de su ajuste de alineación.

Cuando se utiliza un diodo láser con una película delgada antirreflejante pobre, el haz de luz del láser pierde eficiencia, por el contrario cuando la película es la adecuada, su reflexión es la ideal para que se lleve acabo la resonancia interna sin modos no deseados.

Se encontraron más temas relacionados:

[Tai Hyun Yoon, Cheon Eom, Myug Sai Chung, Hong Jin Kong, 1999]

[L.S Meng, K. S Repasky, P.A. Roos, J. L. Carlsten, 2000]

[B. Boggs, C. Greiner, T Wang, H. lin, T. W. Mossberg, 1998]

## 2.4 Diferentes aplicaciones de los diodos láser

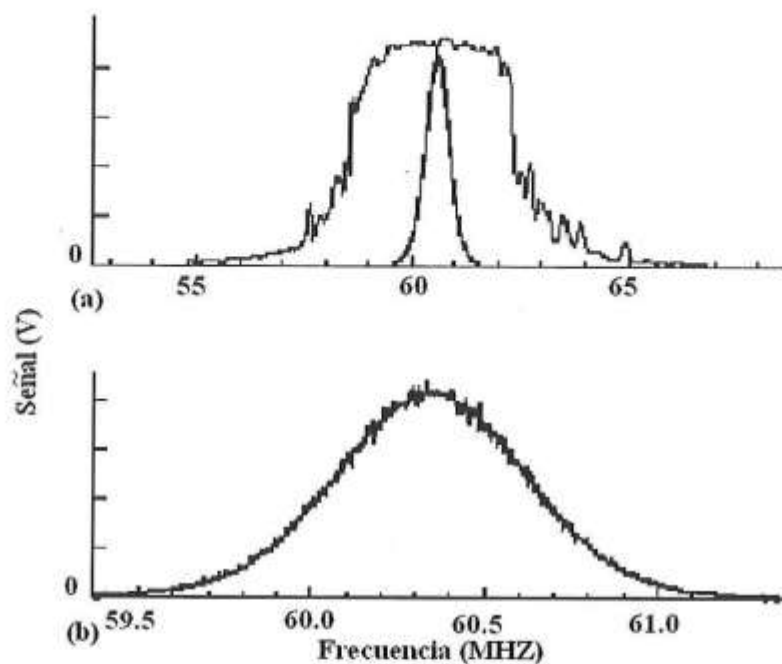
Debido a la necesidad de más líneas en longitud de onda [G. Souhaité. 1998], del ancho de banda para aplicación en fibras ópticas, y de mayor flexibilidad en el uso de los láseres para las redes ópticas, además de ser muy importantes en las redes para transmitir datos, y en redes de segunda generación, el diodo láser sintonizable será un componente dominante y permitirá que el uso de estas redes sean más eficientes.

Gran variedad de redes ópticas son interconectadas para la transmisión de datos, por lo que es muy importante evitar cualquier colisión de señales en su traslado. Es de vital importancia la sintonización a la que se este trabajando, para evitar la pérdida de los datos.

Para la transmisión de datos por fibra óptica, es necesario utilizar el diodo láser sintonizable de cavidad externa, por que se requiere de una emisión de longitud de onda, adecuada en distintas sintonizaciones o canales, con un ancho de línea angosta.

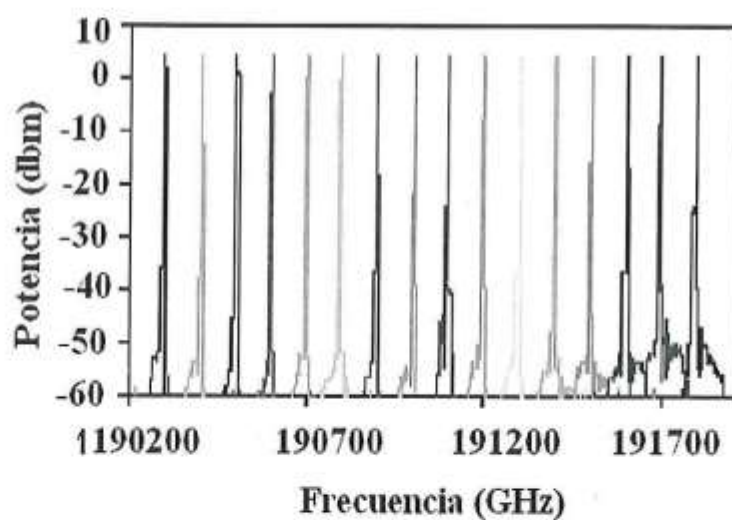
A continuación se presenta el diseño de un diodo láser cavidad externa, sin piezas móviles. La sintonización está realizada por medio de la variación de temperatura aplicada al diodo láser, esta crea una variación en su sintonización de manera lenta.

En un segundo caso, se utiliza en la rejilla de difracción con un piezoeléctrico, para un movimiento fino, y poder realizar variación en la sintonización del láser, solo se aplica una corriente modulada al piezoeléctrico, para un movimiento fino, este método es más rápido que el anterior, en la figura 2.7 se muestra una grafica de sintonización del diodo por medio de un piezoeléctrico.



**Figura 2.7** (a) Haz de luz del diodo, sintonizado por un piezoeléctrico, (b) Haz de luz del diodo en emisión libre no sintonizado.

El diseño del diodo láser sintonizable de cavidad externa, con la ausencia de piezas móviles, puede proporcionar 16 longitudes de onda estables, como se muestra en la figura 2.8., al no contar con variación de sintonización por movimientos mecánicos.



**Figura 2.8** 16 diferentes frecuencias sobrepuestas emitidas por un láser sintonizable.

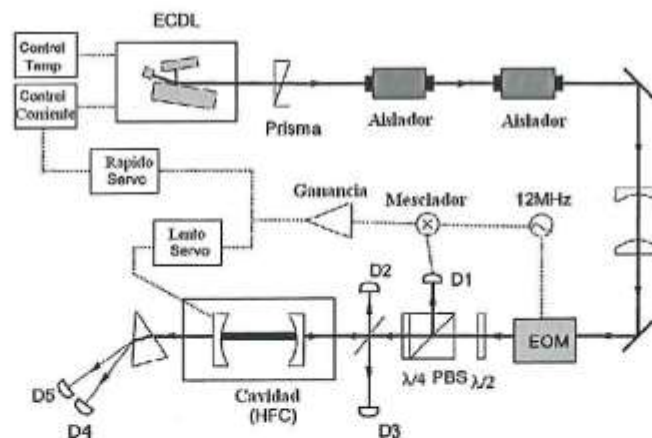
El manejo de los diodos láser de cavidad externa, cada vez son más utilizados por la industria, la medicina, y la ciencia, para resolver problemas en el campo de trabajo, en la mayoría de los usos, propone la selectividad del ancho de banda en un intervalo de sintonización mas específico.

Otro uso de los diodos es en el método de estudios espectroscópicos, para la detección de gas, siendo más confiables y de fácil manejo, con una alta sensibilidad en su medición.

El láser construido con un medio activo de gas, tiene un costo muy elevado. Por otra parte, el diodo láser de estado sólido es muy compacto y tienen un tiempo de vida mas prolongado, y en general son fáciles de manipular.

La mayoría de los detectores utilizados para mediciones en detecciones gases como: el gas amoníaco, metano, tolueno, etc. Son en base al sistema del diodo láser sintonizable de cavidad externa, utilizando arreglo del método de detección vapor de agua.

Hay una gran variedad de sistemas en común con la aplicación de medición del método de vapor de agua. Como base para la medición de los demás gases. La figura 2.9 muestra el diagrama del detector de hidrógeno.

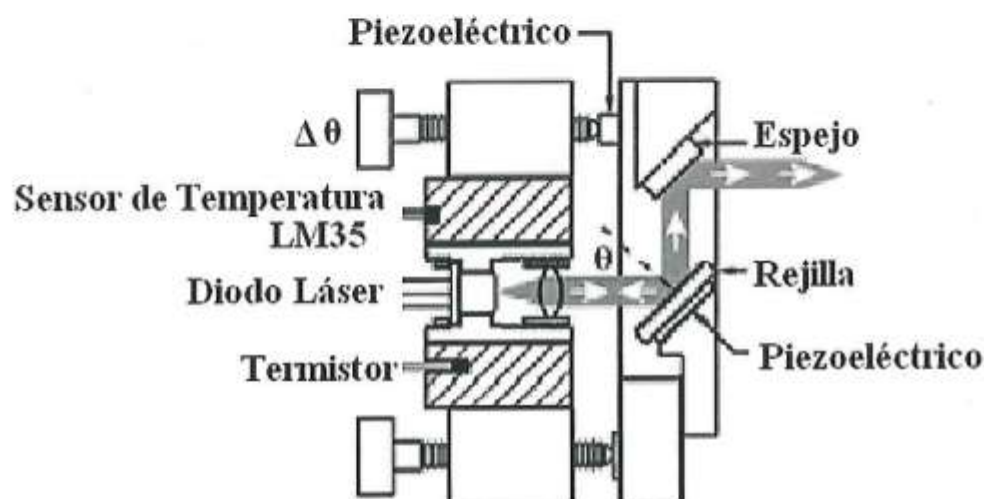


**Figura 2.9** Diagrama del diodo láser ECDL, para uso en detección de hidrógeno.

El uso del haz de luz emitida por un diodo láser de cavidad externa ECDL, con el movimiento de giro del espejo, para la sintonización de este instrumento, puede obtener un barrido de 1515 a 1555 nanómetros, de longitud de onda, con una rejilla de difracción de bajo costo y utilizando un diodo láser de 1550 nm al centro emisión libre de InGaAsP/InP, con una película antireflejante, de eficiencia en reflectancia de  $2 \times 10^{-4}$  y con la lente colimadora se garantiza una eficiencia del 50% de emisión del haz de luz del diodo láser.

El diodo puede trabajar en el ancho de línea angosto específico para la longitud deseada en nanómetros, con un margen de 80 nanómetros de barrido total.

Para la variación de sintonización del diodo, se aplica una señal de 140 V, a un piezoeléctrico adherido al espejo, para el cambio de rotación angular, con un total de  $\pm 1.4^\circ$  como se muestra en la figura 2.10



**Figura 2.10** Aplicación de un piezoeléctrico al espejo de sintonización.

Este diodo láser por su gran versatilidad de uso, tiene la capacidad de contar con una gran variedad de aplicaciones en las telecomunicaciones por medio de fibra óptica, por su alto

volumen en la transmisión de datos. Además de poder seleccionar de manera fácil el modo en los intervalos de longitud de onda, con la ayuda del piezoeléctrico.

Se encontraron mas temas relacionados:

[Zoltán Bozóki, János Sneider, Zoltán Gingl, Árpád Mohácsi, Milklos Szakall, Zsolt Bor, Gábor Zsabò, 1999]

[L. S. Meng, K. S. Repasky, P. A. Roos, J. L. Carlsten, 2000]

[A.R. Awtry, M.E. Moses, J.H. Miller, 1999]

[Jill D.Berger, Yongwei Zhang, John D. Grade, Howard Lee, Stephen Hrinnya, Hal Jerman, 2000]

## 2.5 Construcción mecánica de un diodo láser sintonizable

Para la fabricación del diodo láser (ECDL), es ideal conocer las necesidades de uso, en cualquier instrumento, para la construcción de su arreglo óptico [Emilie T. Soisson and George A. Ruff, 1996], de igual manera en los componentes que se quieren de adicionar al sistema, para una mayor solución de trabajo.

