

Salamanca, Gto., a 5 de Abril del 2017.

DR. DONATO HERNÁNDEZ FUSILIER
COORDINADOR DE ASUNTOS ESCOLARES
PRESENTE.

Por medio de la presente, se otorga autorización para proceder a los trámites de impresión, empastado de tesis y titulación al alumno(a) José Alejandro Montero Orey del Programa de Licenciatura en Ingeniería en comunicaciones y electrónica y cuyo número de NUA es: 386433 del cual soy director. El título de la tesis es: "Dispositivo automatizado de presión para inducir rejillas de penodo largo mecánicas en fibra óptica"

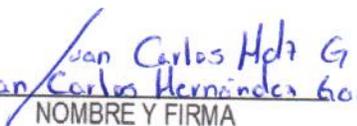
Hago constar que he revisado dicho trabajo y he tenido comunicación con los sinodales asignados para la revisión de la tesis, por lo que no hay impedimento alguno para fijar la fecha de examen de titulación.

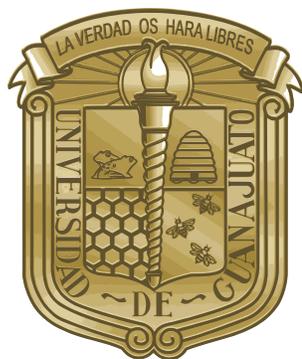
ATENTAMENTE


Julián Moisés Estudillo Agala
NOMBRE Y FIRMA
DIRECTOR DE TESIS
SECRETARIO


P. A. Julián M. Estudillo Agala
NOMBRE Y FIRMA
DIRECTOR DE TESIS


Edgar Alvarado Méndez
NOMBRE Y FIRMA
PRESIDENTE


Juan Carlos Hernández García
NOMBRE Y FIRMA
VOCAL



UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

CAMPUS IRAPUATO - SALAMANCA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS

Dispositivo automatizado de presión para
inducir rejillas de periodo largo mecánicas en
fibra óptica

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el título de:
Ingeniero en comunicaciones y electrónica

PRESENTA:

José Alejandro Montenegro Orenday

DIRECTORES:

Dr. Julián Moisés Estudillo Ayala
M.I. Miguel Pérez Maciel

SALAMANCA, GTO

ABRIL 2017

DEDICATORIAS

A mis papás J. Montenegro y L. Orenday, a mi hermano Ricardo, todos mis familiares que están y ya no, en especial a mi abuelita NENA y a TATO

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mi familia que siempre me ha apoyado en todo momento y en toda decisión, mis padres José y Laura, a mi hermano Ricardo, sé que, aunque no siempre estemos los cuatro en el mismo lugar no estaremos solos.

Gracias a todos mis tíos ya que los considero como mis padres y a mis primos que son mis otros hermanos por siempre estar como apoyo en cualquier situación, pertenecemos a una gran familia con unas excelentes abuelas y probablemente igual a mis abuelos, los cuales no conocí, pero lo creo ya que los aceptaron grandes mujeres.

Gracias a todos mis amigos (Israel, Fátima, los ROKERS, BERENIXES, los cuadernos, Julio, Roker, Rubens, etc..) que han sido parte importante en estos años de estudio y que sin ellos todo en esta vida sería muy difícil de conllevar, que he pasado cada aventura y cada momento invaluable que han dado valía a esta vida y probablemente la otra.

Daniel Tejada, Don chuy del taller mecánico por ayudarme en la cuestión de desarrollo del dispositivo.

Gracias a todos mis maestros ya que de todos he aprendido, mis compañeros de salón, compañeros y amigos de laboratorio de Optoelectrónica (Migue, Yane o Naye, Paquito, Filo, Samano, Bere), en especial al Dr. Julián Moisés Estudillo Ayala que me dio la oportunidad de trabajar con él en el laboratorio, que pude realizar trabajo de investigación y encontrar un camino que quiero seguir, por aceptarme como su asesorado y por este proyecto para titularme, siempre le estaré agradecido y espero seguir contando con su apoyo y su amistad a través de donde nos conduzca esta vida.

Gracias a todas las personas que se me han presentado en el camino, Alejandro.

A la División de Ingenierías Campus Irapuato Salamanca de la Universidad de Guanajuato.



Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT por la beca otorgada del proyecto No. 166361, Estudio de las no linealidades en fibras de cristal fotónico para la obtención de fuentes de luz de amplio espectro y propagación de pulsos de alta energía.



A la Coordinación Nacional de Becas de Educación Superior (CNBES), dependiente de la Subsecretaría de Educación Superior por el programa BECA O APOYO PARA LA TITULACION PARA LA EDUCACION SUPERIOR -2015



INDICE

Capítulo I

Introducción General

1.1 Introducción	1
1.2 Objetivo	1
1.3 Antecedentes	1
1.4 Justificación	3
1.5 Organización del trabajo	3

Capítulo II

Marco Teórico

2.1 Fibra Óptica	5
2.2 Propagación de la luz en la Fibra Óptica	6
2.2.1 Índice de refracción	6
2.2.2 Reflexión total interna	6
2.3 Modos de propagación	7
2.3.1 Fibras monomodo	8
2.3.2 Fibras multimodo	9
2.4 Rejillas en la Fibra Óptica	9
2.4.1 Rejillas de Período Corto	9
2.4.2 Rejillas de Período Largo	11
2.4.2.1 Rejillas Período Largo-permanentes	12
2.4.2.2 Rejillas de Período Largo-temporales	12
2.5 Rejillas de periodo largo mecánicas	13
2.5.1 Birrefringencia por presión mecánica	14
2.5.2 Acoplamiento de modos en el revestimiento	14
2.6 Aplicaciones de Rejillas de Período Largo Mecánicas	15
2.6.1 Laser de fibra óptica Sintonizable	15

Capitulo III

Desarrollo

3.1 Motor a pasos	17
3.1.1 Motores Unipolares y Bipolares	18
3.1.2 Secuencia de control de motores	18
3.2 Pingüino	20
3.2.1 Control de motor unipolar con pingüino	20
3.3 Otros dispositivos	22
3.4 Circuito total del dispositivo	23
3.5 Programación	24
3.6 Dispositivo de presión	27

Capítulo IV

Resultados de Caracterización

4.1 Arreglo experimental	32
4.2 Caracterizaciones	33
4.2.1 Primera prueba: Caracterización de rejillas	34
4.2.1.1 Rejilla A (periodo de rejilla de 0.42 mm).....	35
4.2.1.2 Rejilla B (periodo de rejilla de 0.4 mm).....	36
4.2.1.3 Rejilla C (periodo de rejilla de 0.44 mm).....	37
4.2.1.4 Rejilla E (periodo de rejilla de 0.4 mm).....	38
4.2.1.5 Rejilla F (periodo de rejilla de 0.56 mm).....	39
4.2.1.6 Rejilla G (periodo de rejilla de 0.4 mm).....	40
4.2.2 Segunda prueba: Torsión en la fibra óptica	41
4.2.3 Tercer prueba: Cambio de posición de la fibra óptica en la rejilla mecánica	44

Capítulo V

Resultados de Aplicación

5.1 Arreglos de aplicación	46
5.2 Láser sintonizable	47
5.2.1 Sintonización con Rejilla A (periodo de rejilla de 0.42 mm)	48
5.2.1.1 Diferente posición en Rejilla A (periodo de rejilla de 0.42 mm).....	49
5.2.2 Sintonización con Rejilla F (periodo de rejilla de 0.56 mm)	51
5.2.3 Sintonización con Rejilla C (periodo de rejilla de 0.44 mm)	53
5.2.3.1 Láser con curvatura	55
5.2.4 Estabilidad.....	57
5.2.4.1 Estabilidad sin dispositivo.....	57
5.2.4.2 Estabilidad con dispositivo desconectado.....	58
5.2.4.3 Estabilidad con dispositivo conectado	59
5.3 Polarización en arreglo de laser de fibra óptica	60
5.3.1 Prueba con rejilla C (periodo de rejilla de 0.44 mm)	60
5.3.2 Prueba con rejilla E (periodo de rejilla de 0.4 mm).....	61

Capítulo VI

Conclusiones, Futuro y Bibliografía

6.1 Conclusiones	63
6.2 Mejoras a futuro	63
6.3 Artículos publicados.....	64
6.4 Participación en congresos.....	64
6.5 Bibliografía.....	65

Índice de figuras

Figura 1.1.- Ejemplos de diferentes Rejillas de Periodo Largo Mecánicas.	2
Figura 1.2.- Dispositivo utilizado trabajo de tesis de Miguel Pérez Maciel [10].	3
Figura 2.1.- Esquema de una fibra óptica estándar.	5
Figura 2.2.- Angulo crítico y Reflexión total interna dentro de la fibra óptica.	7
Figura 2.3.- Fibra Óptica Monomodo.	8
Figura 2.4.- Fibra Óptica Multimodo.	9
Figura 2.5.- Representación Rejilla de Bragg.	10
Figura 2.6.- Espectro reflejado y transmitido con rejilla de Bragg.	11
Figura 2.7.- Grabado de rejillas permanentes.	12
Figura 2.8.- Grabado temporal de rejillas.	13
Figura 2.9.- Figura tomada de trabajo de tesis de maestría [10].	16
Figura 3.1.- Fotografía del motor utilizado en el dispositivo.	17
Figura 3.2.- Tarjeta PINGUINO PIC18F45K50.	20
Figura 3.3.- Empaquetado de Transistores Darlington [42].	21
Figura 3.4.- Puente entre ULN2803APG (p1 con p1, p2 con p2, ..., p16 con p16). ...	21
Figura 3.5.- Sistema de control del motor paso a pasos.	22
Figura 3.6.- Diagrama de circuito de sensor infrarrojo.	23
Figura 3.7.- Circuito para control de dispositivo de presión.	24
Figura 3.8.- Diagrama de la programación del dispositivo de presión.	26
Figura 3.9.- a) Estructura de aluminio 5 paredes.	
b) Estructura de aluminio paredes laterales ranuradas y rejilla mecánica.	27
Figura 3.10.- a) Adaptación del motor y perforaciones para los dos postes.	
b) Adaptación de los postes.	28
Figura 3.11.- a) Adaptación del eje del motor y perforación en la placa superior de los postes. b) Adaptación de tornillo para control de posición vertical. ...	28
Figura 3.12.- Fotografía de dispositivo de presión conectado a tarjeta pingüino y rejillas mecánicas.	29
Figura 3.13.-a) Fotografía de acomodo de sensor de presencia.	
b) Fotografía de ajuste de diodos receptores.	30
Figura 3.14.- Fotografía lateral del dispositivo, marcadas cada 0.5 cm.	30
Figura 3.15.- Dispositivo versión final con tornillo milimétrico grueso.	31
Figura 4.1.- Diagrama de arreglo experimental.	32
Figura 4.2.- Esquema de Rejilla Mecánica.	33
Figura 4.3.- Rejillas de periodo largo mecánicas.	34
Figura 4.4.- Características del espectro resultante.	34
Figura 4.5.- Espectro resultante de la rejilla A.	35
Figura 4.6.- Espectro de rejilla B a) Ajuste normal,	
b) Ajuste con cinta adhesiva doble cara.	36
Figura 4.7.- Espectro de Rejilla C.	37
Figura 4.8.- Espectro de Rejilla E.	38

Figura 4.9.- Espectro de Rejilla F.....	39
Figura 4.10.- Espectro de Rejilla G.	40
Figura 4.11.- Arreglo con sujetadores de fibra óptica para ejercer torsión.	41
Figura 4.12.- Aplicando torsión con Rejilla A en todo el espectro.	42
Figura 4.13.- Arreglo con dos sujetadores extra.	43
Figura 4.14.- a) Rejilla mecánica y la graduación que se le asigno. b) Dispositivo visto de frente y a sus lados una representación los laterales y como fue graduado.	44
Figura 4.15.- Espectro con diferente posición en la rejilla C.	45
Figura 5.1.- Esquema de Láser Sintonizable.	46
Figura 5.2.- Arreglo de láser sintonizable monitoreando la polarización.....	47
Figura 5.3.- Sintonización del láser con rejilla A.	48
Figura 5.4.- Sintonización con diferentes posiciones en la Rejilla A.	49
Figura 5.5.- Corrimiento derecha del resultado máximo “F”.	49
Figura 5.6.- Corrimiento izquierda del resultado máximo “F”.	50
Figura 5.7.- Láser sintonizable con Rejilla F.	51
Figura 5.8.- Láser sintonizable de Rejilla F al retirar presión.	52
Figura 5.9.- Respuesta de presión, línea azul aplicando y línea roja retirando presión...	53
Figura 5.10.- a) Control polarización 90°, b) Control polarización usado para figura 5.11.	53
Figura 5.11.- Resultados de sintonización con Rejilla C.	54
Figura 5.12.- Respuesta de presión y longitud de onda resultante.	54
Figura 5.13.- Esquema de láser sintonizable con sujetadores para curvatura.	55
Figura 5.14.- Láser sintonizable con Rejilla C y curvatura.	56
Figura 5.15.- Comparación de referencias, máximos con curvatura y sin curvatura.	56
Figura 5.16.- Estabilidad del láser de fibra óptica.	57
Figura 5.17.- Estabilidad del láser de fibra óptica aplicando presión con el dispositivo desconectado.	58
Figura 5.18.- Estabilidad del láser de fibra óptica aplicando presión con el dispositivo conectado.	59
Figura 5.19.- Polarización circular prueba con rejilla C.	60
Figura 5.20.- Polarización lineal prueba con rejilla C.....	61
Figura 5.21.- Polarización lineal prueba con rejilla E.....	62

Índice de tablas

Tabla 3.1.- Secuencia control de motores paso a paso Bipolar.	18
Tabla 3.2.- Secuencia control de motores paso a paso Unipolar Normal.	19
Tabla 3.3.- Secuencia control de motores paso a paso Unipolar Wave drive.	19
Tabla 3.4.- Secuencia control de motores paso a paso Unipolar Medio paso.	19
Tabla 4.1.- Dimensiones de las diferentes rejillas mecánicas utilizadas en el presente trabajo.	33
Tabla 4.2.- Datos de figura 4.5.	35
Tabla 4.3.- Datos de figura 4.6.	36
Tabla 4.4.- Datos de la figura 4.7.	37
Tabla 4.5.- Datos de la figura 4.8.	38
Tabla 4.6.- Datos de rejilla 4.9.	39
Tabla 4.7.- Datos de la figura 4.10.	40
Tabla 4.8.- Primer pico de atenuación de la figura 4.12.	42
Tabla 4.9.- Segundo pico de atenuación de la figura 4.12.	43
Tabla 4.10.- Datos de figura 4.15.	45
Tabla 5.1.- Datos de figura 5.3.	48
Tabla 5.2.- Datos de figura 5.5.	50
Tabla 5.3.- Datos de figura 5.6.	50
Tabla 5.4.- Datos de figura 5.7.	51
Tabla 5.5.- Datos de figura 5.8.	52
Tabla 5.6.- Datos de la figura 5.11.	54
Tabla 5.7.- Datos de la figura 5.15.	57

“Un científico es un hombre tan endeble y humano como cualquiera; sin embargo, la búsqueda científica puede ennoblecerle, incluso en contra de su voluntad.”