Los arreglos ópticos más comunes en el mercado que se pueden encontrar principalmente, son los de tipo Littman, Littrow.

Para el diseño de tipo Littrow, se agregan dos componentes; el piezoeléctrico, y una Celda Peltier. Este diseño utiliza una rejilla de difracción (de 1800 líneas por milímetro), para crear la cavidad resonante. La alineación y ajuste de la cavidad se realiza de manera rápida por medio de un tornillo de rosca fina, que se encuentra sujeto a la parte exterior del modulo, los tornillos tienen alineación para su movimiento, en figura 2.11 se muestra la estructura interna del diodo láser y la rejilla de difracción.

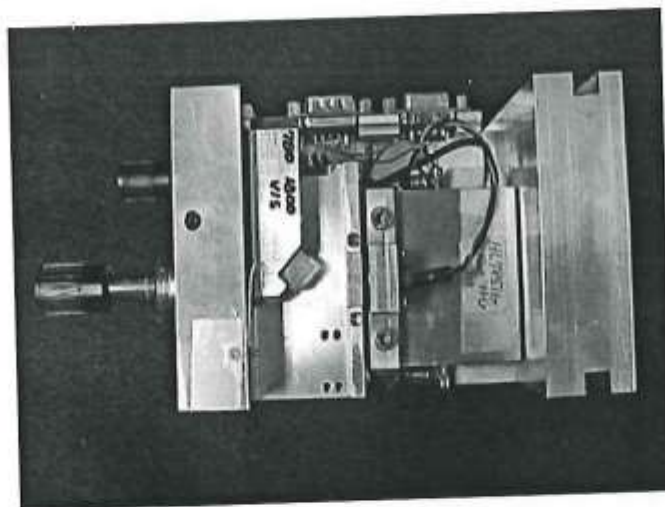


Figura 2.11 Estructura interna del diodo láser tipo Littrow.

El movimiento fino de la rejilla es por medio de un piezoeléctrico, (de marca Thorlabs, modelo AE0203D04), colocado en la base de la rejilla de difracción, también se adhiere una lente colimadora frente al diodo láser para colimar el haz de luz en su trayectoria interna.

La rejilla se encuentra alineada internamente en  $45^\circ$ , con el haz de luz que sale del diodo láser, en el orden cero. La rejilla tiene 1800 líneas por milímetro, (de marca Edmund, modelo D43221.)

El diodo es supervisado por su corriente del umbral, hasta que el umbral del diodo inicia la regeneración con la rejilla, y con la salida del haz de luz del sistema.

El láser se estabiliza a temperatura ambiente por medio de la celda Peltier, colocada en la base. Todos los demás ajustes mecánicos, se pueden hacer sin el acceso al interior de la cavidad del modulo. En la figura 2.12 se muestra la estructura del diodo láser y sus tornillos de ajuste.

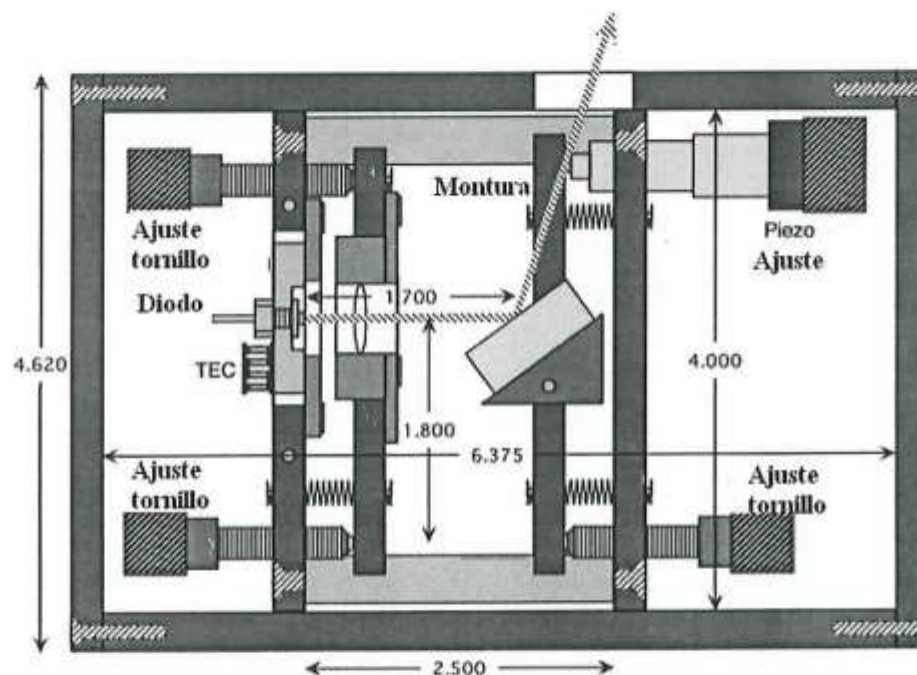


Figura 2.12 Alineación de la rejilla, por tornillos para su sintonización.

La longitud de onda del láser es ahora supervisada ópticamente, midiendo su longitud de onda con un interferómetro y un analizador de espectro a la salida del modulo.

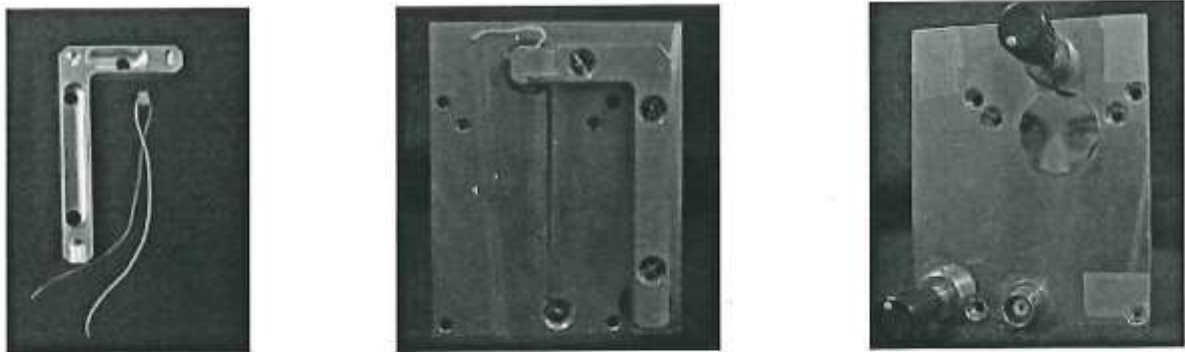
El diodo láser se modula en la longitud de onda, para lo cual es necesario acondicionar el haz de luz a su salida para sus diferentes aplicaciones.

Se utiliza un arreglo óptico con las lentes cilíndricas y esféricas, para eliminar el astigmatismo, y producir un haz de luz colimado. La longitud focal de las lentes cilíndricas permite el ajuste focal a la salida.

Se ha encontrado excesivo agregar un filtro óptico al sistema, puesto que el láser tiene una regeneración de óptica ideal.

La aplicación de un elemento extra es el regulador de temperatura, que es controlado por un termistor, que suministra la modulación de corriente para su estabilidad.

La fuente de energía del piezoeléctrico consiste en un arreglo que suministra de 0.0 a 150V. A continuación se muestra en la figura 2.13 donde se coloca el piezoeléctrico, y rejilla de difracción.



**Figura 2.13** Montura de la rejilla de difracción y el piezoeléctrico.

Más temas relacionados:

[R. S. Conroy, A. Carleton, A. Carruthers, B. D. Sinclair, C. F. Rae, and K. Dholakia, 2000]

[A. Andalkar, S. K. Lamoreaux, R. B. Warrington, 1999]

## 2.6 La lente colimadora del diodo láser

El número de aplicaciones, para el diodo láser con un ancho de línea angosta, como el diodo láser de cavidad externa [B. Chann, 1999], tiene una gran aplicación en diferentes campos, de la investigación.

Con el uso de lentes colimadoras, dentro de la cavidad del diodo, beneficia en la alineación del diodo láser, con la rejilla de difracción para su sintonización.

Como también proporcionan en su salida, un haz de luz colimada para su manejo de aplicación.

Para producir la generación de diferentes longitudes de onda. Es necesario utilizar diferentes diodos láser, a distintas longitudes de onda y potencias de salida.

Siendo utilizados diodos de potencia hasta de 20 W, para distintos los arreglos ópticos.

El haz de luz de un diodo láser se dirige a la rejilla de difracción con un ángulo de  $\pm 40$  grados con respecto al diodo láser. Precisa de enfocarse adecuadamente al la rejilla de forma apropiada, posteriormente se refleja al diodo láser en su pared interna posterior, con la mejor eficiencia para no tener pérdidas a su salida.

Para la sintonización del ancho de línea angosto espectral. Es limitado al ángulo de difracción de la rejilla. La eficiencia de la lente colimadora es muy importante por la reflexión interna del arreglo óptico, por realizar la transmisión continua del haz de luz. Contiene en sus caras películas delgadas para filtrar el ancho de banda. A continuación se presenta la figura 2.4, un arreglo óptico con lentes para colimar el haz de luz.

El haz de luz de salida del diodo es enfocado, para después colimarse, por medio de los diferentes lentes, para su alineación dentro de la cavidad del diodo láser.

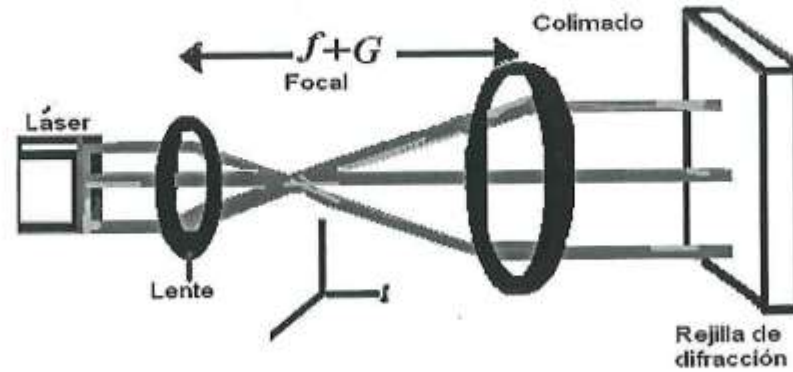


Figura 2.14 Arreglo óptico de la lente colimadora.

El haz de luz se proyecta sobre la rejilla de difracción y se refleja para realizar la sintonización, con la pared posterior del diodo láser en un segmento espectral del ancho de banda específico, con una lente de 50 milímetros de diámetro, y una rejilla holográfica de 2400 líneas por milímetro en un arreglo interno de tipo Littman.

La rejilla es colocada en una montura, que soporta un movimiento de rotación, para permitir la orientación de sintonización.

Los resultados demostraron que el ancho de banda espectral, es dependiente de la energía del diodo, y aproximadamente del 80% de esta energía es aprovechada, la longitud de onda libre del láser es de 18 W, siendo la emisión de salida menor, por la vía de traslado dentro de la cavidad resonante, para su sintonización, según lo mostrado en la figura 2.15.

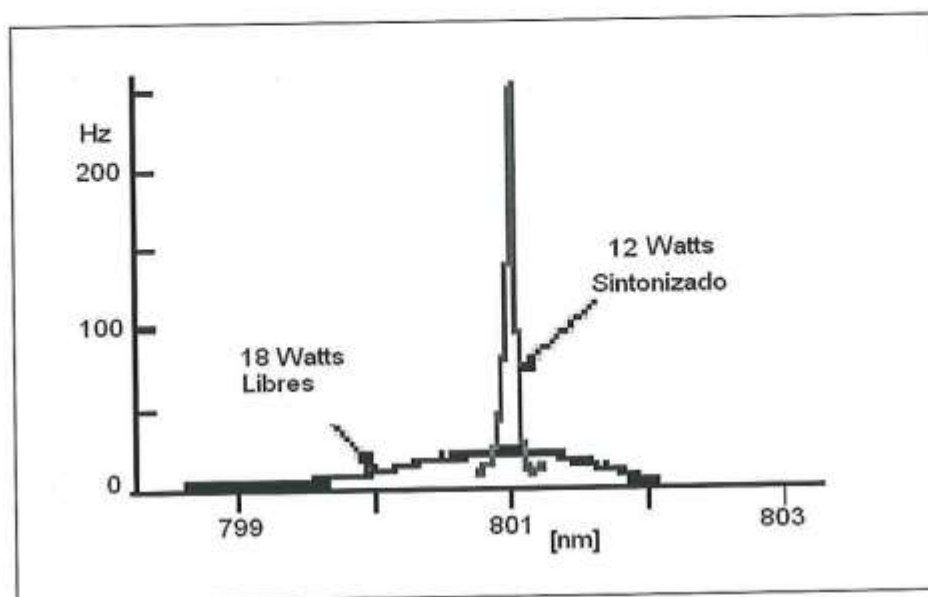


Figura 2.15 Sintonización de diodo láser con ancho de línea angosto.

Otro tema relacionado es el siguiente artículo:

[C. Greiner, B. Boggs, T. Wang, T. W. Mossberg, 1998]

## 2.7 Resumen

En los artículos anteriores, se mencionan la forma de crear un haz de luz con un ancho de línea angosto, emitido por diodos láser de cavidad externa (ECDL), utilizando los arreglos ópticos de tipo de Littrow y Littman.

Los artículos describen el funcionamiento óptico y las principales piezas mecánicas que lo componen, también se mencionan las diferentes interacciones entre los componentes mecánicos y los ópticos.

Se puntualizan los principales problemas para la alineación del sistema óptico, y se determina el uso mecánico con el movimiento del ángulo de la rejilla, como también del espejo de sintonización.

Se nombra la aplicación del uso de temperatura en el diodo láser como un a forma de sintonización lenta. Se menciona la adición de una celda Peltier como refrigerador, y un termistor como sensor de temperatura. Además del uso de fuentes de alimentación de corriente para los distintos componentes como son; el piezoeléctrico, el láser y la celda Peltier. Se menciona el uso de un motor a pasos, y un piezoeléctrico adherido al sistema para una sintonización más fina.

De igual manera de como aislar los cambios de temperatura y vibraciones acústicas.

Establece el uso de lentes ópticos dentro del arreglo interno, para colimar el haz de luz del diodo láser, con aplicación de películas delgadas como filtros, a diferentes longitudes de onda. Se nombra la aplicación de una película antirreflejante en el diodo láser y la eficiencia de la de la misma como parte fundamental para no tener modos en la salida de del haz de luz.

Menciona el uso de las rejillas de difracción y sus características como son; el ángulo de alineación, la periodicidad de líneas por milímetro para las distintas longitudes de onda y la eficiencia de operación.

También describe de forma general el diagrama interno del sistema óptico del láser para cavidades externas de tipo Littrow y Littman.

Se nombran diferentes usos y aplicaciones de los diodos láser de cavidad externa tales como; la detección de vapor de gas, estudios de espectroscopia, diagnóstico de combustión y traslado de datos por fibra óptica, etc.

En este capítulo en general describe la narración total de manera para una mayor comprensión del diseño y construcción, de los diodos láser de cavidad externa así como su manejo y caracterización para su utilización.

## **Capítulo III**

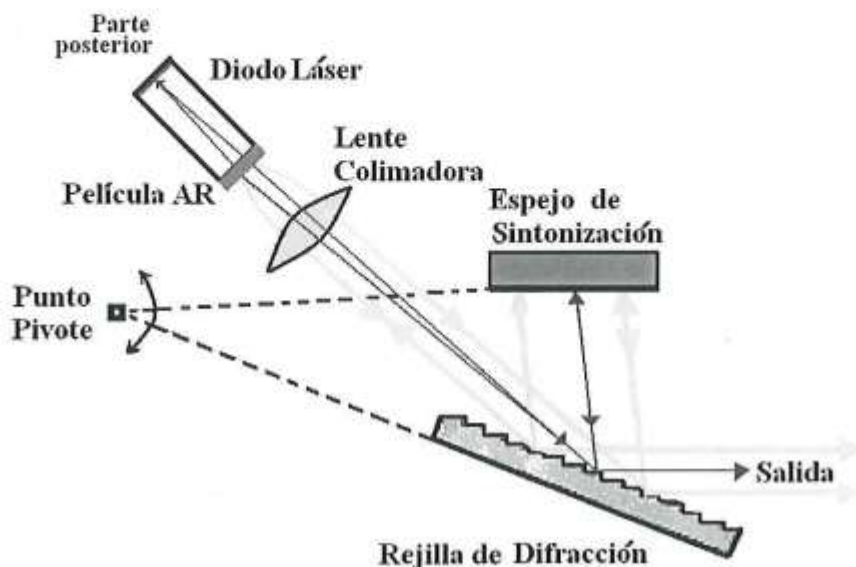
### **Dispositivo Experimental**

#### **Procedimiento**

En este capítulo se describe el diseño, construcción y caracterización de una fuente de luz sintonizable alrededor de los 1550 nm, la cual consta de un diodo láser de cavidad externa, con una configuración óptica tipo Littman, [Michael G. Littman, 1978] mencionada en los capítulos anteriores. Con la elaboración de este proyecto dentro del Departamento de Óptica de CICESE dará solución a necesidades específicas para realizar mediciones ópticas en arreglos experimentales, tales como el estudio de transmisión de luz en fibras ópticas y en el estudio de reflexión de luz por superficies rugosas.

Como ya se mencionó en el capítulo anterior, existen principalmente dos posibles configuraciones para la cavidad externa, la de tipo Littrow y la de Littman. La cavidad de tipo Littrow mostrada en la figura 1.3 (a), presenta la ventaja de una gran simplicidad en su montaje y por tanto presentará un manejo más sencillo. La cavidad tipo Littman, aunque un poco más completa, presenta la ventaja de producir una mayor pureza espectral (ancho de banda), razón por la que se escogió como la cavidad a usar en nuestro caso.

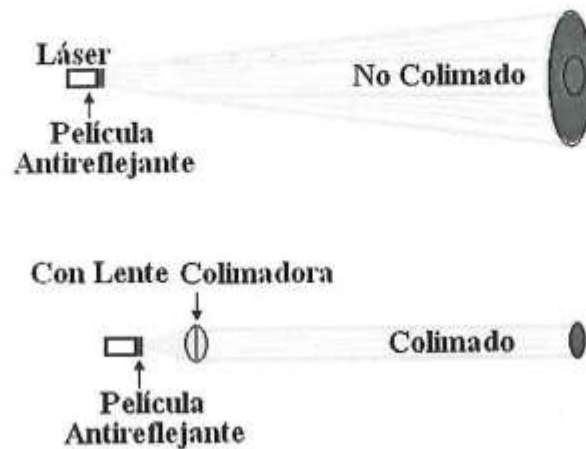
El diodo láser de cavidad externa tipo Littman se muestra esquemáticamente en la figura 3.1. La cavidad óptica está formada por la cara posterior del diodo láser, la rejilla de difracción y el espejo de sintonía.



**Figura 3.1** Diseño óptico tipo Littman, se muestra la trayectoria del haz de luz dentro sistema óptico, iniciando en la parte posterior del diodo láser, y el espejo de sintonización, se muestra también la salida del haz sintonizado por el orden cero de reflexión de la rejilla.

El diodo láser tiene como función principal dentro del sistema la emisión de luz. Al aplicársele una corriente eléctrica, el diodo láser emite luz debido al proceso de recombinación de electrones (provenientes de la región  $n$ ) y los huecos (provenientes de la región  $p$ ) que se da en la interfase entre ambas regiones. Para evitar la formación de una cavidad externa, el diodo láser contiene una película delgada antirreflejante en una de sus caras, como se puede ver en la figura 3.1. Según datos del fabricante del diodo [Sacher Lasertechnik, 2002], la reflectancia de la película es de  $R = 1 \times 10^{-4}$ .

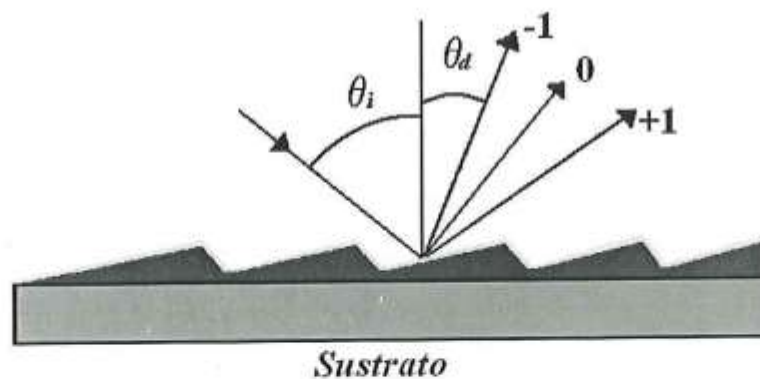
Debido a que el haz de luz emitido por el diodo diverge rápidamente, es necesario colocar una lente a la salida del diodo, de manera que produzca un haz de luz con la menor divergencia posible, como se muestra en la figura 3.2. La lente esta recubierta por películas antirreflejantes en ambas caras, cuya función es reducir las pérdidas por reflexión en sus caras. Esto es importante para la obtención de la mayor eficiencia de emisión posible.



**Figura. 3.2** La lente de colimación no permite que se incremente el tamaño del haz de luz del diodo láser en su sección transversal, por estar enfocada en un punto lejano.

Para fijar la lente es necesario utilizar monturas de precisión las cuales deben contar con movimientos finos en  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , para la alineación de la lente en el arreglo óptico.

Para poder tener la capacidad de sintonía, es preciso introducir un dispositivo selector de la longitud de onda dentro de la cavidad. El dispositivo escogido es una rejilla de difracción. La rejilla de difracción consiste de un sustrato con una estructura con variación periódica de la superficie, como se muestra en la figura 3.3. Al hacer inducir luz en ella, cada sección (“diente”) de la rejilla reflejará la luz en cierta dirección.



**Figura. 3.3** La rejilla de difracción, con el ángulo de incidencia  $\theta_i$ , y el ángulo de difracción  $\theta_d$ .

La reflexión de la rejilla será máxima para un número discreto de direcciones, para las cuáles las componentes individuales reflejadas interfieren constructivamente, como se muestra en la figura 3.3. A estas direcciones en que se obtiene luz reflejada se les llama ordenes de difracción y se rotulan con un número entero; orden  $-2$ ,  $-1$ ,  $0$ ,  $1$ ,  $2$ , etc. El orden cero corresponde a la luz que cumple con la ley de reflexión. Puesto que la condición de interferencia constructiva depende fuertemente de la longitud de onda, la dirección de propagación de los modos difractados es también función de la longitud de onda. Por consiguiente, si se hace incidir luz policromática (con un ancho de banda grande) sobre la rejilla, ésta se separa espectralmente.