Asimov, Isaac.

Capítulo I

Introducción General

1.1 Introducción

La fibra óptica ha sido tema de estudio a partir de su desarrollo, de sus primeras pruebas han surgido técnicas interesantes en aplicaciones como son: en telecomunicaciones [1], rejillas de fibra óptica [2], multiplexor de división de longitud de onda (WDM) [3], láseres de fibra óptica [4], láseres sintonizables de fibra óptica [5], etc.

El presente trabajo de tesis, es aplicado al tema sobre rejillas en fibra óptica y eligiendo en particular un tipo específico de éstas, el cual es, rejillas de periodo largo mecánicas. El motivo por el que se eligió este método, es el bajo costo que puede llegar a representar tanto como en sensores o en un sistema de láser sintonizable.

El enfoque principal del trabajo es la realización de un dispositivo de presión (automatizado), ya que en trabajos anteriores se han realizado de forma manual, obteniendo resultados diferentes en intentos de repetición.

Una vez implementado el dispositivo de presión se prosiguió a caracterizar el dispositivo con las diferentes rejillas mecánicas a disposición, ya que se necesita tener un parámetro de referencia para aplicar a experimentos posteriores y tener un control de las variables involucradas. Para finalizar, el dispositivo fue implementado en un arreglo láser de fibra óptica, con el fin de sintonizar la longitud de onda resultante en el arreglo.

1.2 Objetivo

El presente trabajo se enfoca en el diseño e implementación de un dispositivo de presión automatizado, con el fin de generar la técnica denominada rejillas de periodo largo mecánicas en la fibra óptica. Este dispositivo ejerce un control de presión buscando tener filtros temporales para diseño de algún sensor o sintonización de un láser de fibra óptica, esto conlleva a un sistema de bajo costo, a comparación de, por ejemplo, rejillas de Bragg.

1.3 Antecedentes

Las rejillas de fibra óptica son dispositivos que se fabrican en la fibra óptica, a grandes rasgos esta técnica tiene la función de atenuar o filtrar ciertas longitudes de onda.

Una de las técnicas de fabricación de Rejillas de periodo largo, son las conocidas como “Rejillas de Periodo Largo Mecánicas”. El principio de operación es conocido desde los 80’s. Los esquemas experimentales propuestos no difieren mucho entre sí, como se muestra a continuación trabajos que se encuentran en la literatura.

La fibra es colocada en medio de dos placas y se aplica presión. Todos los diferentes esquemas para grabar por medios mecánicos tienen en común que no es necesario retirar el recubrimiento de polímero para poder grabar la rejilla (figura 1.1 a) [6].

En otro trabajo experimental se han utilizado dos placas de aluminio idénticas de 24x70x25mm que tienen ranuras rectangulares de 306 μm de profundidad, repetición de rejillas de 60-40 y un período de 470 μm . Un sistema de carga ejerce localmente una presión controlada en bloques y por lo tanto, las ranuras inducen una deformación de microflexión en la fibra. También el sistema nos permite ajustar el periodo de red a valores más altos, cambiando el ángulo entre el eje de la fibra y ranuras (figura 1.1 b) [7].

Existen trabajos donde se modifican un poco las condiciones, por ejemplo, las placas con ranuras rectangulares solo se desplazan un poco una de otra y quedan las ranuras encontradas con los rectángulos de la placa contraria. Para este sistema la presión sobre la fibra es inducida a través de la colocación de cilindros de metal con diferentes pesos en la placa (figura 1.1 c) [8].

Entre otros trabajos se puede destacar la existencia de experimentos donde se utilizó cuerda nylon con un sistema de poleas para enrollar la fibra óptica a un tubo de latón con ranuras y generando con esto las rejillas mecánicas [9].

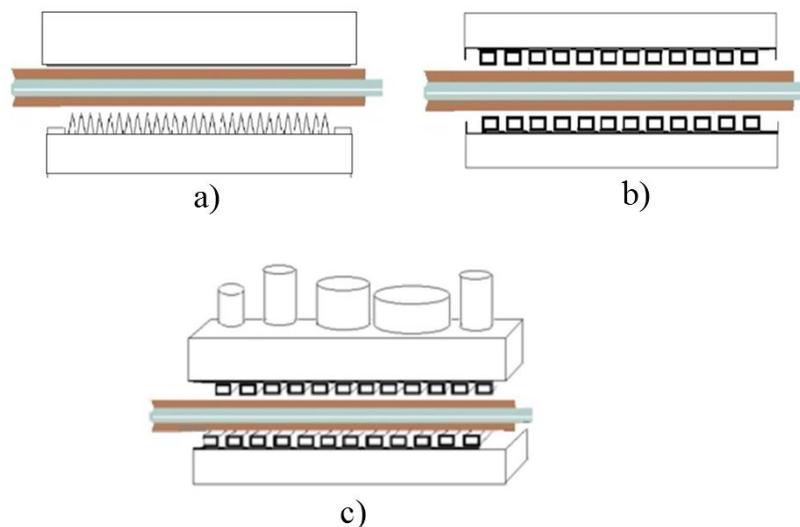


Figura 1.1.- Ejemplos de diferentes Rejillas de Periodo Largo Mecánicas.

A continuación, se muestra el antecedente directo del dispositivo de presión que se desarrolla en este trabajo.

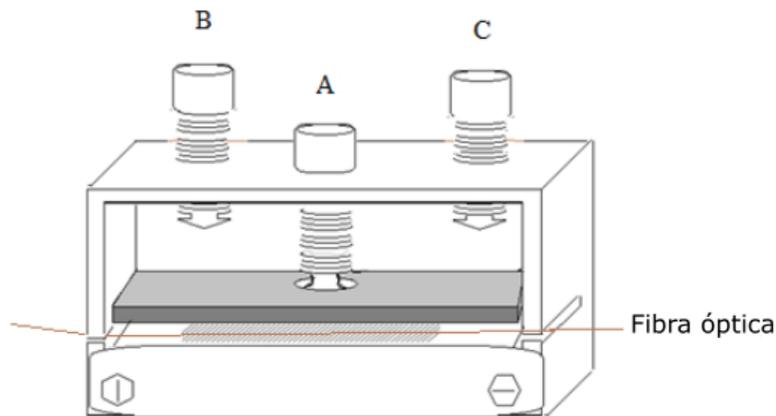


Figura 1.2.- Dispositivo utilizado trabajo de tesis de Miguel Pérez Maciel [10].

En la figura 1.2 se puede observar una estructura por la que atraviesa la fibra óptica, en la parte interior se encuentra una placa de color gris (la placa que ejerce la presión), y en la parte inferior una placa con ranuras. La placa que ejerce la presión asciende y desciende con ayuda del tornillo A el cual también ejerce la función de fijar la placa en la posición indicada y con las paredes de la estructura evita movimientos no deseados. Los tornillos B y C aplican la presión en las dos partes de la placa cuando esta se encuentra tendida sobre la fibra, los dos tornillos se controlaban con ayuda de un torquímetro de la marca CEDAR modelo DID-4.

1.4 Justificación

Se han realizado diversos trabajos respecto a las rejillas de periodo largo mecánicas, automatizar esta técnica permite diversos trabajos de investigación con mayor control y a su vez diversas aplicaciones.

1.5 Organización del trabajo

Este trabajo está dividido en seis capítulos, los cuales explican con detalle el desarrollo del presente trabajo de tesis:

Capítulo I

Introducción General. - Abarca una introducción del trabajo, el objetivo principal y antecedentes del trabajo.

Capítulo II

Marco Teórico. - Este capítulo con referencia a la literatura, explica lo que es una fibra óptica, las técnicas que se pueden aplicar como las rejillas de fibra óptica y las aplicaciones. Menciona las bases teóricas que se presentan en los experimentos realizados, sin embargo, no profundiza mucho en los temas ya que no es el objetivo principal del trabajo presentado.

Capítulo III

Desarrollo. - En esta sección se encuentra la teoría de los componentes electrónicos como motores, microcontroladores, tarjetas de diseño entre otros, para la realización del dispositivo.

Se describe la construcción del dispositivo de presión, la instrumentación de este mismo junto a la programación de una tarjeta de experimentación a un sistema de control de motores a pasos.

Capítulo IV

Resultados de Caracterización. - Se prosiguió con la caracterización del dispositivo a la par con las rejillas mecánicas con las que se cuentan, con el control de presión, esto con el fin de tener un parámetro de trabajo y saber la presión que se puede ejercer teniendo mayor control en futuras aplicaciones.

Capítulo V

Resultados de Aplicación. - En este capítulo se muestra la forma en que se adaptó el dispositivo de presión, tanto como los resultados, en un arreglo de laser de fibra óptica, realizado con el fin de generar la sintonización de la longitud de onda del láser. Se hace mención en esta misma sección, se da la aplicación con la experimentación de polarización en el mismo arreglo que el láser sintonizable.

Capítulo VI

Conclusiones, Futuro y Bibliografía. - Se comenta el desarrollo en general y el resultado final del dispositivo de presión, los resultados que se obtuvieron, en un subtema de este capítulo se ha mencionado ciertos puntos de mejora del dispositivo en un futuro.

Capítulo II

Marco Teórico

Este capítulo abarca los conceptos teóricos pertinentes para entender los aspectos fundamentales de este trabajo de tesis.

2.1 Fibra Óptica

Posterior a las primeras apariciones del LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), En 1966 surgió la propuesta de utilizar una guía óptica para la comunicación [11]. A partir de esta necesidad fue como comenzaron las primeras fabricaciones de la fibra óptica.

La fibra óptica es un filamento transparente y flexible generalmente fabricado a partir de un tipo de vidrio llamado sílice (SiO_2) que forma el núcleo de la misma y está cubierto con una estructura que sirve para atrapar la luz y se denomina revestimiento [12].

La fibra óptica es la estructura compuesta de dos cilindros concéntricos: Núcleo y Revestimiento. Donde el índice de refracción del núcleo es mayor que el del revestimiento logrando, con la diferencia del índice de refracción, el principio de reflexión total interna. Una parte importante de la estructura de la fibra es una protección plástica. Se muestra a continuación una imagen en la figura 2.1 que representa una fibra óptica.

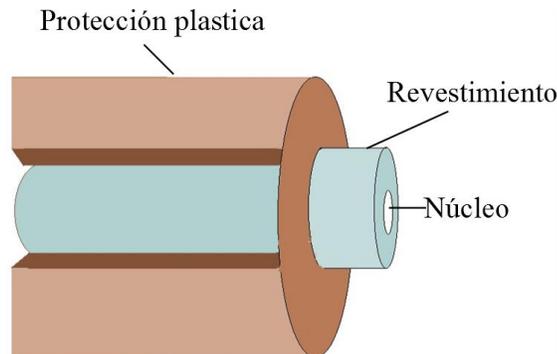


Figura 2.1.- Esquema de una fibra óptica estándar.

Existen muchas fibras ópticas diferentes en la forma de fabricación, inclusive en los materiales para su fabricación, ya que pueden ser plásticas o de vidrio.

2.2 Propagación de la luz en la Fibra Óptica

La propagación de la luz en la fibra óptica se obtiene alineando una fuente de luz al núcleo de una fibra óptica. En este sencillo paso se tiene a considerar fenómenos físicos muy complejos, en esta sección se hace mención de algunos de estos.

2.2.1 Índice de refracción

La luz trata de un movimiento ondulatorio transversal de dos campos vectoriales uno eléctrico y otro magnético, variando con el tiempo, se acepta que la luz es una onda que viaja en el vacío con una velocidad dada por [13]:

$$c \approx 3 \times 10^8 \text{ m/seg}$$

Dependiendo del material en el que se esté propagando la luz, es la variación que sufre la velocidad de la luz en el medio “ v ”.

Un parámetro importante relacionando con la velocidad a la que se propaga la luz en un material es el índice de refracción (n). El índice de refracción es una cantidad adimensional, y en general es mayor que la unidad, que se define como [14]:

$$n = \frac{c}{v}$$

Donde:

c : Velocidad de la luz en el vacío.

v : Velocidad de la luz en el medio.

En trabajos con la fibra óptica se tiene mucho a consideración este índice de refracción esto por la construcción de la fibra y de los materiales empleados en ésta. Uno de los aspectos que se considera con las características de este valor, es en el desarrollo de sensores con fibra óptica.

2.2.2 Reflexión total interna

El valor del índice de refracción del núcleo n_1 es más alto que el del revestimiento n_2 . Entonces el haz de luz que es acoplado en un extremo de la guía de onda es confinado en el núcleo por el fenómeno de reflexión total interna [15].