En el caso de la cavidad tipo Littman la rejilla se coloca de tal manera que la luz producida por el diodo incide a un ángulo rasante como se muestra en la figura 3.4. En esta geometría, una parte significativa de la potencia se difractará en el orden  $-1$  y otra parte se irá en el orden  $0$  de difracción, además de que la sensibilidad a la longitud de onda será máxima.

El parámetro que gobierna las características de difracción de la rejilla es el espaciamiento de las líneas de la rejilla, cantidad estipulada en líneas/mm.

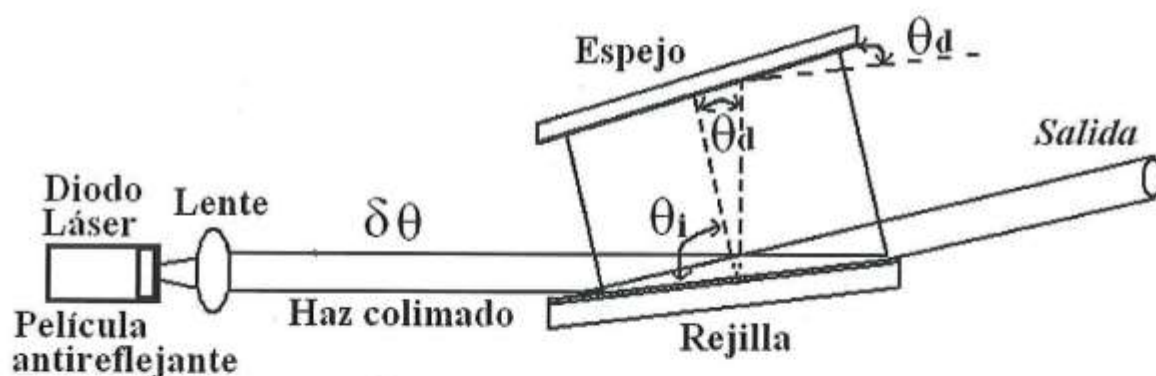


Figura 3.4 Relación de ángulos para la rejilla de sintonía.

Para realizar la elección de una rejilla de difracción apropiada para una longitud de onda específica, con en el número de líneas/mm, es necesario tomar en cuenta las características del arreglo experimental propuesto y la ecuación de difracción de la rejilla. En la geometría mostrada en la figura 3.3, los ángulos de incidencia  $\theta_i$  y de difracción  $\theta_d$  cumplen con la siguiente ecuación:

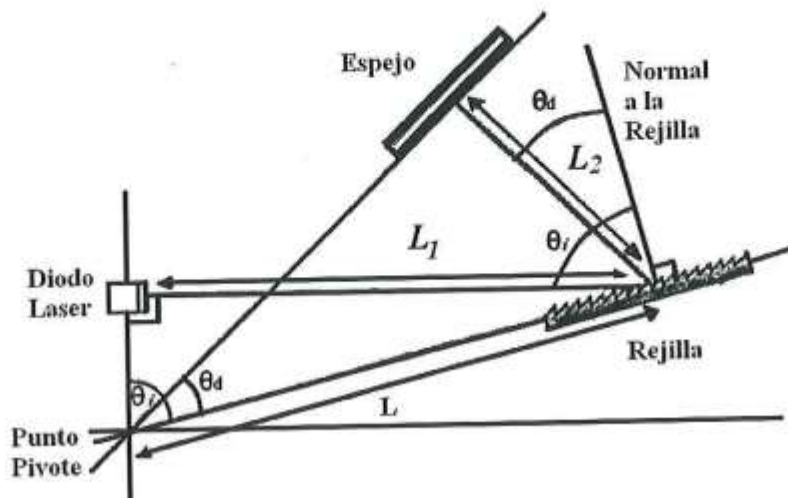
$$d (\text{sen } \theta_d - \text{sen } \theta_i) = m\lambda, \quad (3.1)$$

donde  $d$  es la separación entre líneas de la rejilla,  $\lambda$  es la longitud de onda de la luz y  $m$  es el orden de difracción, que toma valores enteros,  $-3, -2, -1, 0, +1, +2$ , etc. Si tomamos en cuenta que se desea incidencia a un ángulo rasante sobre la rejilla ( $\theta_i \approx 90$ ) y queremos que el orden  $m=-1$  salga aproximadamente perpendicular a la rejilla ( $\theta_d \approx 0$ ) para que la cavidad tenga la geometría mostrada en la figura 3.4, la ecuación 3.1 indica que necesitamos tener:

$$d = \lambda. \quad (3.2)$$

Entonces, para que se tenga el arreglo experimental propuesto, se requiere que la rejilla de difracción tenga una separación de líneas igual a la longitud de onda (1550 nm), que corresponde a una rejilla con líneas separadas por  $1.55 \times 10^{-3}$  mm o bien que tenga 645 líneas/mm. Comercialmente la rejilla con espaciamiento lo más aproximado a este intervalo que se puede conseguir es de 600 líneas/mm, que fue la que utilizamos.

La rejilla está compuesta de un bloque de vidrio de boro silicato (BK7), este material es muy resistente a cambios de temperatura, también a deformaciones por la aplicación de esfuerzos mecánicos. El bloque contiene una cara perfectamente plana con una película delgada donde está grabada una serie de líneas paralelas en forma de dientes de sierra con un ángulo de  $28.7^\circ$ , como se ve en la figura 3.3.



**Figura 3.5** Diseño óptico tipo Littman, alineación para la rejilla de difracción con el espejo de sintonización

La cavidad óptica se completará con el espejo sintonizador, que dependiendo de su posición angular, regresará luz de una longitud de onda determinada hacia la rejilla y de regreso hacia el diodo. De esta manera la luz cumplirá un número de viajes redondos en la cavidad como se muestra en la figura 3.4. El acoplamiento se hace afuera de la cavidad se realiza a través del orden cero de la rejilla, el cual no varía en dirección con el movimiento del espejo de sintonización.

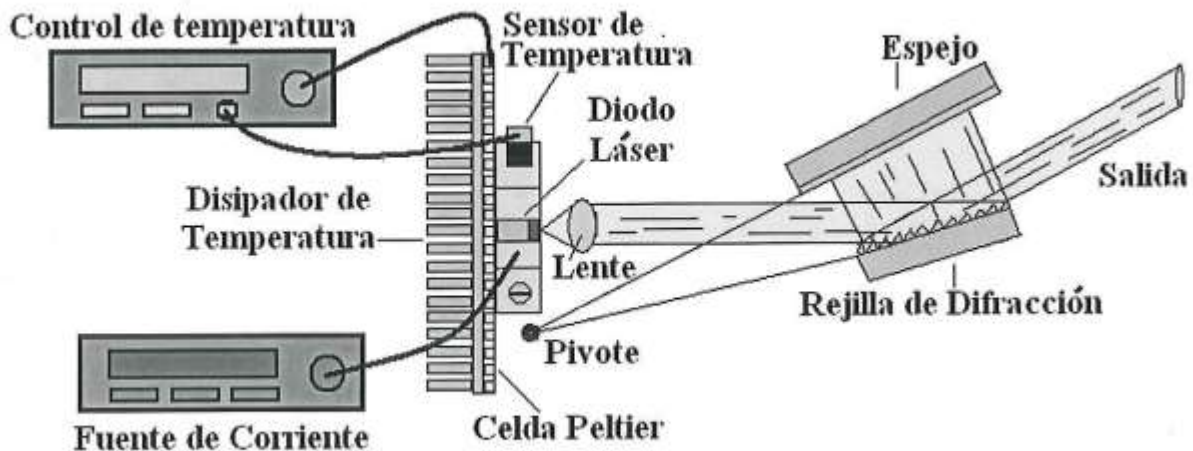
La principal función del espejo de sintonía, es proporcionar la retroalimentación necesaria para generar la cavidad resonante a una longitud de onda dada, la cual dependerá de la orientación angular del espejo. El espejo de sintonización utilizado es un sustrato de vidrio de boro silicato (BK7) el cual cuenta con una cara perfectamente plana, en la que contiene una película delgada de aluminio. Para formar el espejo, la película se depositó, por medio de una campana de evaporación dentro de los laboratorios del Departamento de Óptica de CICESE.

La sintonización de la luz emitida se lleva a cabo mediante una rotación del espejo de sintonía. Para que esta sintonización sea lo más suave posible, sin saltos en la longitud de onda,

se requiere que el punto de pivote alrededor del cual se rota el espejo coincida con el plano de la rejilla y el plano definido por la cara del diodo láser, como se muestra en la figura 3.5. Esta condición será importante en el momento de diseñar las componentes mecánicas de la cavidad.

**Capítulo IV**  
**Montaje Experimental**  
**Procedimiento**

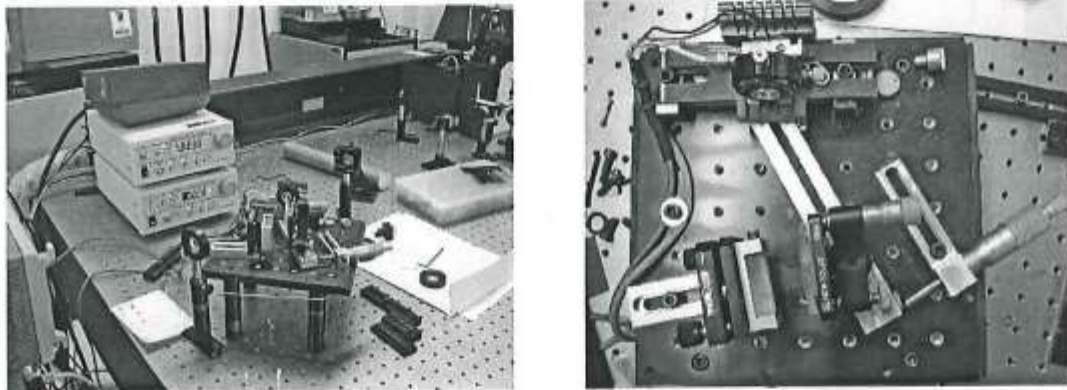
Para la construcción del láser se utilizó una combinación de componentes compradas y de elementos desarrollados como parte del proyecto. En el montaje experimental se utilizó el arreglo óptico de tipo Littman propuesto, como se muestra en la figura 4.1. A continuación describiremos las principales características de los diferentes componentes utilizados en la elaboración del láser.



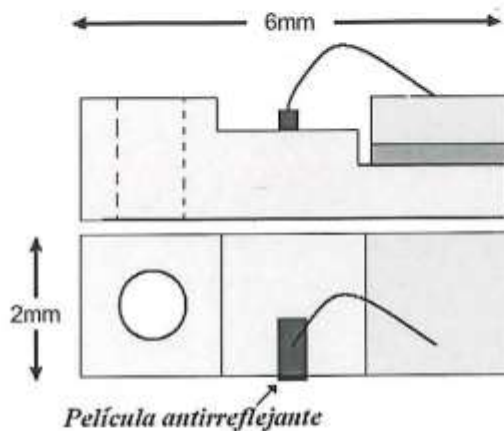
**Figura 4.1** Diagrama del sistema completo del diodo láser sintonizable de cavidad externa tipo Littman, incluyendo la alimentación de corriente y el control de temperatura.

Todos los elementos del láser se montaron en una placa de aluminio que vuelve al instrumento fácil de trasladar a los diferentes laboratorios para su utilización, como se ve en la figura 4.2 La mesa es de aluminio anodizado con perforaciones roscadas de  $\frac{1}{4}$  de pulgada, entre cada perforación existe un espacio de una pulgada, lo que permite un acomodo fácil de los componentes. La mesa tiene dimensiones de 8" x 8" x  $\frac{1}{2}$ " y en ella se pueden colocar vástagos o sujetarla a una mesa óptica fija para su utilización dentro de los laboratorios.

El principal elemento es el diodo láser, el cual no viene encapsulado para poder tener fácil acceso óptico. El diodo viene contenido en una montura que permite establecer conexiones eléctricas con el diodo de manera sencilla, como se muestra en la figura 4.3.



**Figura 4.2** Montaje experimental del diodo láser sintonizable.

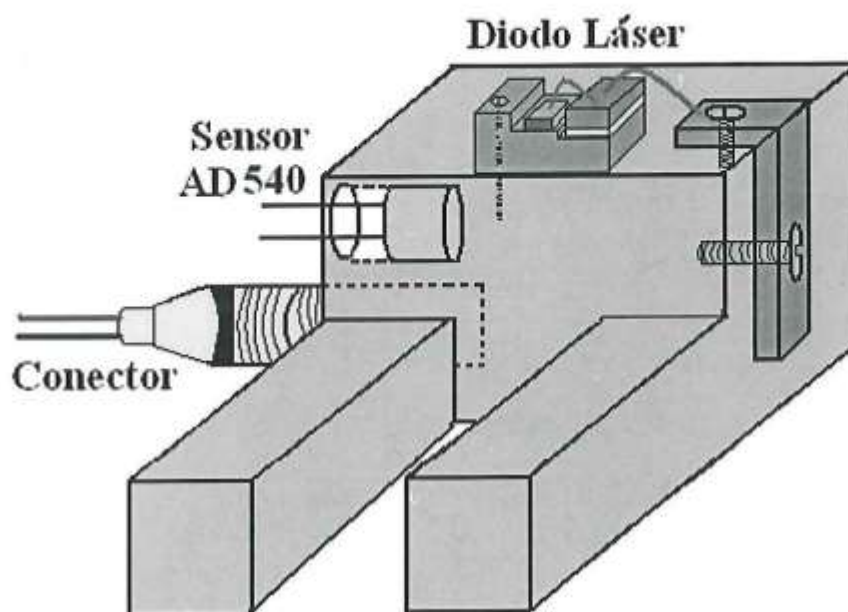


**Figura 4.3** Diagrama de la montura de diodo láser de *InGaAsP* 1550 nm de 5 mW y la fotografía del dispositivo a través del microscopio.

Para sujetar el diodo láser y establecer las conexiones mecánicas, fue necesario elaborar una montura la cual está construida en bronce marino para contar con una mayor resistencia a la corrosión y a la oxidación, así como para obtener una mejor conducción de temperatura entre el

diodo y la celda Peltier, como se muestra en la figura 4.4. La montura metálica contiene un barreno roscado en la parte superior para fijar el diodo láser y de esta manera dar inicio a la alineación óptica en el sistema con la lente de colimación. Se colocó también un conector para la unión con la fuente de alimentación del diodo láser, y un sensor de temperatura tratando de que estuviera lo más cerca posible del diodo para obtener una medición realista de la temperatura.

La montura del diodo está soportada sobre otra montura maquinada en plástico nylon, la cual sirve para aislar eléctricamente el diodo láser del resto de la mesa óptica. Por medio de esta montura de nylon se sujeta también la montura adquirida para soportar la lente de colimación, así como la celda Peltier y su disipador de temperatura.

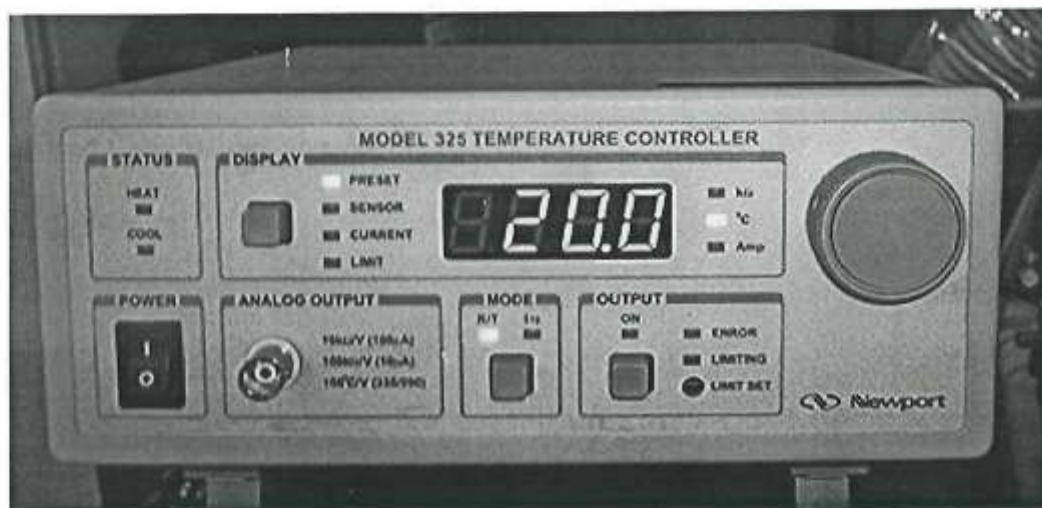


**Figura 4.4** Diagrama de la montura de bronce marino para fijar el diodo láser, el sensor de temperatura AD540, la celda Peltier, el disipador de temperatura y la montura de la lente de colimación.

Debido a que tanto la longitud de onda, como la potencia de emisión del diodo láser son función importante de la temperatura del mismo, se puso a punto un sistema de control de temperatura. El sistema controlador de temperatura consta de una celda Peltier para enfriar el

diodo láser, un disipador de calor para enfriar el Peltier, un sensor de temperatura y un sistema de retroalimentación para establecer un lazo de control de la temperatura.

La celda Peltier es alimentada eléctricamente por una fuente regulada marca Newport modelo 325, mostrada en la figura 4.5, que cuenta con una corriente máxima de operación de 1 A. La fuente se utiliza aproximadamente a 300 mA para mantener la temperatura en  $20^{\circ}\text{C}$  en el diodo láser. Para obtener el control regulador de temperatura, se instaló un sensor de temperatura modelo AD590, el sensor de temperatura se adquirió del fabricante Analog Devices (modelo AD590), que soporta un voltaje de alimentación de 4 a 30 V y tiene un rango de operación de  $-55^{\circ}\text{C}$  a  $+150^{\circ}\text{C}$ . Este sensor proporciona la señal que el controlador emplea para regular la corriente entregada al Peltier y así regular la temperatura del diodo.



**Figura 4.5** Control de temperatura Newport modelo 325, utiliza el sensor AD590

El diodo láser se trabajó a una temperatura fija de  $20^{\circ}\text{C}$ , a sugerencia del fabricante para obtener una mayor eficiencia en la emisión de luz. Para eliminar el calor producido en la celda Peltier, se instaló un disipador de temperatura de aluminio con dimensiones de  $5 \times 5 \times 2$  cm. Este sistema de control de temperatura es suficiente para trabajar de manera confiable sin tener

variaciones de longitud de onda a la salida del diodo láser.

La alimentación de corriente para el diodo láser fué suministrada por una fuente comercial marca Newport modelo 505, con capacidad de salida de 0-500 mA, mostrada en la figura 4.6. En nuestro sistema utilizamos un máximo de alimentación para el diodo láser de 100 mA, que está dentro de los rangos permitidos para el diodo en cuestión. Esta fuente de corriente es muy estable, lo que nos permite obtener un haz de luz sin variaciones en su potencia de salida.



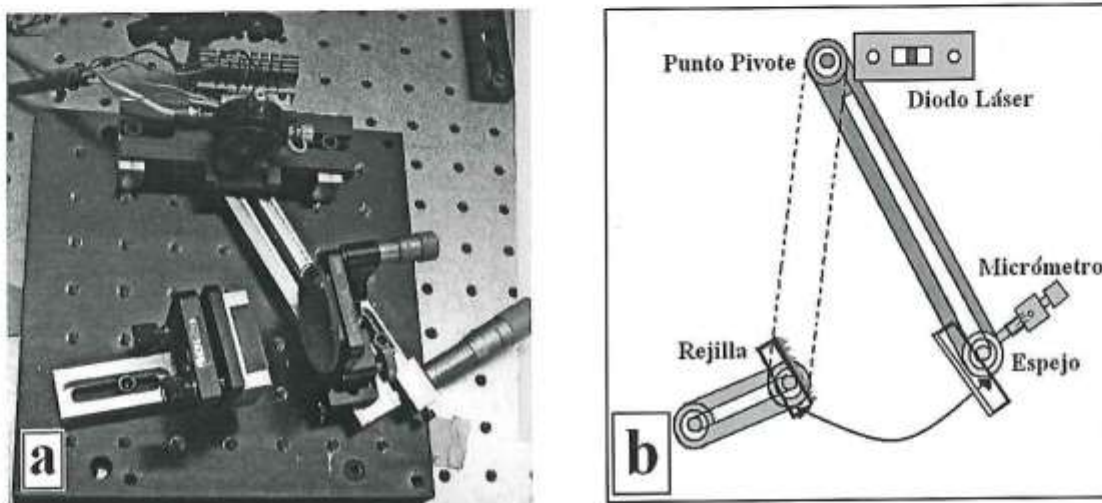
**Figura 4.6** Fuente de alimentación Newport modelo 505, con salida de 500 mA.

La montura utilizada como soporte de la lente colimadora se adquirió del fabricante New Focus. Se realizó una modificación a esta montura, pues se le instaló una pieza interna de rosca fina para enfocar la lente con una mayor precisión. La lente colimadora instalada en nuestro sistema se adquirió de la compañía Thorlabs, está construida en vidrio BK7, tiene 8 mm de diámetro y una distancia focal de 8 mm, con una forma plano convexa. Cuenta con películas delgadas en sus dos caras para minimizar reflexiones a una longitud de onda de 1550 nm.

La rejilla de difracción es del fabricante Termo RGL, de 600 líneas por milímetro, contenida en un sustrato vidrio de BK7 de 30 x 30 x 10 mm, el sustrato tiene la capacidad de

soportar esfuerzos mecánicos por la sujeción a su montura. La rejilla está hecha para la longitud de onda alrededor de 1500 nm y contiene una película delgada de aluminio que ayuda a obtener una alta reflectividad. La rejilla de difracción se sujetó a una montura comercial de la compañía Thorlabs. A esta montura se le agregó una montura extra de aluminio que sirve como base a la rejilla y la sujeta por medio de un tornillo como se muestra en la figura 4.7 a. La montura de la rejilla se coloca sobre la mesa óptica portátil de manera que la luz proveniente del diodo incida en la rejilla a un ángulo rasante.

El espejo de sintonización utiliza un movimiento angular por medio de un brazo de aluminio para lograr la sintonización en longitud de onda del láser. Este movimiento angular se realiza de manera que al punto de pivote se encuentre en el plano de la cara posterior del diodo, como se muestra en la figura 4.7 b.



**Figura 4.7** Movimiento angular del brazo, con relación al punto pivote.

El brazo está sujeto en el punto pivote a la mesa óptica portátil a través de un balero de rodamiento fino, evitando movimientos o vibraciones que alteren la alineación del diodo láser. La montura utilizada para el soporte del espejo de sintonización se adquirió del fabricante New

Focus y cuenta con dos tornillos de rosca fina y un micrómetro para una alineación precisa de la cavidad. Para realizar la sintonización en longitud de onda requerida, se utilizó un movimiento fino por medio de un micrómetro marca Mitutoyo, modelo MHN1-25V con 5.0 cm de carrera y resolución de 0.01 mm, como se muestra en la figura 4.8. El micrómetro está soportado sobre una montura de aluminio en forma de escuadra, fijándose a la placa de aluminio portátil. Para mantener la unión entre el brazo de aluminio y el micrómetro fue necesario instalar un imán, que mantiene a las dos piezas unidas todo el tiempo.