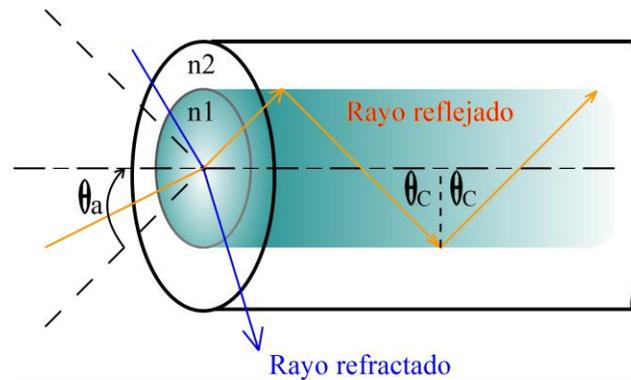


Figura 2.2.- Ángulo crítico y Reflexión total interna dentro de la fibra óptica.

Para tener el principio de reflexión total interna en la fibra, es necesario tener en consideración un margen de incidencia en el cual la luz no se refracte, a este ángulo máximo se le conoce como ángulo de aceptación θ_a .

$$\theta_a = \text{sen}^{-1} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

La capacidad que tiene de reunir luz en el interior la fibra óptica, se le conoce como apertura numérica. Las fibras ópticas solo transmitirán luz que entre en un ángulo igual o menor que el ángulo de aceptación [16].

$$AN = \text{sen}\theta_a$$

Donde AN= apertura numérica (adimensional).

La reflexión total interna en la fibra óptica solo se produce cuando el ángulo en que la luz incide, es mayor a cierto valor crítico, el ángulo en que incide la luz en el interior de la fibra, tiene que ser muy amplio para reflejarse. El ángulo de incidencia para la reflexión tiene que ser mayor al ángulo crítico θ_c .

Partiendo de la Ley de Snell se obtiene una relación entre el ángulo crítico y los índices de refracción del núcleo n_1 y el revestimiento n_2 , como se muestra en la siguiente ecuación [17]:

$$\theta_c = \text{sen}^{-1} \frac{n_2}{n_1}$$

2.3 Modos de propagación

La trayectoria que sigue la luz en la fibra óptica, tanto en el núcleo como en el revestimiento se le conoce como Modos de propagación. Una definición formal es:

Los modos son la distribución arbitraria del campo eléctrico de forma longitudinal o transversal que permanece estacionaria mientras no se den interacciones adicionales [18]. Un

modo en una fibra óptica es el resultado a resolver las ecuaciones de Maxwell y encontrar las componentes de los campos magnéticos y eléctricos o híbridos

En una fibra óptica, hay tres tipos de modos: los guiados, los radiados y los fugados. Los modos guiados, son aquellos que están confinados en el núcleo y además pueden ser transmitidos por la fibra. Los modos radiados no están confinados en el núcleo, pero si en el revestimiento y dadas sus características de propagación, se atenuarán rápidamente al salir del núcleo. Los modos fugados (o en fuga) son aquellos que igualmente no están confinados en el núcleo, pero tampoco por el revestimiento [19].

Una de las clasificaciones que puede tener la fibra óptica es si solo se propaga un modo en ella o varios a lo que se define como: Fibras Ópticas Monomodo y Multimodo.

Existe un parámetro que determina el número de modos soportado por la fibra, el parámetro V definido por la ecuación:

$$V = K_0 a \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)}$$

Donde $K_0 = \frac{2\pi}{\lambda}$, a es el radio del núcleo, y λ es la longitud de onda de la luz [20]. Como ya se había mencionado con anterioridad n_1 es el índice de refracción del núcleo y n_2 del revestimiento de la fibra. Esta condición se da para fibras de fabricación estándar.

Este parámetro sirve para identificar las longitudes de onda que una fibra óptica puede comportarse como monomodo o multimodo, ya que estas mismas pueden cambiar una por otra si no se cumple este parámetro.

2.3.1 Fibras monomodo

En el interior de estas fibras solo se propaga un modo a lo largo de estas, esto es debido a que el núcleo de la fibra es de dimensiones en orden de micras. La dispersión de modos o dispersión modal es muy baja, lo que las hace especiales para comunicaciones a largas distancias.

La fibra monomodo tiene un diámetro de núcleo de 8 a 9 micras [21].

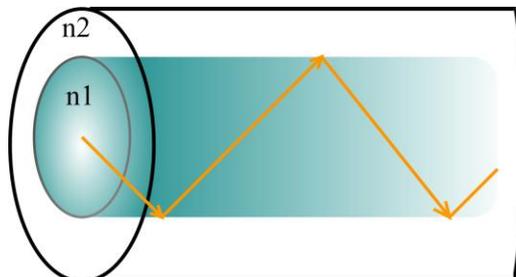


Figura 2.3.- Fibra Óptica Monomodo.

2.3.2 Fibras multimodo

Las fibras ópticas multimodo están fabricadas con un núcleo de mayor tamaño que las monomodo por lo que permite la propagación de más de un modo en la fibra. Estas fibras sirven para distancias cortas, por ejemplo, para la instalación de un sistema de comunicaciones por fibra óptica en algún edificio, en fabricación de sensores y muchas mas.

La fibra multimodo tiene un diámetro de núcleo de 50 ó 62,5 micras (a veces Incluso más grande) [21].

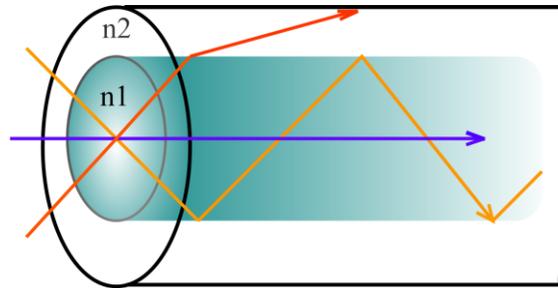


Figura 2.4.- Fibra Óptica Multimodo.

2.4 Rejillas en la Fibra Óptica

Una característica de la fibra óptica respecto a la luz propagándose en esta, es la posibilidad de manipular las longitudes de onda que se desean tener en la salida, filtrar ciertas longitudes de onda es posible con dispositivos fabricados en la fibra óptica llamados Rejillas.

Estos dispositivos son fabricados de forma periódica en la fibra, con la finalidad de modular el índice de refracción y filtrar longitudes de onda. Existen diferentes técnicas con las que se fabrican estos dispositivos.

El espectro que se obtiene varía de sus características dependiendo al número de rejillas que se fabriquen y sobre todo a la separación que existe entre cada una de las rejillas, en la figura 2.5 se observa una figura que representa lo que es una rejilla en la fibra óptica.

Esta característica que tienen las fibras ópticas se conoció gracias a los descubrimientos de fotosensibilidad [22].

Las Rejillas de fibra óptica por lo general son clasificadas en dos grupos; Rejillas de periodo corto (también conocidas como rejillas de Bragg) y Rejillas de periodo largo.

2.4.1 Rejillas de periodo corto

Las rejillas de periodo corto se graban en el núcleo de la fibra con un patrón de líneas paralelas entre sí, con distancia relativamente corta de una línea grabada a otra línea (periodo de modulación), y de posición transversal en la fibra. El periodo de modulación es de ($\leq 1 \mu\text{m}$).

Generalizando una Rejilla de Bragg es un resonador implementado en el núcleo de una fibra óptica distribuido sobre una cierta longitud L (generalmente en el orden de varios mm), con la habilidad de reflejar un pico espectralmente angosto de la luz guiada por la fibra [23].

La fabricación de estas rejillas se genera principalmente, por la manera eficiente en la formación del patrón, con luz ultravioleta [24]. Se dice que es eficiente debido a las pocas pérdidas de inserción y el patrón uniforme en el espectro resultante, esta eficiencia se da debido a los métodos interferómetros con los que se fabrican. Se utiliza luz ultravioleta precisamente porque las fibras en que se fabrican este tipo de rejillas están dopadas con germanio y la fotosensibilidad se da en la longitud de onda de la luz ultravioleta.

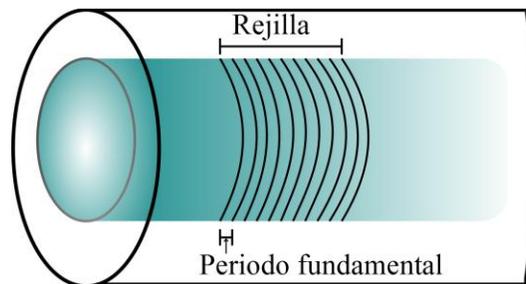


Figura 2.5.- Representación Rejilla de Bragg.

En la figura 2.6 se muestra un diagrama del espectro de una señal transmitida en la fibra óptica con una rejilla de Bragg,

El espectro reflejado es característico de las rejillas de periodo corto, ya que los modos al viajar por el núcleo y encontrarse con la zona de rejillas, estos cambian la dirección en que viajan debido a la modulación del índice de refracción y se escapan del núcleo al revestimiento, sin embargo, algunos otros son reflejados en sentido contrario de la dirección que llevaban esto es debido a la corta la distancia que existe entre ellas, el periodo de modulación es entre $1 \mu\text{m}$ y $100 \mu\text{m}$. Los modos que fueron reflejados al revestimiento, posteriormente regresan al núcleo al terminar la zona de rejillas.

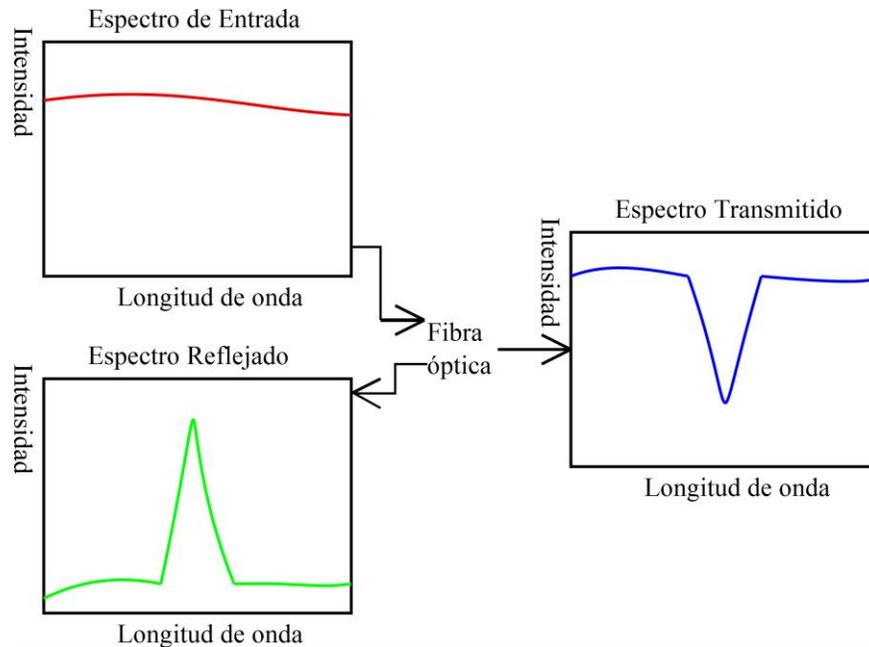


Figura 2.6.- Espectro reflejado y transmitido con rejilla de Bragg.

Para determinar la longitud de onda reflejada por las rejillas de Bragg en la fibra óptica (λ_B) o como se le conoce también pico de reflexión, se presenta la siguiente ecuación:

$$\lambda_B = 2n_e\Lambda$$

Donde n_e es el índice de refracción efectivo de la fibra óptica y Λ es el periodo de la rejilla de Bragg en la fibra óptica [23].

2.4.2 Rejillas de Periodo Largo

La técnica de rejilla en fibra óptica, con una separación o lo que se conoce como periodo de modulación en el patrón de grabado, son las rejillas de periodo largo.

Las rejillas de periodo largo trabajan solo en transmisión a diferencia de las Rejillas de Bragg ($\leq 1 \mu\text{m}$) y requieren de un periodo de modulación mucho más grande ($\geq 100 \mu\text{m}$) [19].

Se entiende que estas rejillas trabajan solo en transmisión ya que el periodo de modulación, al ser relativamente mucho más grande que las rejillas de periodo corto, los modos de propagación al viajar entre las rejillas, son reflejados al revestimiento de la fibra óptica. Posteriormente a la zona de la rejilla los modos son acoplados del revestimiento al núcleo, aunque algunos escapan del revestimiento, el acoplamiento de los modos y el núcleo generan una atenuación de la longitud de onda.

Este tipo de rejillas tienen dos variantes dependiendo de la formación del patrón de rejillas existen las que son:

Generadas de forma permanente. - cambiando el índice de refracción dentro del núcleo de la fibra a lo que se llama zona de rejillas.

Temporal. - Deformación física en la estructura externa de la fibra generada por una fuerza mecánica, en el momento de retirar la fuerza las propiedades regresan al estado inicial.

2.4.2.1 Rejillas Periodo Largo-permanentes

Existen diferentes técnicas de fabricación de rejillas permanentes entre las cuales se encuentran; inscripción interna, técnicas interferométricas, máscara de fase, fabricación de rejillas por arco eléctrico, radiación infrarroja [25].

Por lo general la mayoría de estas técnicas son implementadas con luz ultravioleta, aunque con un periodo mucho mayor a las rejillas de periodo corto, las cuales son de grabado permanente.

Algunos ejemplos de rejillas de periodo largo permanentes se mencionan a continuación:

Las rejillas de periodo largo fabricadas por la técnica de arco eléctrico se pueden grabar con una empalmadora de fibra óptica, una fuente de luz blanca, un motor a pasos y un analizador de espectro óptico. El método para fabricar estas rejillas, es retirar el revestimiento plástico que protege la fibra óptica y en esta sección dar descargas a posiciones controladas por el motor, el resultado es monitoreado con el analizador de espectro óptico teniendo como la señal que transcurre en la fibra el espectro de luz blanca.