**Figura 4.8** Micrómetro Mitutoyo, de 5.0 cm de carrera y resolución de 0.01 mm.

Por último se instaló en esta fuente de luz sintonizable un cápelo de acrílico para proteger al láser del polvo.

Los métodos utilizados para su caracterización demostraron que éste arreglo experimental puede ser utilizado con módulos externos como son el control de temperatura y la fuente de alimentación de corriente, los cuales son seguros y fáciles de controlar. El resultado es una fuente de luz sintonizable que puede suplir las necesidades específicas dentro de los laboratorios de óptica. De esta manera, el láser permitirá llevar a cabo diferentes experimentos en el laboratorio de Óptica Estadística del CICESE.

## Capítulo V

### Resultados Experimentales

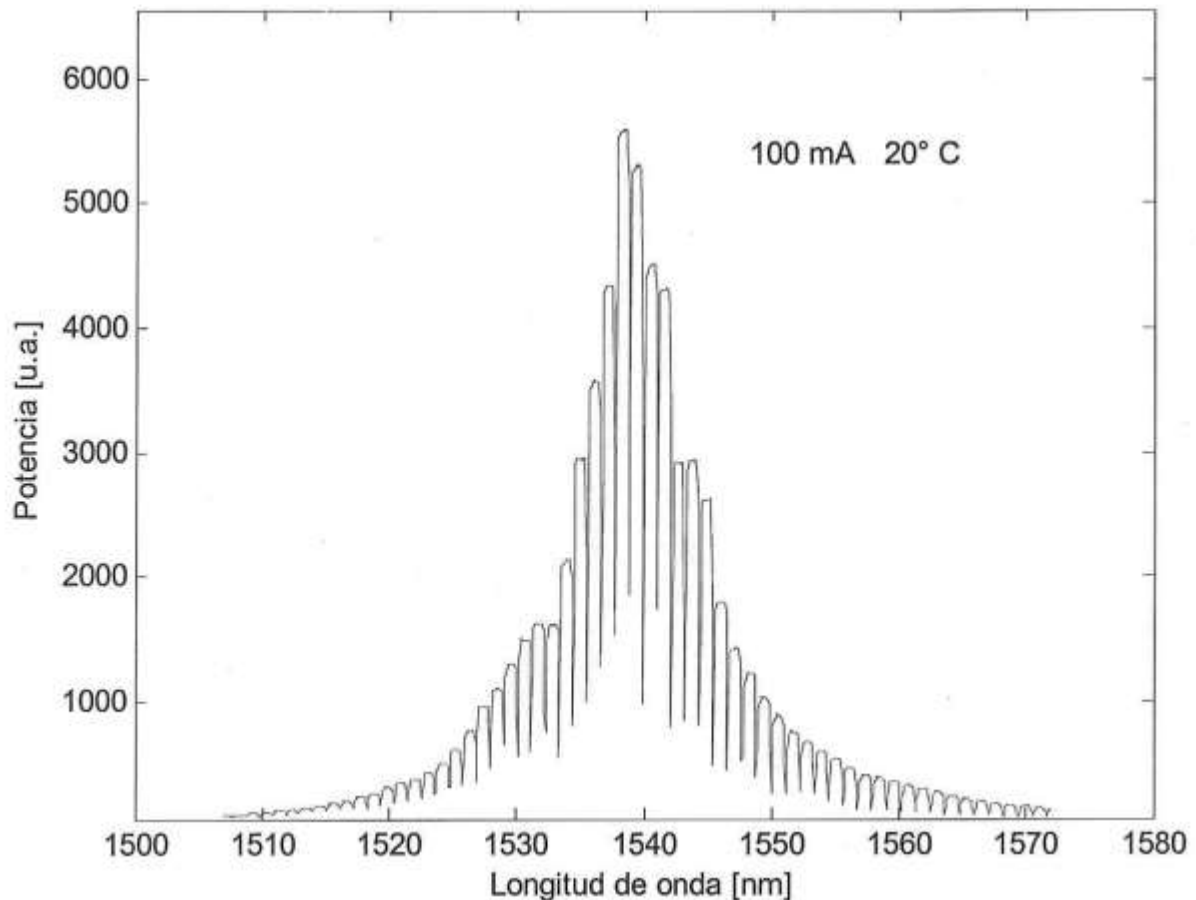
En este capítulo se reporta la construcción de un diodo láser sintonizable con cavidad externa tipo Littman-Metcalf así como la caracterización de su desempeño. La primera parte del trabajo consistió en caracterizar la salida del diodo láser únicamente, sin que estuviera conteniendo la cavidad externa. Posteriormente se construyó la cavidad óptica, acoplando las piezas mecánicas, las fuentes de corriente y los componentes ópticos. Se procedió después a caracterizar la luz producida por el diodo láser en términos de rango de sintonía, potencia de salida, etc.

#### 5.1 Caracterización del Diodo Láser

El primer componente adquirido es el diodo láser, el cual, como ya se mencionó, no viene encapsulado para poder tener fácil acceso óptico. De cualquier manera, el diodo viene contenido en una montura que permite establecer conexión eléctrica con el diodo de manera sencilla, como se muestra en la figura 4.3 del capítulo anterior.

El diodo está hecho del material *InGaAsP*, que produce luz con una longitud de onda alrededor de 1550 nm. La cara frontal del diodo tiene una película antirreflejante que reduce la reflectividad de la interfase con el aire a un valor  $R \cong 1 \times 10^{-4}$  (*Sacher Lasertechnik, Dic, 2005*). Esta película es necesaria para evitar la formación de una cavidad óptica interna al diodo por las reflexiones en las caras del diodo.

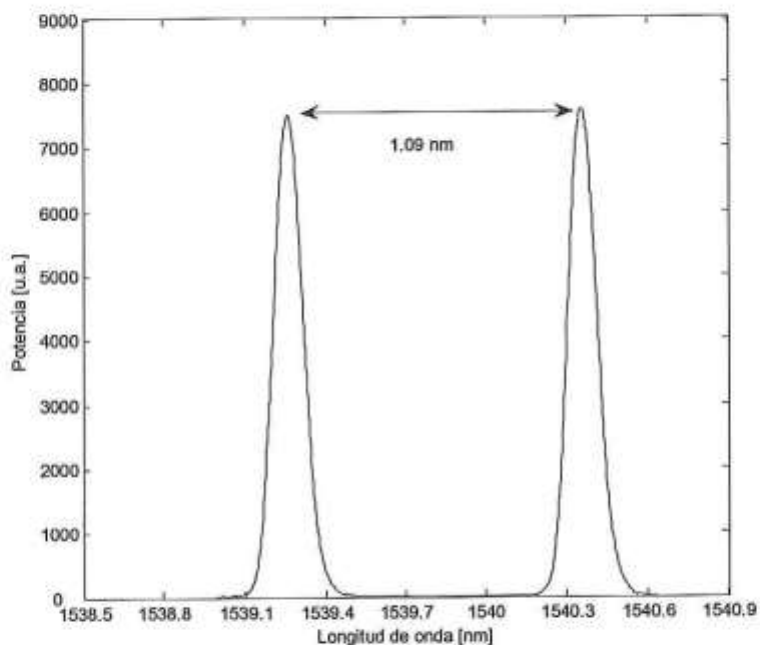
El diodo tiene una longitud 300  $\mu\text{m}$  y una sección transversal de 1 x 1  $\mu\text{m}$ , según especificaciones del fabricante y está diseñado para trabajar con una corriente máxima de 100 mA. La figura 5.1 muestra el espectro de emisión del diodo sin ninguna cavidad externa, cuando se le aplican 100 mA de corriente.



**Figura 5.1** Espectro de emisión libre del diodo láser sin cavidad externa.

El espectro muestra una modulación periódica claramente visible, debido probablemente a la reflectancia residual en la cara con la película antirreflejante. La modulación tiene un periodo de 1.09 nm. La figura 5.2 muestra una región espectral más

pequeña donde se puede medir esta separación.



**Figura 5.2** Detalle del espectro de emisión del diodo láser.

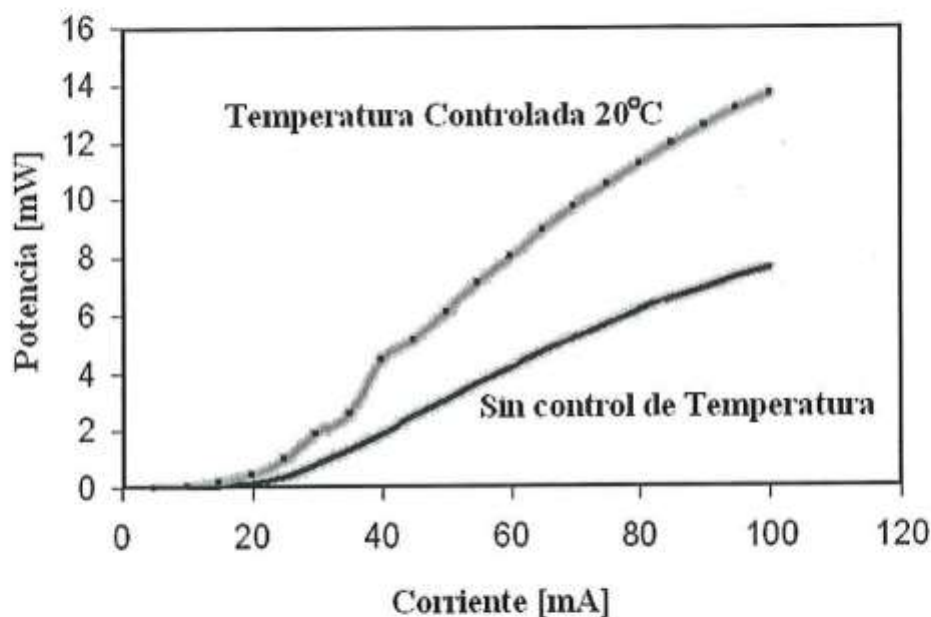
Para cerciorarnos de que la modulación del espectro es debido a la formación de modos por reflexiones múltiples en las caras del diodo, calculamos el espaciamiento de dichos modos. De acuerdo con C. C. Davis (*Lasers and Electro-Optics* página 93), la separación  $\Delta\lambda$  entre los máximos de la emisión de un láser con cavidad Fabry-Perot de longitud  $L$  es:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_0^2}{2nL}, \quad (5.1)$$

donde  $n$  es el índice de refracción del medio y  $\lambda_0$  es la longitud de onda central de emisión.

Si usamos  $\Delta\lambda = 1.09$  nm, obtuvimos de la figura 5.2,  $\lambda_0 = 1550$  nm y  $n = 3.5$  (para InGaAsP), obtenemos que  $L = 311$   $\mu\text{m}$ . Esto coincide muy bien con la información proporcionada por el fabricante, por lo que podemos concluir que estamos viendo un efecto de formación de modos por reflexiones múltiples en las caras del diodo.

Se caracterizó también la potencia de emisión del diodo láser como función de la corriente de alimentación. Esta medida se realizó sin controlar la temperatura del diodo y cuando se empleó el sistema de regulación de temperatura, los resultados se muestran en la figura 5.3. De la figura se ve que en ambos casos la corriente umbral  $I_{\text{umbral}}$  es de 20 mA, y que la potencia emitida es mayor cuando se controla la temperatura del diodo. Esto es debido a que el calentamiento del diodo, hace que disminuya la eficiencia de emisión del mismo. Con este resultado, se demuestra la importancia de mantener el diodo láser a una temperatura constante para brindar una mayor estabilidad y eficiencia del diodo láser.



**Figura 5.3** Potencia de salida del diodo láser, con la temperatura controlada.

## 5.2 Caracterización del sistema completo

Se procedió a armar la cavidad externa tipo Littman-Metcalf y a alinear la cavidad. Se realizaron diferentes pruebas de caracterización de la luz producida. Uno de los instrumentos utilizados para realizar la caracterización, fue un analizador de espectros (marca HP modelo 70951A), mostrado en la figura 5.4, el cual tiene una capacidad de medición en longitud de onda de 600 a 1700 nm y una resolución de 0.08 nm. Este dispositivo cuenta con una tarjeta de interfase GPIB (*General Purpose Interface Bus*), para su control y adquisición de datos. Esto nos permitió la captura de datos en una computadora personal Pentium 4 de 2 GHz, por medio de una tarjeta GPIB marca National Instruments (*PCMIA -GPIB+*).

Para el manejo del analizador de espectros y la adquisición de los datos fue necesario utilizar un programa elaborado en MatLab, el programa contiene rutinas para el manejo del analizador de espectros, así como también la captura de datos.



**Figura 5.4** Analizador de espectro HP modelo 70915A.

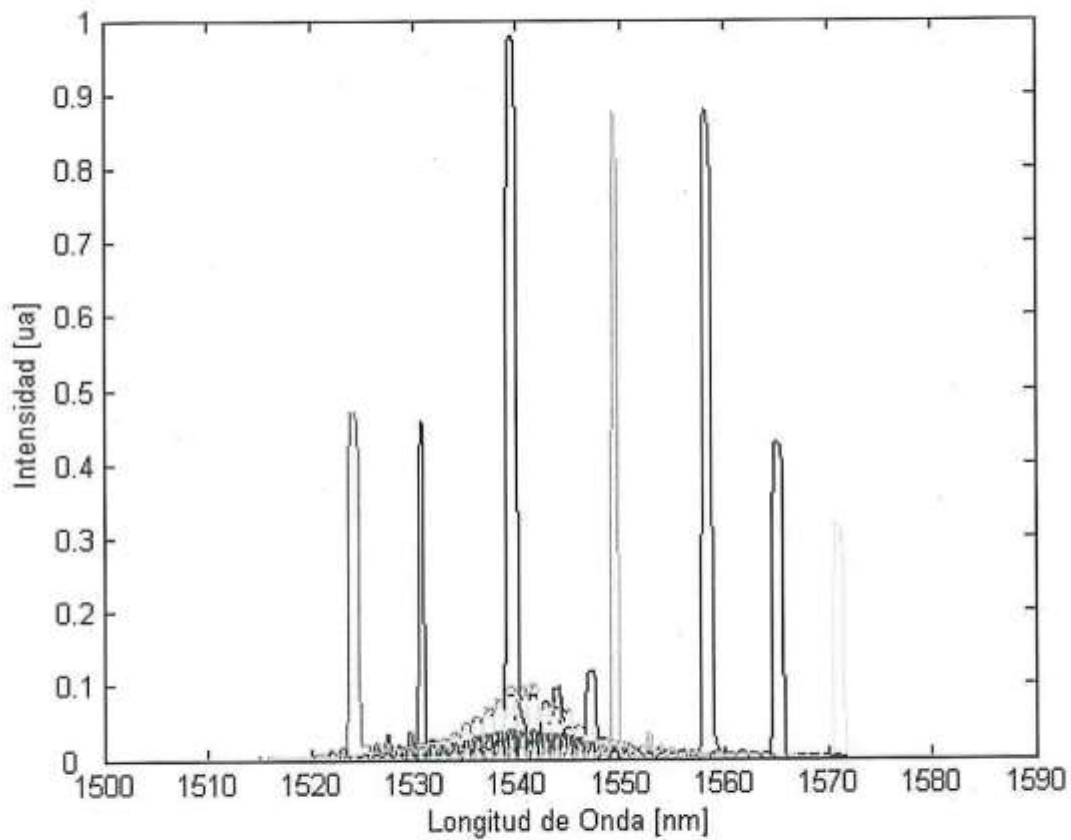
Para caracterizar la potencia de salida del haz de luz del diodo láser sintonizable, se utilizó un medidor de potencia marca Newport modelo 2832-C mostrado en la figura 5.5. El medidor de potencia utiliza una cabeza de detección de germanio, que es sensible a la luz con longitud de onda en el intervalo de 780 a 1700 nm. Se colocó el detector de germanio frente al haz de luz del diodo láser sintonizable, para medir la potencia de salida del diodo láser en las diferentes sintonizaciones realizadas.



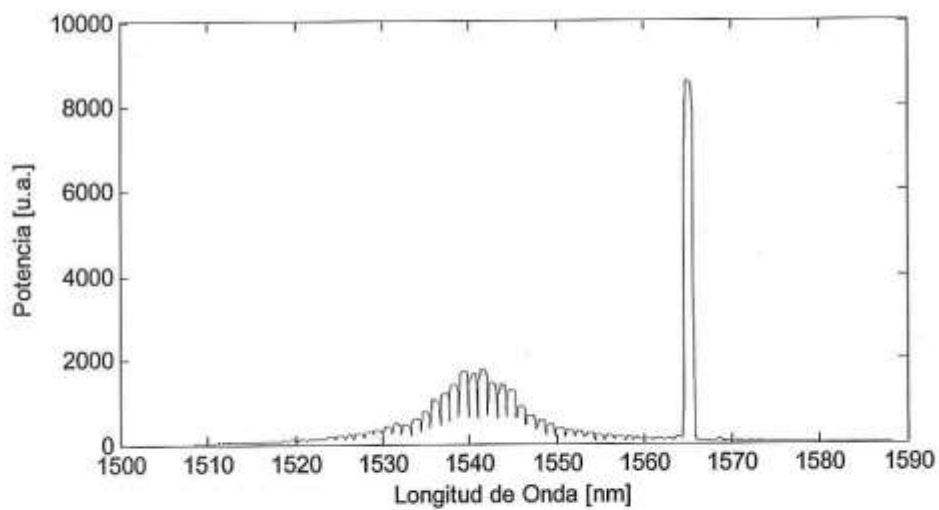
**Figura 5.5** Medidor de potencia Newport modelo 2832-C, con un detector de germanio para una longitud de onda alrededor de 1500 nm.

Se caracterizó el láser midiendo diferentes aspectos de la emisión: potencia de salida, espectro, para diferentes condiciones de sintonización. La figura 5.6 muestra el espectro de emisión para siete diferentes condiciones de sintonía.

La figura muestra una capacidad de barrido de la longitud de onda de 50 nm, yendo de los 1520 nm a 1570 nm. La figura muestra también que dependiendo de las condiciones de sintonía, existe una porción apreciable de la luz emitida a otras frecuencias, producto de la “fluorescencia” del láser.



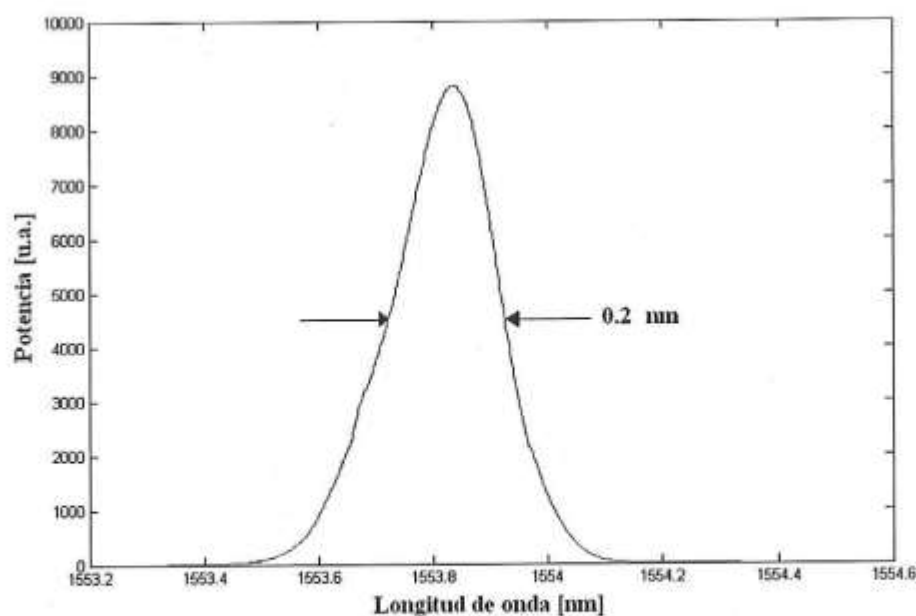
**Figura 5.6** Espectro de emisión del diodo láser de cavidad externa, con 7 diferentes sintonizaciones.



**Figura 5.7** Espectro de emisión del diodo, con un contraste de 1 : 45.

La figura 5.7 muestra el espectro de emisión cuando el láser fue sintonizado a 1565 nm, donde se ve claramente esta fluorescencia. El contraste entre la potencia de esta fluorescencia y la de la línea láser es de 1 : 45.

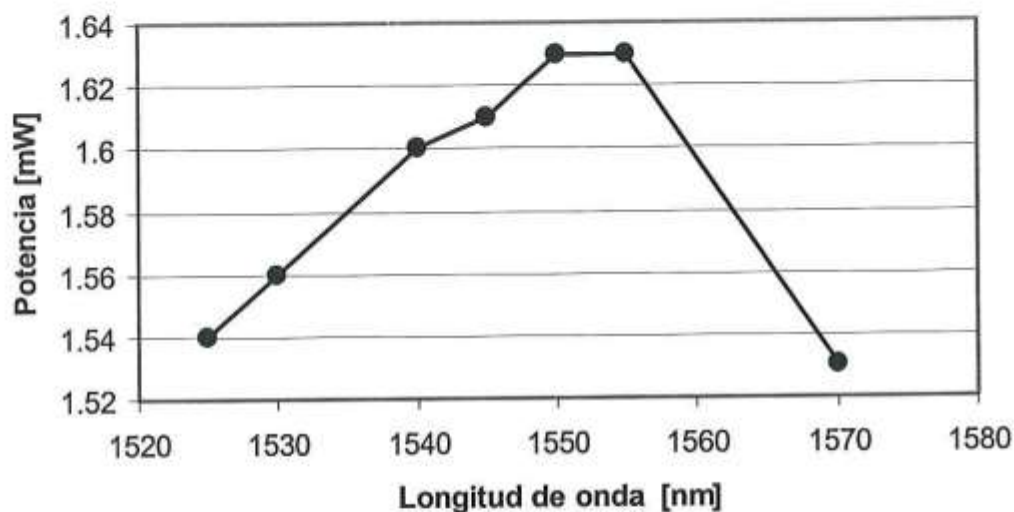
También se obtuvieron mediciones de la caracterización del ancho de línea del haz de luz emitido. La figura 5.8, muestra el espectro del láser medido con la máxima resolución del espectrómetro, que es de 0.08nm.