Las rejillas de periodo largo de radiación infrarroja se fabrican con un láser de alta potencia de CO_2 , este tipo de laser de menor costo por lo tanto sustituyendo la luz Ultra Violeta, grabando en cierta longitud de la fibra con ayuda de un motor con el fin de controlar la distancia entre cada sección que se insidia el láser de alta potencia. Modificando el índice de refracción interno de la fibra mediante cambios de temperatura.

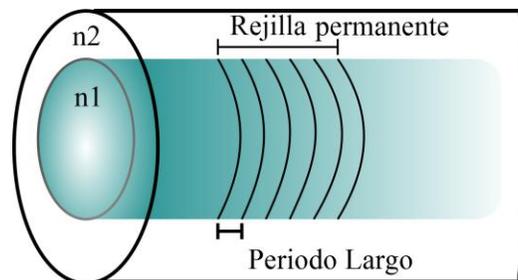


Figura 2.7.- Grabado de rejillas permanentes.

2.4.2.2 Rejillas de Periodo Largo-temporales

Existen diferentes formas de fabricación para realizar el patrón de rejillas en la fibra óptica, por ejemplo; Efecto acusto-óptico y efecto mecánico.

Efecto acusto-óptico. - En ésta técnica, el acoplamiento entre los modos del núcleo y el revestimiento se genera a través de una onda acústica, la cual tienen una fase. La onda acústica iguala la diferencia de fase entre el modo del núcleo y los modos del revestimiento, de manera que cuando se logra sintonizar, ocurre el acoplamiento de los modos. La vibración acústica es amplificada y transmitida a través de una fibra mediante un piezoeléctrico, el cual genera la onda y logra la perturbación periódica a través de microdoblamiento sobre el núcleo y revestimiento [26].

Efecto Mecánico. - Se graba un patrón de protuberancias ordenadas en una pieza de material sólido y rígido como aluminio, estas protuberancias se encuentran en posiciones paralelas entre sí a lo ancho de la pieza grabada. Posteriormente se tiende la fibra óptica sobre esta pieza y con una placa de cara lisa se ejerce una presión sobre la fibra tendida en la pieza grabada obteniendo como resultado una atenuación de longitud de onda.

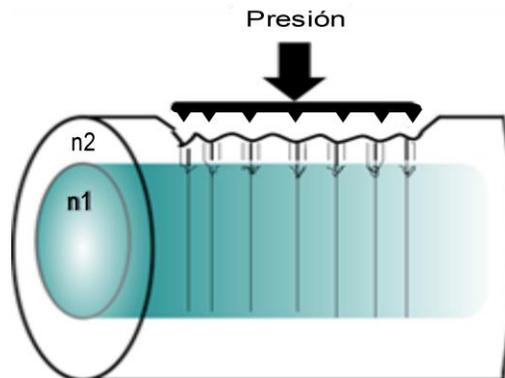


Figura 2.8.- Grabado temporal de rejillas.

2.5 Rejillas de periodo largo mecánicas

En esta sección del presente trabajo de tesis, la cual está dirigida a las Rejillas de Periodo Largo Mecánicas, se da información respecto a los efectos en la fibra óptica como: Efecto fotoelástico, Birrefringencia por presión mecánica y el acoplamiento de modos en el revestimiento. Los efectos ya mencionados explican lo que sucede con la fibra aplicando este tipo de rejilla.

Las Rejillas de Periodo Largo Mecánico, como cualquier otra rejilla en fibra óptica, están formadas por la modulación periódica del índice de refracción del núcleo. Las formas más comunes para la modulación antes, son la inducción de esfuerzos mecánicos periódicos y los microdoblamiento periódicos de la fibra [19].

La ventaja de estas rejillas frente a las demás técnicas mencionadas, es lo fácil que puede ser implementarlas en cualquier arreglo ya hecho, ya que es una perturbación externa y puede ser implementada en diferentes fibras ópticas.

2.5.1 Birrefringencia por presión mecánica

Cuando un haz de luz que ha incidido en un material (solo ciertos materiales como, por ejemplo, el espato de Islandia, calcita, papel celofán, etc..) se observa que el haz es dividido en dos, se entiende que el material tiene doble índice de refracción, a esto se le conoce como Birrefringencia.

Cuando un haz de luz no polarizado entra a un medio anisotrópico, por lo general se divide en dos haces linealmente polarizados; uno de ellos se comporta de acuerdo a la ley de Snell y se llama rayo ordinario, mientras que el otro comúnmente no lo hace, y se denomina rayo extraordinario. Ambas ondas se propagan con diferente velocidad dentro del medio y dentro del material se caracterizan por diferentes índices de refracción. Dicho fenómeno es conocido como birrefringencia y es sumamente útil en dispositivos ópticos [27].

La anisotropía se entiende por las propiedades que tienen ciertos materiales al incidir un campo electromagnético en estos, las características de las magnitudes vectoriales varían dependiendo en el ángulo u orientación que se analicen. Al contrario de la anisotropía, la isotropía es característica de algunos materiales que al analizar cuando se inciden magnitudes vectoriales estos no presentan variaciones no importa de la dirección en que se esté analizando. La fibra óptica esta hecha en términos generales de vidrio y este es un material isotrópico, sin embargo, debido a que a lo largo de la fibra en el núcleo se encuentran materiales con los cuales esta dopada ésta fibra y a la característica física de la fibra, ya que no es perfectamente circular, la fibra óptica se le conoce como un medio anisotrópico.

En la fibra óptica se explica el fenómeno de birrefringencia debido a la aplicación de presión, doblamientos, giros, etc... Se genera una pequeña diferencia en las constantes de propagación de los dos modos polarizados (birrefringencia) lo que lleva a un acoplamiento de potencia entre estados de polarización ortogonales aún bajo la mínima perturbación externa [18], se conoce que una fibra monomodo de núcleo perfectamente circular realmente transporta dos modos, que tienen estados de polarización lineal ortogonales y tienen la misma constante de propagación [28],

2.5.2 Acoplamiento de modos en el revestimiento

Al conformarse este tipo de rejillas, se acopla la luz entre el modo de núcleo fundamental y los modos de revestimiento de co-propagación a una longitud de onda de resonancia específica. Los modos de revestimiento de las rejillas de periodo largo son absorbidos por el revestimiento de polímero de la fibra, por lo tanto, el espectro de transmisión consiste en un número de bandas de rechazo en las longitudes de onda de resonancia.

En estas rejillas, la fibra está sometida a esfuerzos periódicos, lo que da lugar a regiones alternadas bajo compresión y estiramiento que modulan el índice de refracción a través del efecto fotoelástico. Las rejillas de fibra de periodo largo mecánicas, inducidas por la presión

no necesitan ni una fibra especial ni un costoso dispositivo de escritura para su fabricación [29].

La longitud de onda resonante tiene lugar cuando la condición de acoplamiento de modo se determina por la condición de adaptación de fase descrita por la ecuación [30-32]:

$$\lambda_m = (n_{nucleo} - n_{revest}^m) \Lambda$$

Donde Λ es el periodo de la rejilla, n_{nucleo} y n_{revest}^m son el índice efectivo del modo fundamental y el modo m-esimo del revestimiento, respectivamente. En general, para un período determinado Λ modos varios de revestimiento satisfacen esta condición, cada uno a λ_m diferente que aumenta con m. El espectro de transmisión de la rejilla de periodo largo de esta forma exhibe una serie de bandas de atenuación. Las longitudes de onda de resonancia λ_m dependen de las características de la fibra a través de los índices efectivos de núcleo y del revestimiento.

2.6 Aplicaciones de Rejillas de Periodo Largo Mecánicas

Las aplicaciones que tienen las rejillas de periodo largo mecánicas en general se enfocan en el diseño y desarrollo de sensores para diferentes parámetros, así también como aplicaciones en arreglos de láser de fibra óptica con el fin de sintonizar la longitud de onda en los arreglos de estos láseres.

2.6.1 Laser de fibra óptica Sintonizable

Una aplicación atractiva de las rejillas de periodo largo mecánicas, es en los láseres de fibra óptica sintonizables, ya que tener en un solo arreglo señales láser de varias longitudes de onda o variar la longitud de onda de una señal laser, es muy atractivo en diversas aplicaciones, por ejemplo; medicina, minería, industria, etc...

En aplicaciones en láseres de fibra, un medio amplificador (fibra dopada con tierras raras) es colocado entre dos rejillas las cuales cumplen con el principal papel de formar la cavidad resonante [33]. Esto conectado por lo general a un diodo laser.

En la figura 2.9 se muestra un arreglo de laser de fibra óptica en anillo con los siguientes elementos; 980 nm representa la fuente de bombeo, que va a un acoplador por división de longitud de onda (WDM), este divide la señal de la fuente la cual se propaga entre la fibra dopada con erbio (EDF). El acoplador de 90/10 representa un espejo con menor reflectancia y en la cual permite la salida y análisis de la señal laser. Para variar la longitud de onda es aplicada presión con la rejilla de periodo largo mecánica.

En esta última parte mencionada, es donde encuentra aplicación el dispositivo automatizado de presión.

La mayoría de estos arreglos de laser en fibra óptica son de costos elevados, es debido a esto que se investiga el desarrollo de arreglos con tecnología de bajo costo ya que algunos de estos láseres usan rejillas de Bragg, a lo cual se necesita un sistema específico y material de alta tecnología para la construcción de estas rejillas y las rejillas de periodo largo mecánicas que se utilizan en este trabajo fueron fabricadas con aluminio y el grabado con una fresadora, estos elementos son fáciles de conseguir y económicos. Sin embargo, al utilizar rejillas mecánicas se tiene en cuenta algunas limitaciones de esta técnica, como: la temperatura ya que por el tipo de material está presente la dilatación y contracción, la sintonización en los láseres de fibra no es de muchos nanómetros, la repetición al aplicar la presión y la forma de colocación de la fibra.

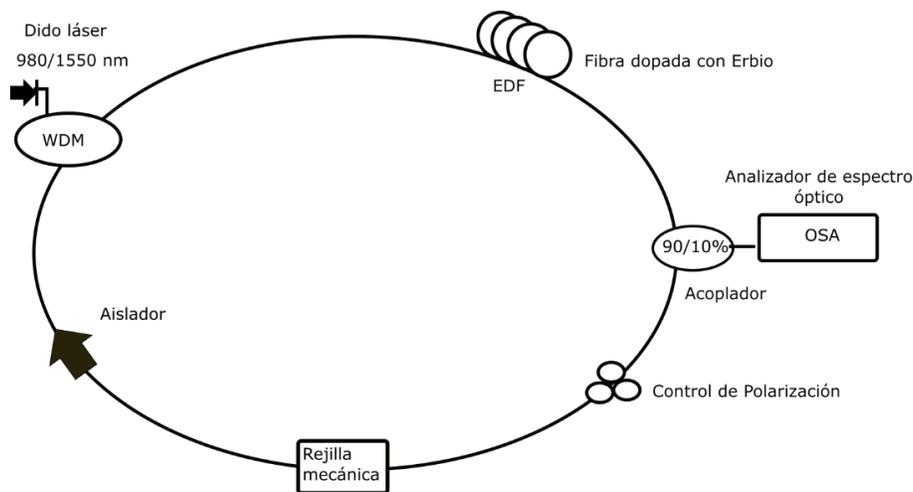


Figura 2.9.- Figura tomada de trabajo de tesis de maestría [10].

Capítulo III

Desarrollo

En este capítulo se describe el proceso para automatizar un dispositivo de presión con la finalidad de tener mayor control en los experimentos y tener un sistema de control para aplicaciones diversas. Se detallan los materiales con los que se fabricó, la programación la tarjeta de desarrollo, pingüino, tanto como los componentes electrónicos que se utilizaron para el control del motor y el dispositivo.

3.1 Motor a pasos

En el presente trabajo de tesis se utilizó un motor a pasos, esencialmente por la precisión de estos, MITSUMI M42SP-5 de 5 cables, unipolar y de 4 fases, alimentado con 12 volts y 1 A y torque de 109.8 mN·m.

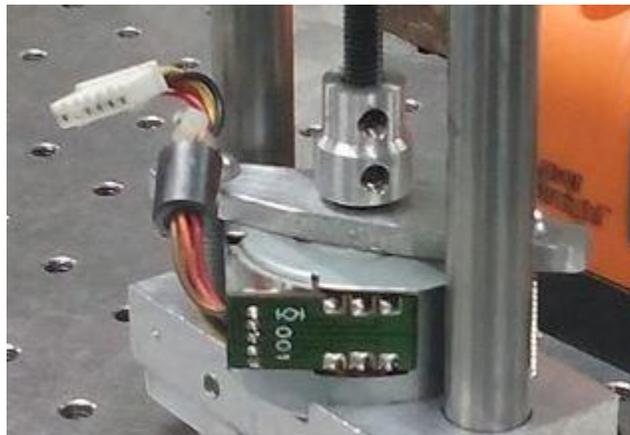


Figura 3.1.- Fotografía del motor utilizado en el dispositivo.

Los motores a pasos son dispositivos de embobinado de cable ferromagnético lo cual lo convierte en un dispositivo electromagnético, la alimentación eléctrica que va al embobinado hace trabajar un mecanismo mecánico de rotación de manera discreta. Puede girar ciertos grados en cada movimiento, a esto se le llama grados por paso.

Los grados por paso se calculan dividiendo 360 (una vuelta completa) por la cantidad de pasos que se contaron. Las cantidades más comunes de grados por paso son: $0,72^\circ$, $1,8^\circ$, $3,6^\circ$, $7,5^\circ$, 15° y hasta 90° . A este valor de grados por paso usualmente se le llama la resolución del motor). Los motores paso a paso se dividen en dos categorías principales: de imán permanente y de reluctancia variable. También existe una combinación de ambos, a los que se les llama híbridos. Estos se describen a continuación [34]:

-Imán permanente. - son los que más conocemos, utilizados, por ejemplo, en el avance de papel y del cabezal de impresión de las impresoras. Como su nombre indica, poseen un imán que aporta el campo magnético para la operación. Los motores paso a paso de imán permanente se dividen a su vez en distintos tipos, diferenciados por el tipo de bobinado. Existen entonces motores paso a paso de imán permanente unipolares (también llamados "unifilares"), bipolares (también llamados "bifilares") y multifase [34].

-Reluctancia variable. - poseen un rotor de hierro dulce que, en condiciones de excitación del estator, y bajo la acción de su campo magnético, ofrece menor resistencia a ser atravesado por su flujo en la posición de equilibrio [34].

3.1.1 Motores Unipolares y Bipolares

Motores paso a paso unipolar, ambos imán y motores de escalonamiento híbridos permanentes con 5 o 6 cables, con una toma central para alimentación y dos embobinados. En el uso, los taps centrales de los devanados están típicamente conectados a la alimentación positiva, y los dos extremos de cada devanado se basan alternativamente para invertir la dirección del campo proporcionada por el embobinado [35].

La corriente que transcurre por el embobinado en los motores unipolares, solo fluye en un solo sentido.

Motores Bipolares permanentes se construyen con exactamente el mismo mecanismo que se utiliza en los motores unipolares, pero los dos devanados están conectados más simplemente, sin centro taps. Por lo tanto, el propio motor es más simple pero el circuito de accionamiento necesario para invertir la polaridad de cada par de polos del motor es más complejo [35].

La corriente que fluye por el cable del embobinado en estos motores, puede fluir de un sentido a otro, y puede tener ambos polos en un mismo extremo de una de las bobinas en el motor así es por lo que se le llama bipolar.

3.1.2 Secuencia de control de motores

Para estos motores se necesita corriente controlada para el giro del eje del motor, tanto para el torque. Cada giro de estos motores es en un paso a continuación las secuencias que se utilizan.

Para motores de tipo bipolar se tiene una secuencia:

Paso	Terminal A	Terminal B	Terminal C	Terminal D
1	1	0	1	0
2	1	0	0	1
3	0	1	0	1
4	0	1	1	0

Tabla 3.1.- Secuencia control de motores paso a paso Bipolar.

Para motores de tipo unipolar existen tres secuencias:

Secuencia Normal: Esta es la secuencia más usada y la que generalmente recomienda el fabricante. Con esta secuencia el motor avanza un paso por vez y debido a que siempre hay al menos dos bobinas activadas, se obtiene un alto torque de paso y de retención.

Paso	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D
1	1	1	0	0
2	0	1	1	0
3	0	0	1	1
4	1	0	0	1

Tabla 3.2.- Secuencia control de motores paso a paso Unipolar Normal.

Secuencia del tipo wave drive: En esta secuencia se activa solo una bobina a la vez. En algunos motores esto brinda un funcionamiento más suave. La contrapartida es que, al estar solo una bobina activada, el torque de paso y retención es menor.

Paso	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1

Tabla 3.3.- Secuencia control de motores paso a paso Unipolar Wave drive.

Secuencia del tipo medio paso: En esta secuencia se activan las bobinas de tal forma de brindar un movimiento igual a la mitad del paso real. Para ello se activan primero 2 bobinas y luego solo 1 y así sucesivamente. Como vemos en la tabla la secuencia completa consta de 8 movimientos en lugar de 4. Para revertir el sentido de giro, cualquier secuencia es invertida.

Paso	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1

Tabla 3.4.- Secuencia control de motores paso a paso Unipolar Medio paso.

3.2 Pinguino

Se utilizó una plataforma electrónica de prototipos llamada PINGUINO que tiene como parte fundamental un microcontrolador PIC 18F45K50 [36].

No se necesita ningún programador, el microcontrolador puede ser reprogramado a través de USB con un PC [36].

Las tarjetas Pinguino se pueden programar en C, C++, con otros programas como MPLAB X IDE. DE, las bibliotecas y los compiladores de Pinguino están disponibles para 32 bits, así como de 64 bits de GNU / Linux, Windows y Mac OS X [36].

Los softwares de Pinguino son de código abierto, publicado bajo los términos de la GPLv2 GNU (Licencia Pública General versión 2) . Juntas son Pinguino Open Hardware [36].

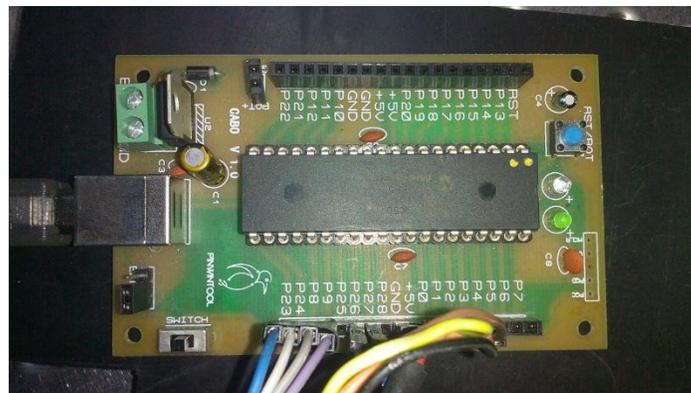


Figura 3.2.- Tarjeta PINGUINO PIC18F45K50.

3.2.1 Control de motor unipolar con pinguino

Para el funcionamiento del motor se necesita un sistema de control que distribuya la corriente en las bobinas acorde a las tablas de secuencias ya mencionadas con “0” voltaje en bajo y con “1” voltaje en alto. Para esto se trabajó con la tarjeta pinguino la cual cuenta con suficientes salidas necesarias para alimentar los cables de las bobinas.

En este caso es un motor unipolar de 5 cables, 1 de ellos es un cable común del motor alimentado con 12 V y 4 para los dos pares de bobinas en cada extremo de una de ellas. Por lo que con 4 salidas de la tarjeta se puede generar cualquiera de las 3 secuencias para motores unipolares.

No es factible conectar la tarjeta pinguino directo con el motor, es la simple diferencia de corriente, ya que el motor está trabajando con 1000 mA y la tarjeta trabaja con alrededor de 50 mA. Esto provocaría la falta de movimiento del rotor o eje y que la tarjeta sufra de la entrada de corriente no deseada y por lo tanto se dañe. Para este problema se recurrió a dispositivos capaces de trabajar con estas condiciones llamados transistores en configuración Darlington.

El circuito integrado ULN2803 contiene en su interior 8 transistores Darlington (como se puede observar en la figura 3.3) con emisor común en el cual va la alimentación de 12 V (pin 10) incluye diodos para proteger de las cargas que provienen del motor. El circuito integrado trabaja con un máximo de 500 mA.

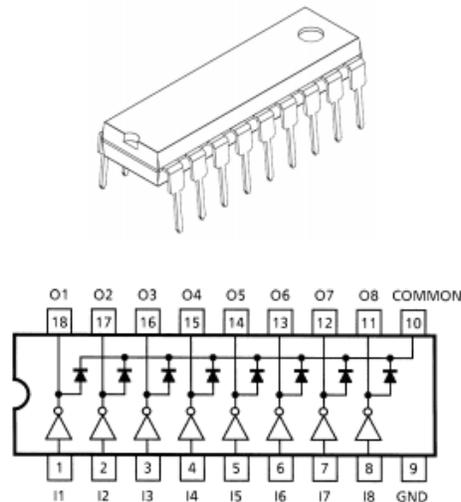


Figura 3.3.- Empaquetado de Transistores Darlington [37].

El problema presentado con este trabajo fue el excedente de corriente que se tuvo ya que para que el motor trabajara se requería una corriente mayor de 800 mA y el transistor 500 mA. El resultado de esto fue el daño de diferentes circuitos integrados, se investigaron soluciones pertinentes y se optó por utilizar un segundo circuito integrado ULN2803 con un puente entre cada número de pin del mismo número al del otro circuito integrado ULN2803.

Con este arreglo se solucionó en su mayoría el problema evitando que los transistores no se dañaran instantáneamente, se logró un decremento en la temperatura de los transistores por lo que se optó trabajar con él. Probablemente se disipó en pequeña medida la temperatura al estar separadas las entradas y salidas entre los dos transistores, aunque están con un puente y en teoría son la misma entrada.

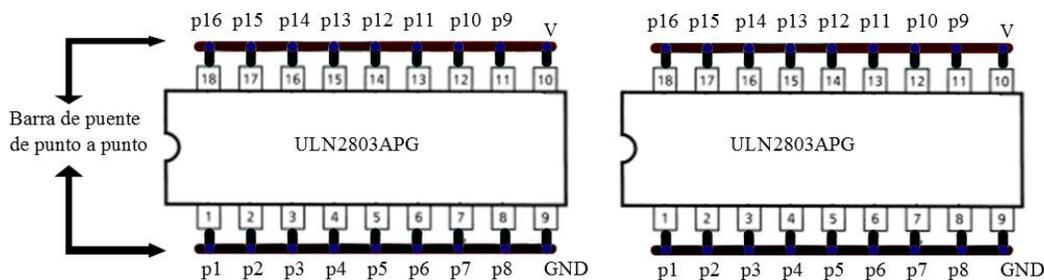


Figura 3.4.- Puente entre ULN2803APG (p1 con p1, p2 con p2, ..., p16 con p16).

En la figura 3.5 se muestra un esquema del sistema de control con la tarjeta pingüino que fue programada con la configuración de una secuencia estándar o normal para motores unipolares. Se puede observar las conexiones que van de la tarjeta al sistema de control con los circuitos integrados y las salidas de los transistores conectadas a los cables del motor a pasos, el cable de alimentación V y los transistores son conectados a su vez con una fuente externa con los valores ya mencionados con anterioridad.

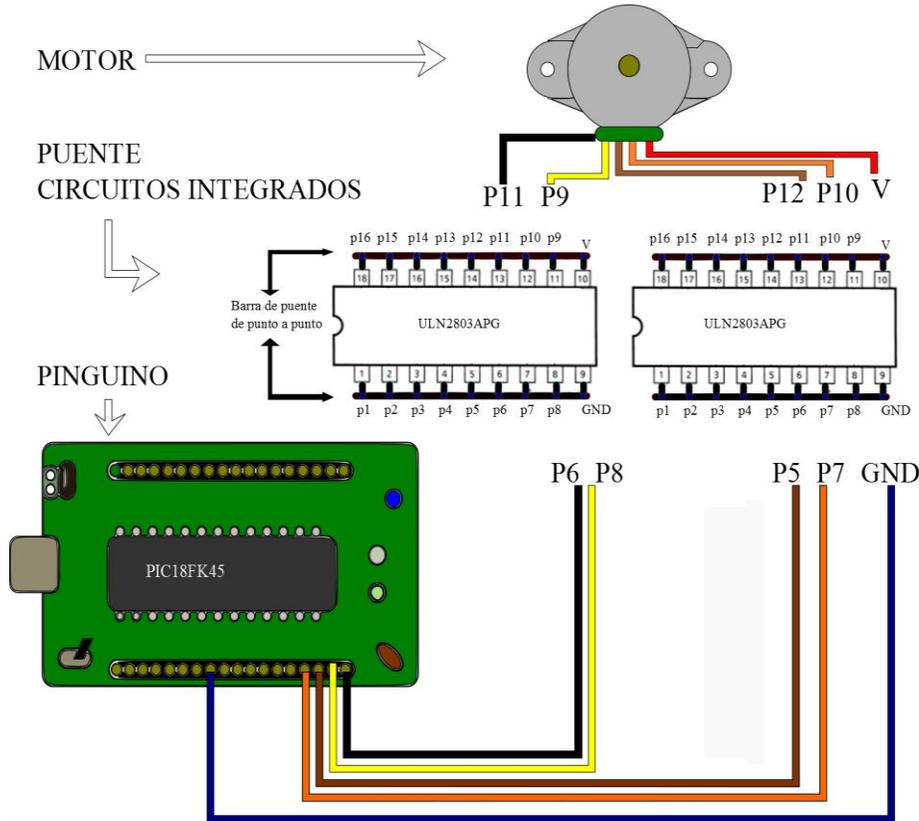


Figura 3.5.- Sistema de control del motor paso a pasos.

3.3 Otros dispositivos

Entre otros dispositivos utilizados se encuentran push button, sensores infrarrojos de presencia (emisor y receptor infrarrojo, transistores 2N2222, resistencias de diferentes valores, LEDS). Los motivos por el cual fueron utilizados en este trabajo se mencionan a continuación:

En total se tiene 4 push button con la finalidad de controlar el giro del motor de la siguiente forma:

- 1.- El primer push button se utiliza para inicializar el giro del motor del primer sensor al segundo sensor.

- 2.- El segundo push button tiene la función de girar un paso para aumentar presión.
- 3.- El tercer push button tiene la función de girar un paso en sentido contrario para retirar presión.
- 4.- El cuarto push button se emplea para retirar toda la presión y regresar a la posición inicial.

Los sensores de presencia utilizados sirven para colocar el sistema de presión en un punto de inicio y un punto final, posterior al punto final se dan unos cuantos pasos controlados con el fin de ejercer la presión controlada sobre la fibra. El motivo por el cual no se ajusta a un punto específico el sensor para comenzar después de este con la presión a la fibra, es porque las rejillas no son de la misma altura exactamente, por lo que se dejó un espacio para tener margen de pruebas.

El sensor de presencia consta de un receptor infrarrojo (fototransistor) y un emisor (Diodo infrarrojo), el circuito que se empleó se muestra en la figura 3.6.