**Figura 5.8** Espectro de emisión del diodo con un ancho aproximado (FWHM) de 0.2 nm.

El ancho de línea medido es de 0.2 nm, pero dada la resolución del sistema, el ancho real de la línea debe ser aún menor.

Se midió también la potencia del láser a una corriente fija de 100 mA, para las diferentes condiciones de sintonía, los resultados se muestran en la figura 5.9. La potencia máxima en el centro del intervalo de sintonía fue de 1.63 mW, observándose que ésta decae hacia los extremos del intervalo.



**Figura 5.9** Potencia de emisión del diodo láser de cavidad externa para diferentes condiciones de sintonía, para una corriente fija de 100 mA.

Como ya se mencionó, la sintonía se realiza moviendo el micrómetro. Para operar el láser es por tanto deseable poder saber de antemano que longitud de onda corresponde a una posición del micrómetro dada. Esta calibración se llevo a cabo midiendo el espectro del láser para determinar la longitud de onda de emisión para cada posición del micrómetro. La figura 5.10 muestra el resultado de esta calibración, donde se ve que la longitud de onda es función aproximadamente lineal de la posición. La figura muestra también un ajuste lineal por mínimos avanzados, el que de por resultado la relación:

$$\lambda[\text{nm}] = 7.5539 \times \text{posición} [\text{mm}] + 1527. \quad (5.2)$$

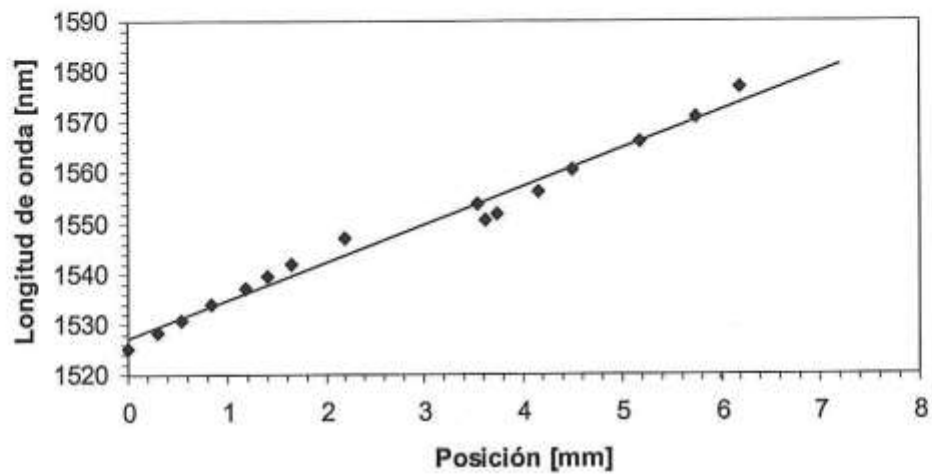


Figura 5.10 Calibración del micrómetro de sintonía.

## Capítulo VI

### Conclusiones

El trabajo consistió en el diseño, construcción y caracterización de una fuente de luz sintonizable, basada en un diodo láser de cavidad externa. La cavidad empleada es del tipo Littman-Metcalf, la potencia de salida máxima fue de 1.6 mW, y pudimos sintonizar el láser en el intervalo de 1520 a 1570 nm. El ancho de banda medido fué de 0.2 nm, que está limitado por la resolución de nuestro sistema de medición.

El láser construido es en general un instrumento confiable, en estabilidad y sintonización, para suplir las necesidades específicas dentro de los Laboratorios de Óptica de CICESE. El láser permitirá la realización de mediciones en diversos proyectos de investigación, así como también su utilización dentro del posgrado.

Para la construcción de este instrumento, fue necesario maquinar diferentes piezas mecánicas, mismas que se realizaron en los talleres de este centro de investigación. Las piezas mecánicas se acoplaron mecánicamente con los componentes ópticos, hasta obtener nuestra fuente de luz sintonizable, generando un ahorro de aproximadamente 70% del costo de un instrumento similar en el mercado.

En la sintonización del diodo láser se presentan saltos entre modos, lo que dificulta la obtención de una sintonización continua. Esto probablemente es consecuencia de una capa antirreflejante defectuosa, aunque también puede ser debido a problemas con la alineación de la cavidad. En cualquier caso hace falta investigar que es lo que realmente sucede.

Otro punto susceptible de mejorarse, es el pobre contraste observado entre la luz láser y la fluorescencia residual observada en los espectros de emisión. Esto tal vez se deba también a una pobre alineación de la cavidad.

## 6.1 Recomendaciones

Aunque el sistema construido funciona aceptablemente, es posible mejorar algunos aspectos de su operación, la presencia de saltos en la longitud de onda cuando se sintoniza el diodo probablemente puede evitarse a una mejor alineación del sistema.

De estar dañada la película antireflejante del diodo, el reemplazo de éste, permitirá obtener una mejor alineación de la fluorescencia y por lo tanto un mejor contraste en la emisión del diodo.

Algunas posibles mejoras son: Utilizar una fuente de corriente y un controlador de temperatura en forma de circuitos integrados, lo que permitirá bajar considerablemente el costo de esta fuente de luz sintonizable.

## Capítulo VII

### Referencias Bibliografías

A. Andalkar, S. K. Lamoreaux, R. B. Warrington. 1999. "External Cavity laser System for Cesium D1 (890nm)". Review of Scientific Instruments, volume 71, number 11, November 2000.

A.E. Siegman. 1999. "Laser Beams and Resonators: The 1960s". IEEE Journal of Special Topics in Quantum Electronics, Volume XX, No Y, pp100,108.

A.R. Awtry, M.E. Moses, and J.H. Miller. 1999. "Development of Enhanced Cavity Absorption for Air Monitoring". Pagina de Internet, Diciembre, 2002.  
([http://home.gwu.edu/%7Epositive/LACEA\\_final.PDF](http://home.gwu.edu/%7Epositive/LACEA_final.PDF)).

B. Boggs, C. Greiner, T Wang, H. Lin, T. W. Mossberg. 1998. "Simple high-coherence rapidly tunable external-cavity diode laser. Optics Letters. Volume 23, number 24, pp1906, 1908.

B. Chann, I. Nelson, and T. G. Walker. 1999. "Frequency-Narrowed External Cavity Diode Laser Array Bar". Pagina de Internet, Diciembre, 2002.  
(<http://www-atoms.physics.wisc.edu/papers/diodearray.pdf>).

C. Greiner, B. Boggs, T. Wang, T. W. Mossberg. 1998. "Laser frequency stabilization by means of optical self-heterodyne beat-frequency control". Optics Letters Volume. 23, No.16, pp1280, 1282.

C. J. Hawthorn, K. P. Weber, and R. E. Scholten. 2001 "Littrow configuration tunable external cavity diode laser with fixed direction output beam". *Review of Scientific Instruments*, Volume 72, number 12, pp4477, 4479.

Emilie T. Soisson and George A. Ruff. 1996. "Practical cavity designs for tunable diode lasers used in atom trapping experiments". Pagina de Internet, Diciembre, 2002.  
(<http://abacus.bates.edu/~gruff/trap03.html>).

G. Souhaité, R. Blondeau, S. Delépine, O. Pellegrini, E. Vassilakis, M. Stellmacher, P. Graindorge, P. Martin. 1998. "16 channels, switchable external cavity-based multi-wavelength laser for DWDM applications". Pagina de Internet, Diciembre, 2002.  
([http://www.nettest.com/upload/articleswics\\_ecoc01.pdf#search='G.%20Souhait%C3%A9%2C%20R.%20Blondeau%2C%20S.%20Del%C3%A9pine%2C%20O.%20Pellegrini%2C%20E.%20Vassilakis%2C%20M.%20Stellmacher%2C%20P.%20Graindorge%2C%20P.%20Martin.'](http://www.nettest.com/upload/articleswics_ecoc01.pdf#search='G.%20Souhait%C3%A9%2C%20R.%20Blondeau%2C%20S.%20Del%C3%A9pine%2C%20O.%20Pellegrini%2C%20E.%20Vassilakis%2C%20M.%20Stellmacher%2C%20P.%20Graindorge%2C%20P.%20Martin.')).

Jill D. Berger, Yongwei Zhang, John D. Grade, Howard Lee, Stephen Hrinya, Hal Jerman. 2000. "Widely tunable external cavity diode laser based on a MEMS electrostatic rotary actuator". Optical Society of America. OCIS code 140.3600, lasers tunable; 230.3990m devices.

K. C. Harvey and C. J. Myatt. 1991. "External-cavity diode laser using a grazing-incidence diffraction grating". *Optics Letters*. Volume 16, number 12, pp910, 912.

---

## Capítulo VII

### Referencias Bibliográficas

Karen Liu and Michael G. Littman. 1981. "Novel geometry for single-mode scanning of tunable lasers". *Optics Letters*. Volume. 6, No. 3, pp 117, 118.

L.D. Turner, K.P. Weber, C.J. Hawthorn, R.E. Scholten. 2002. "Frequency noise characterization of narrow line width diode lasers". *Optics Communications*. Volume 201, pp 391, 397.

L. S. Meng, K. S. Repasky, P. A. Roos, J. L. Carlsten. 2000. "Widely tunable continuous-wave raman laser in diatomic hydrogen pumped by an external-cavity diode laser". *Optics Letters*. Volume 25, number 7, pp 472, 474.

R. S. Conroy, A. Carleton, A. Carruthers, B. D. Sinclair, C. F. Rae, and K. Dholakia. 2000. "A visible extended cavity diode laser for the undergraduate laboratory". *American Association of Physics Teachers*. Volume 68, number 10, pp 925, 931.

Sacher Lásertechnik, Pagina de Internet del fabricante Diciembre, 2005.  
(<http://data.sacher-laser.com/techdocs/PoDL.pdf>).

S.B. Bayram and T.E. Chupp. 2002. "Operation of single mode external cavity laser diode array near 780nm". *Review of Scientific Instruments*. Volume 73, No.12, pp 4169, 4171.

Manuel Fernández G. y Raúl Rangel R. 1990. "Diseño y construcción de láseres de pigmento". *Revista Mexicana de Física* 36 No. 1(1990), pp 118, 130.

---

## Capítulo VII

### Referencias Bibliografías

Michael G. Littman and Harold J. Metcalf. 1978. "Spectrally narrow pulsed dye laser without beam expander". *Applied Optics*, Volume 17, number 14, pp 2224, 2227.

Tim Day, I-Fan Wu, Bill Chapman, and Greg Feller. 1998 "Room-temperature external-cavity diode lasers at 2.0  $\mu\text{m}$ ". Pagina de Internet, Diciembre, 2002.

(<http://www.nasatech.com/Briefs/Jun98/0698PTB3.html>).

Timothy Day, Michael F. Brownell, I.-Fan Wu. 1995. "Widely tunable external cavity diode lasers". *SPIE*. Volume 2378, pp 35, 41.

Tai Hyun Yoon, Cheon Eom, Myug Sai Chung, Hong Jin Kong. 1999. "Diffractometric methods for absolute measurement of diffraction-grating spacings". *Optics Letters*, Volume 24, number 2, pp 107, 109.

Zoltán Bozóki, János Sneider, Zoltán Gingl, Árpád Mohácsi, Milkłòs Szakall, Zsolt Bor, Gábor Zsabò. 1999. "A high-sensitivity, near-infrared tunable-diode-laser-based photoacoustic water-vapour-detection system for automated operation". *Measurement Science Technology*, Volume 10 (1999), pp 999, 1003.

---

## Capítulo VII

### Referencias Bibliografías