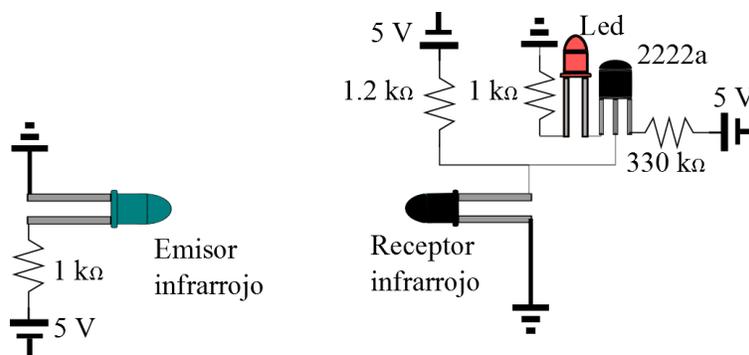


Figura 3.6.- Diagrama de circuito de sensor infrarrojo.

3.4 Circuito total del dispositivo

El sistema para automatizar el dispositivo de presión de fibra óptica para rejillas mecánicas, es la combinación de los sistemas de control del motor a pasos con ayuda de los push button ya mencionados y el sensor de presencia. Todo esto se tuvo en conjunto en el siguiente circuito.

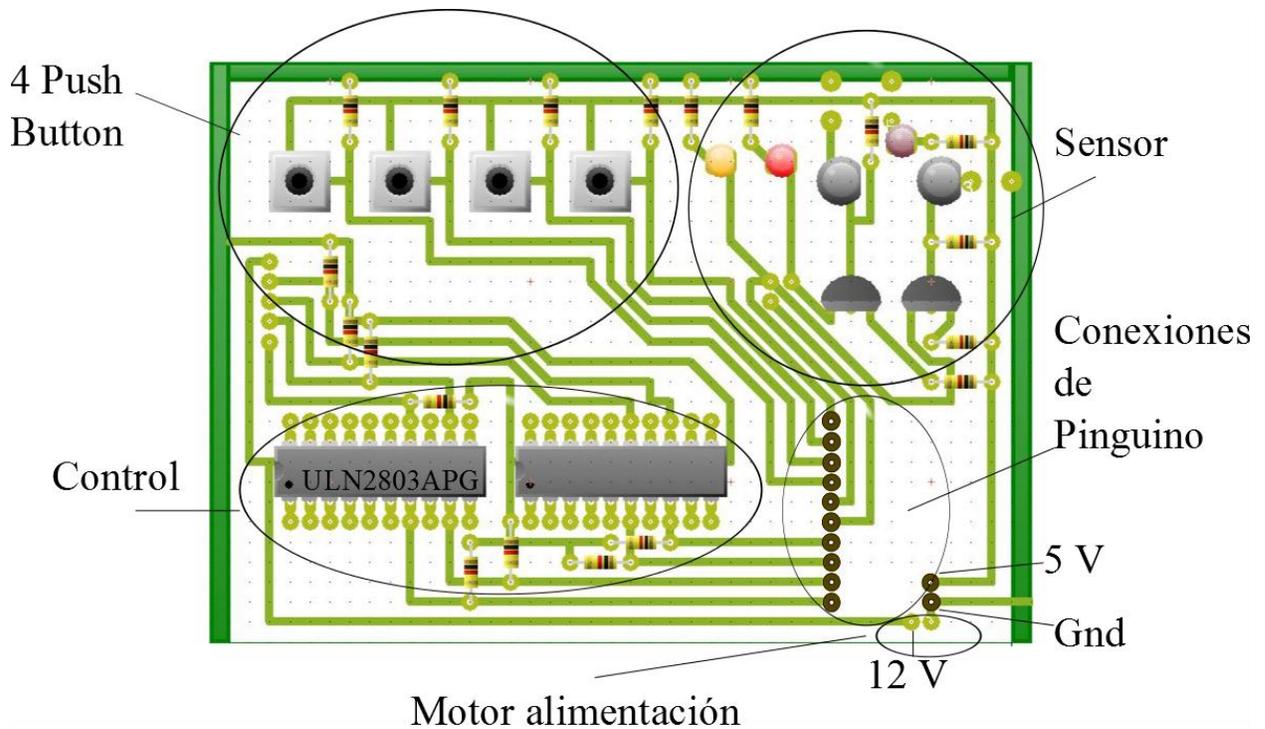


Figura 3.7.- Circuito para control de dispositivo de presión.

3.5 Programación

Una vez que se tuvo por separado todos los elementos electrónicos que conforman el dispositivo de presión, se requiriere de la programación de todos los elementos, por lo que se diseñó el programa enfocado en los 4 push button, ya que de estos depende el giro del motor y paro, por lo que el código va implicado a estas 4 situaciones.

Se utilizó el programa PINGUINO-IDE versión 11, el lenguaje de programación empleado es código C.

En un principio de código se declaran todos los pines que se van a utilizar, como por ejemplo “int temp=100”, esto significa que la variable entera “temp” le fue asignado el valor 100 (en el código se emplea para el retardo entre cada paso o DELAY).

Se declaran las funciones que se utilizan a lo largo del código. Las funciones tienen la configuración de la secuencia para motores unipolares que se empleó en este caso la secuencia normal en un total de 4 funciones que representan cada una de las 4 filas de la secuencia, también la secuencia para invertir el giro del motor. Y una función extra para parar el motor, lleva los 4 valores que van a el controlador del motor en bajo, lo que provoca el paro total del motor.

El siguiente paso es asignar el valor de cada pin, ya sea de salida o de entrada. Los 4 pines que se utilizarán para el control que estos casos van a ser los pines p1, p2, p3 y p4 del motor son programados en salida “OUTPUT” y todos los pines para los push button y los sensores en entrada “INPUT”.

Posteriormente a estos pasos se tiene en el editor “void loop ()” que es lo equivalente en C a un “main” o la parte del programa donde va a estar corriendo el código. A inicio de esta sentencia se asignan las líneas para que la tarjeta lea cada uno de los push buttons, esto se logra con la sentencia “digitalRead(pin)” y se asigna a otra variable solo para simplificar en el momento que se utilicen en las siguientes líneas de código (en el paréntesis se introduce el número del pin al cual se conectó el push button).

A continuación, el programa consta de 4 “if (PUSH BUTTON)”, el primero, como ya se había mencionado antes, es para inicializar el giro del motor por lo que se tiene un ciclo “While” hasta que cambie una variable que lo saque del ciclo.

Dentro del ciclo se manda llamar cada una de las funciones que van generando la secuencia, entre cada paso se tiene una sentencia “if” en la cual el sensor evalúa si existe un cambio a sus valores predeterminado y mandar llamar la función para parar el motor cambiando una variable de control y salir del ciclo, si no existe cambio sigue con el siguiente paso de la secuencia.

Posteriormente se tiene la programación de un “if” para el push button 2 el cual manda llamar cada una de las funciones para dar un paso de motor con la finalidad de aplicar presión, el siguiente “if” es similar al del push button 2 pero con diferencia que se tiene una configuración invertida y tiene la finalidad de quitar presión en un paso de motor.

El código para el push button 4, es similar para el push button 1 con la diferencia de que manda llamar funciones que tienen la secuencia del motor unipolar invertida. Y la evaluación que realiza del sensor es del sensor primario hasta llegar a la posición inicial del dispositivo.

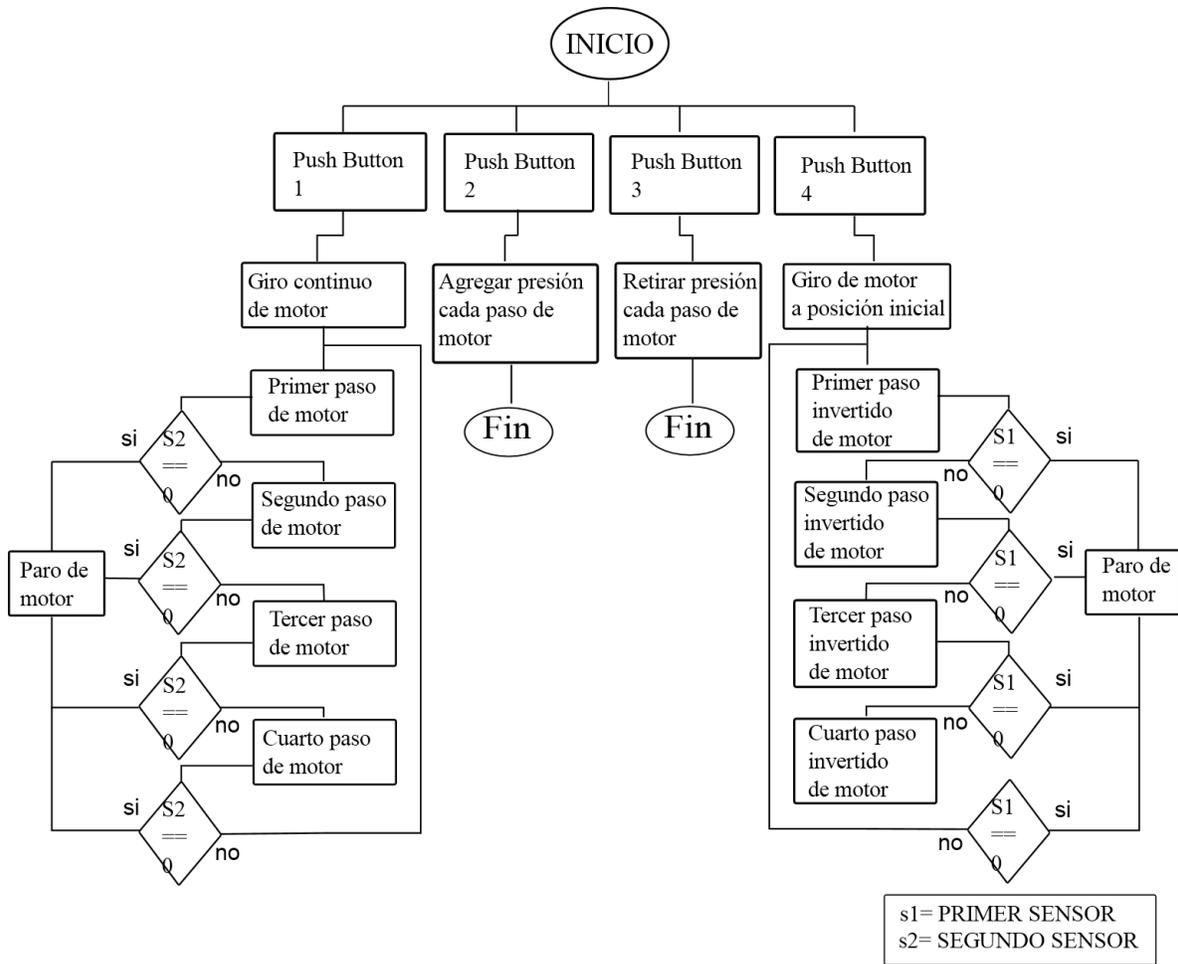


Figura 3.8.- Diagrama de la programación del dispositivo de presión.

3.6 Dispositivo de presión

Se requiere una estructura en la cual se fijarán las rejillas mecánicas, pero con opción de intercambiarlas por otras de diferentes características, a lo cual se diseñó una estructura rectangular de aluminio de 5 paredes entre las cuales se fijará la rejilla y en la pared faltante se tuviera espacio para manipular tanto la rejilla como la fibra (Figura 3.9 a)).

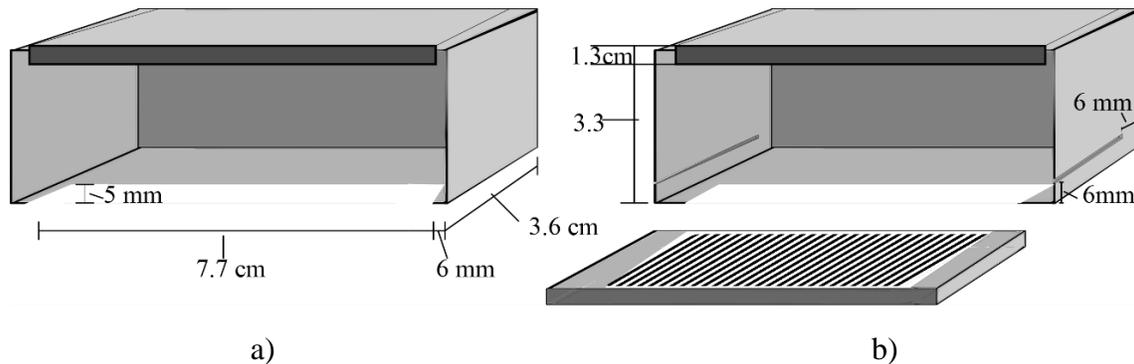


Figura 3.9.- a) Estructura de aluminio 5 paredes, b) Estructura de aluminio paredes laterales ranuradas y rejilla mecánica.

Dos paredes laterales de la estructura que contendrá la rejilla fueron ranuradas de forma paralela a su base (Figura 3.9 b)), de un extremo de la pared asta 6mm antes del otro extremo, con una distancia de la base de 6 mm a la ranura. Esto fue con el fin de evitar perturbaciones que afecten los resultados al momento y que la fibra quede al margen de la rejilla. Otro punto a considerar del porqué de estas ranuras, es el poder tender la fibra en cualquier posición de un extremo a otro de las partes laterales de la rejilla.

La parte interior a lo ancho del dispositivo es de 3.6 cm y el promedio de lo ancho de las rejillas es de 3 cm por lo que se optó por retirar una sección a lo largo de la base menos los 0.6 cm sobrantes. Esto con la finalidad de una vez que se coloque la rejilla se acomode un pequeño tope con una placa de aluminio, este tope fijara las rejillas mecánicas para evitar desplazamientos no deseados.

En la siguiente figura 3.10 se muestra la ilustración de la estructura ya adaptada con el motor en la parte superior, y a cada lado una perforación con la finalidad de pasar dos postes de acero (figura 3.10 a)), en la parte inferior de cada poste una placa lisa de aluminio con dimensiones de 6 mm de grosor, 7.3 cm de largo y 2.8 cm de ancho. Esta placa será la que ejerza a la fibra óptica contra las rejillas mecánicas.

En la parte superior de ambos postes se encuentra una placa de aluminio con un grosor de 1.3 cm, 7 cm de largo y 3 cm de ancho. Esta placa junto con la de la parte inferior, mantienen los postes en una posición fija para evitar movimientos no deseados en el instante que se aplicara la presión (figura 3.10 b)).

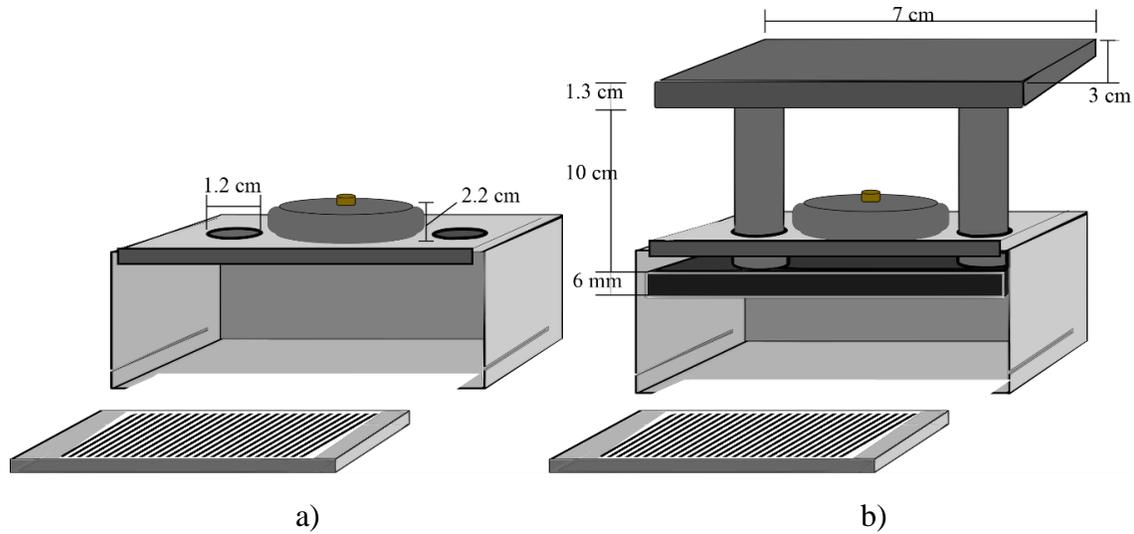


Figura 3.10.- a) Adaptación del motor y perforaciones para los dos postes. b) Adaptación de los postes.

El motor tuvo que ser adaptado con un sistema que ejercerá la fuerza los postes y estos manifiesten un movimiento ascendente o descendente. Se describe a continuación las adaptaciones necesarias, también se muestra una representación gráfica en la Figura 3.11.

En el rotor o eje del motor, que cuenta con un engrane, se añadió el diseño cilíndrico de una pieza metálica. La parte inferior de esta pieza embona con el engrane del motor y en la parte superior de la pieza con un tornillo. Al momento de girar en el motor, con el control ya mencionado en secciones anteriores, los postes con las placas tendrán un movimiento ascendente o descendente.

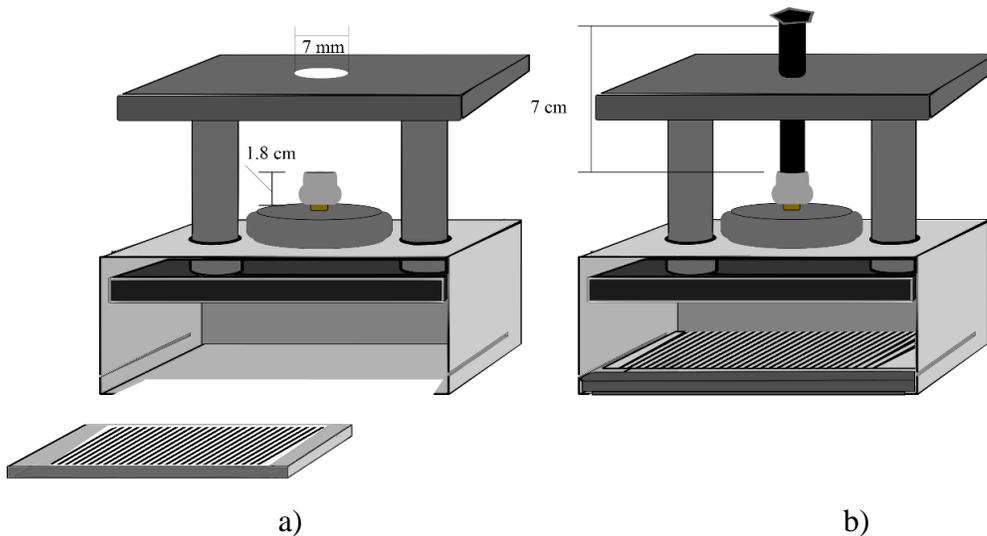


Figura 3.11.- a) Adaptación del eje del motor y perforación en la placa superior de los postes. b) Adaptación de tornillo para control de posición vertical.

Se utilizaron 3 tornillos, sus características se mencionan a continuación:

Tornillo estándar. - Hilo estándar, largo de 3 in (pulgadas), diámetro 3/16 de in.

Tornillo milimétrico delgado. - Hilo milimétrico, largo 2 ¾ in, diámetro 3/16 de in.

Tornillo milimétrico Grueso. - Hilo milimétrico, largo 2 ¾ in, diámetro 5/16 de in.

Con estas partes se tiene la versión mecánica que ejercerá la presión, para finalizar el dispositivo es necesario adaptar la parte electrónica del control del motor.

Se añadió una pieza de aluminio en forma de escuadra “L” y de dimensiones muy similares al dispositivo.

Con esta pieza se fija el dispositivo a cualquier mesa de experimentación óptica, también se adaptó el circuito electrónico entre la parte sobrante de esta pieza y el dispositivo (un espacio de 3.5 cm). En las partes laterales al dispositivo se tiene una sección de 2.5 cm a cada lado, esta parte sirve para fijar con tornillos milimétricos en la mesa.

A continuación, se muestra evidencia fotográfica del dispositivo de presión para fibra óptica con rejillas mecánicas.

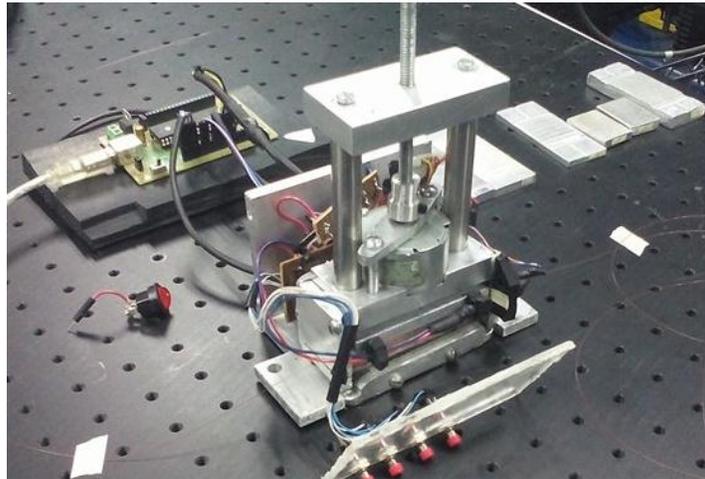
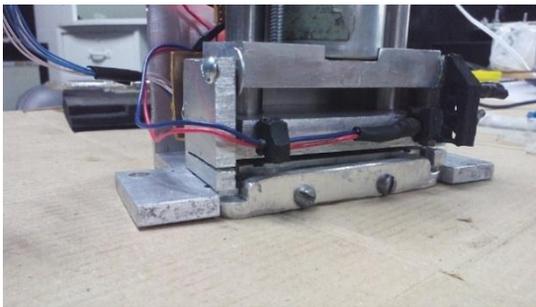


Figura 3.12.- Fotografía de dispositivo de presión conectado a tarjeta pingüino y rejillas mecánicas.

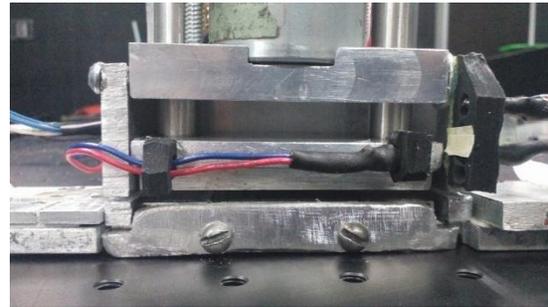
En la fotografía mostrada en Figura 3.12 se observa la parte central del dispositivo de la cual con anterioridad se mostraron esquemas, se observa la pieza en forma de escuadra y el circuito electrónico entre estas dos.

El juego de 4 push button se muestra en la parte inferior de la fotografía colocados en una placa de acrílico transparente y conectados al circuito electrónico.

El sensor de presencia sirve para posicionar la placa que ejercerá la presión. El diodo emisor de luz infrarrojo fue colocado en esta placa, los diodos receptores en la pared lateral del dispositivo colocados en la posición seleccionada como inicial y la posición seleccionada como final, en la figura 3.13 se muestran dos fotografías de la colocación de los diodos.



a)



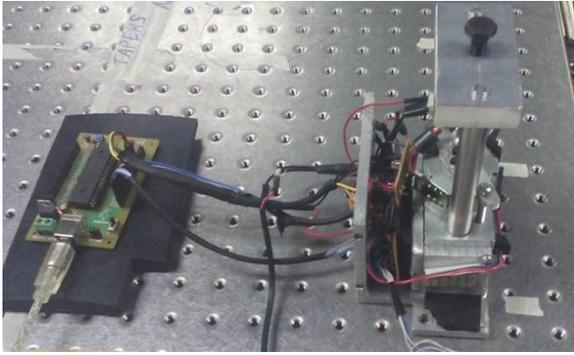
b)

Figura 3.13.-a) Fotografía de acomodo de sensor de presencia. b) Fotografía de ajuste de diodos receptores.

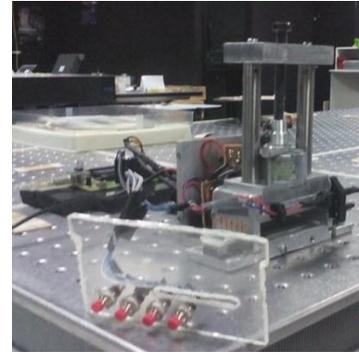
Se agregó al dispositivo una medida graduada en las caras laterales, con el fin de realizar mediciones con diferente posición de la fibra óptica tendida en la rejilla mecánica (fotografía en Figura 3.14).



Figura 3.14.- Fotografía lateral del dispositivo, marcadas cada 0.5 cm.



a)



b)

Figura 3.15.- Dispositivo versión final con tornillo milimétrico grueso.

Posteriormente de realizar el desarrollo del dispositivo de presión, se efectuaron diferentes pruebas y experimentos con la finalidad de observar si el dispositivo era capaz de tener resultados óptimos, repetibles y repetitivos.

Se requieren estas pruebas con el fin de conocer cómo responde el dispositivo, como utilizarlo adecuadamente.

Finalmente se aplica este trabajo en un arreglo de láser de fibra óptica.

Capítulo IV

Resultados de Caracterización

En este capítulo se presenta el arreglo experimental que se utilizó para aplicar el dispositivo de presión, los cambios que se aplicaron en el arreglo para diferentes pruebas y los resultados obtenidos.

También se mencionan las diferentes rejillas mecánicas que se utilizaron en aplicar este dispositivo de presión.

4.1 Arreglo experimental

Una vez terminado el sistema de presión se realizaron diferentes pruebas en el laboratorio de Optoelectrónica, para esto fue necesario una fuente de luz de amplio espectro, fibra óptica estándar y un analizador de espectro óptico (OSA).

Para la fuente de luz de amplio espectro se utilizó un diodo láser de Microchip pasivo Q-switch (longitud de onda 1064 nm, ancho de pulso < 1ns AVG, potencia < 100 mW) con un objetivo de microscopio (20x), montado sobre una base micrométrica XYZ, para incidir la luz en 1 km de fibra estándar SMF-28 posteriormente el dispositivo de presión se colocó y todo es observado en un analizador de espectro óptico (OSA).

Con este tipo de diodo láser y lo largo de la fibra óptica, se generan fenómenos no lineales obteniendo a la salida un ancho espectro de luz llamado generación de supercontinuo, estos fenómenos no lineales se dan de acuerdo al tamaño de los pulsos y las potencias picos al propagarse estos a través de la fibra óptica.

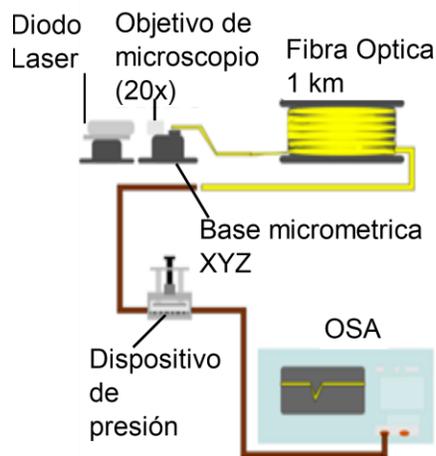


Figura 4.1.- Diagrama de arreglo experimental.

4.2 Caracterizaciones

La primera prueba fue la caracterización de las diferentes rejillas mecánicas que se tienen en el laboratorio, estas se fabricaron con anterioridad, así como algunas que se mandaron hacer en una maquina CNC del taller de manufactura. Todas las rejillas están hechas de aluminio principalmente porque es un material fácil de trabajar con respecto al grabado de rejillas y por la rigidez que requieren las rejillas para ejercer una deformación necesaria en la fibra óptica.

Estas fueron clasificadas conforme a las características siguientes:

Rejilla	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Zona Rejillas (mm)	Numero Rejillas (Repeticiones)	Valle Cresta (mm)	Separación cresta-cresta o Periodo (mm)
A	75.2	30	5.62	58.64	90	0.62	0.42
B	75.1	30.8	6	57	92	0.2	0.4
C	74.5	30.34	6.08	58	91	0.7	0.44
D	79.8	29.6	8.4	40.3	32	0.2	1
E	35.54	23.86	6.22	TOTAL	53	0.68	0.4
F	35.46	23.6	6.8	TOTAL	54	0.44	0.56
G	75.18	30.22	5.64	42.46	67	0.38	0.4

Tabla 4.1.- Dimensiones de las diferentes rejillas mecánicas utilizadas en el presente trabajo.

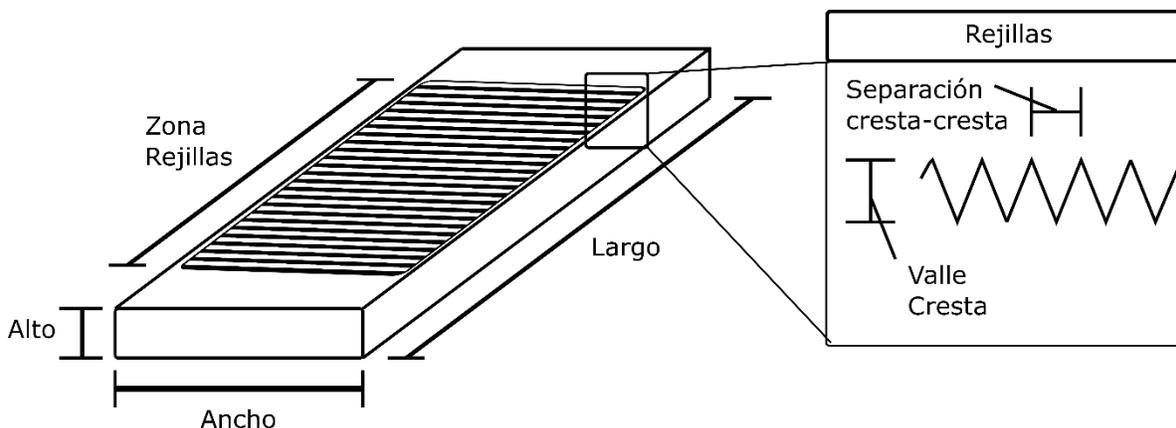


Figura 4.2.- Esquema de Rejilla Mecánica.

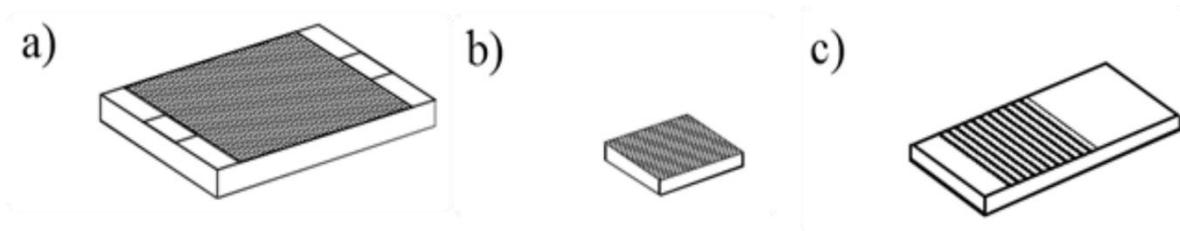


Figura 4.3.- Rejillas de periodo largo mecanicas.

4.2.1 Primera prueba: Caracterización de rejillas

Las pruebas se realizaron presionando la fibra óptica contra las rejillas de periodo largo mecánicas que ya se mencionaron con anterioridad.

El dispositivo ejerce presión controlada conforme a cada paso que da el motor a pasos, el motor a pasos tiene un torque de 109.8 mN·m, sin embargo, no es la presión total que se ejerce sobre la fibra.

El dispositivo es inicializado con un push button de la posición inicial de la prensa que ejerce la presión hasta una posición por encima de la rejilla mecánica, a partir de aquí se va poniendo dando un paso por motor hasta el momento en que existen cambios en la señal observada del analizador de espectro óptico (OSA).

Las características que se tienen en consideración para el análisis de la atenuación de onda que se genera a partir de la aplicación de presión en la fibra óptica con las rejillas de periodo largo mecánicas son el pico de atenuación, longitud de atenuación, ancho espectral y pérdidas de inserción. En la figura 4.4 se muestran el espectro de la rejilla generada y las características antes mencionadas.

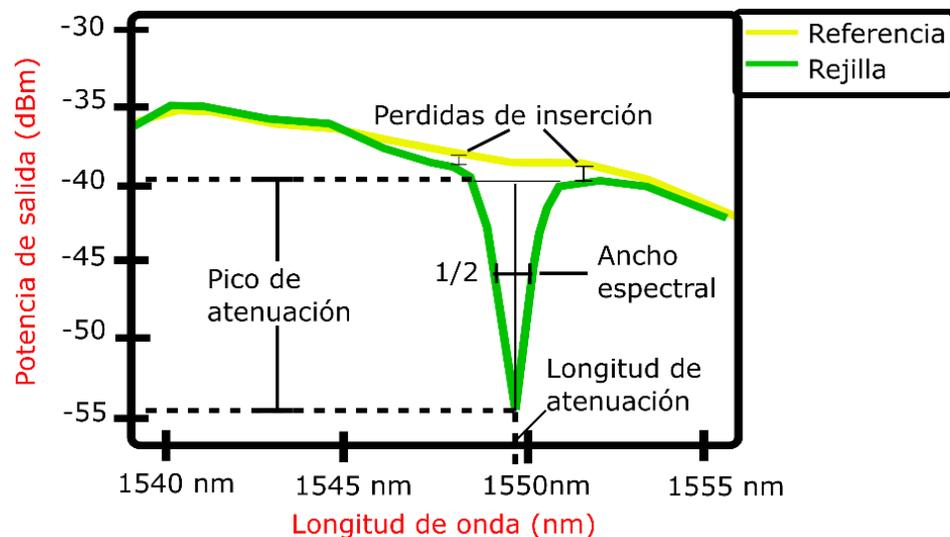


Figura 4.4.- Características del espectro resultante.

4.2.1.1 Rejilla A (periodo de rejilla de 0.42 mm)

En esta primera prueba se tiene una rejilla de periodo 0.42 mm la cual por simplicidad fue dada el nombre de **Rejilla A**. En la figura 4.5 se muestra una gráfica en la cual se tiene 3 líneas de resultados; la línea “Referencia” representan una fuente de luz supercontinuo la cual se utilizó para tener un margen de referencia entre la experimentación con cada rejilla. La **línea A** representa la primera respuesta al cual el sistema respondió a la presión ejercida, posteriormente se aplicó un nuevo paso de motor (al momento de dar este paso aplica la presión en el dispositivo) y la **línea B** es la representación de ese resultado y el cual es la presión máxima, ya que después de este punto no se pudo continuar aplicando presión.

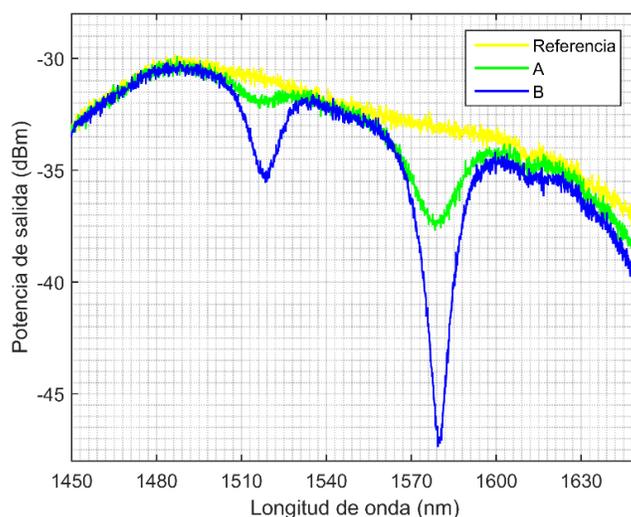


Figura 4.5.- Espectro resultante de la rejilla A.

En la tabla 4.2 se observan los datos obtenidos de la gráfica mostrada en la figura 4.5.

Líneas	λ 1 atenuación (nm)	Pico 1 atenuación (nm)	Ancho espectral (nm)	λ 2 atenuación (nm)	Pico 2 atenuación (dBm)	Ancho espectral (nm)	Perdidas de inserción (dBm)
A	x	x	x	1579	5	15	0.5
B	1520	3	9	1580	14	7	2

Tabla 4.2.- Datos de figura 4.5.

4.2.1.2 Rejilla B (periodo de rejilla de 0.4 mm)

El dispositivo de presión está diseñado para las dimensiones de la mayoría de las rejillas con las cuales se está experimentando a excepción de las **rejillas D, E y F**, estas dos últimas tienen que ser fijadas con cinta adhesiva doble cara (sujetar las rejillas de dimensiones más pequeñas). Con la finalidad de observar si afectaba al resultado el tener una protuberancia en la base de las rejillas, fue utilizado el mismo método en la **rejilla B** y se muestra la comparación en la figura 4.6 con incisos a) Ajuste normal y el inciso b) Ajuste con cinta adhesiva doble cara.

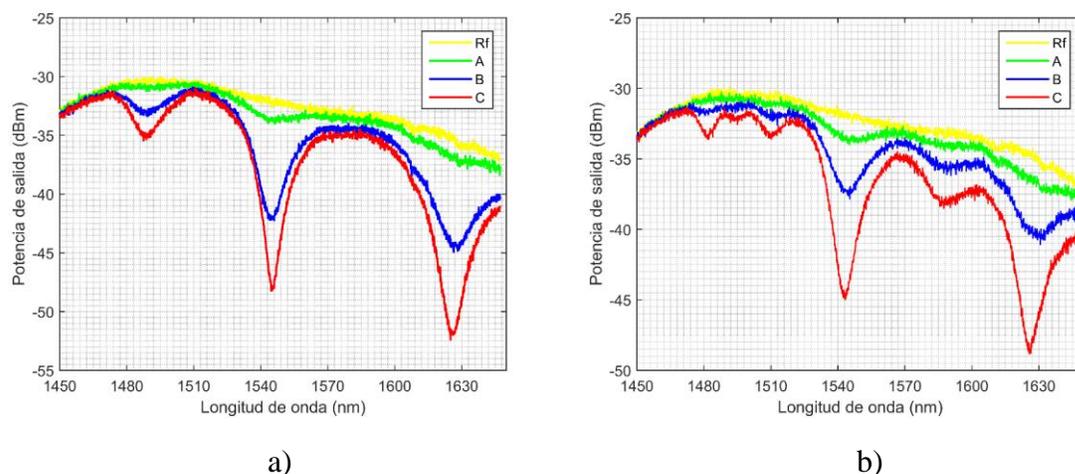


Figura 4.6.- Espectro de rejilla B a) Ajuste normal, b) Ajuste con cinta adhesiva doble cara.

Líneas a)	λ 1 (nm)	P1 (nm)	A E (nm)	λ 2 (nm)	P2 (dBm)	A E (nm)	λ 3 (nm)	P3 (nm)	A E (nm)	Perdidas de inserción (dBm)
A	x	x	x	1530	x	x	1625	x	x	0.5
B	1480	2	12	1545	7.5	10	1625	6	19	1
C	1519	3.5	10	1545	14	8	1625	11	12	1.5
b)										
A	x	x	x	1545	1	20	1630	x	x	0.5
B	x	x	x	1545	4	15	1630	3.5	20	3
C	x	x	x	1543	10.5	10	1627	9	12	4.5

Tabla 4.3.- Datos de figura 4.6.

Con la **rejilla B** se pudieron observar 3 líneas de respuesta en el espectro resultante, en cada una de las dos pruebas que tuvieron reacción a la presión ejercida por el motor. Tanto en la tabla 4.3 y la figura 4.6 se muestran las diferencias de tener una perturbación física en la base de la rejilla, ya que en la prueba normal se tuvieron 3 picos de atenuación nítidos y con

pérdidas de inserción máximas a 1.5 dBm y un pico de atenuación con profundidad de 14 dBm, al contrario de la prueba con la cinta adhesiva que uno de los picos de atenuación se perdió y las pérdidas de inserción son cerca de 4.5 dBm.

4.2.1.3 Rejilla C (periodo de rejilla de 0.44 mm)

La siguiente prueba fue realizada la **rejilla C** y los resultados son los siguientes:

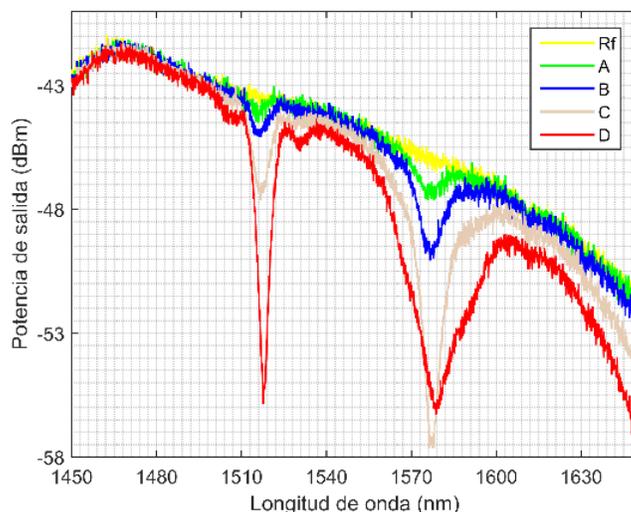


Figura 4.7.- Espectro de Rejilla C.

En la siguiente tabla se muestran los datos de las características de los espectros de la figura 4.7:

Líneas	λ 1 atenuación (nm)	Pico 1 atenuación (nm)	Ancho espectral (nm)	λ 2 atenuación (nm)	Pico 2 atenuación (dBm)	Ancho espectral (nm)	Pérdidas de inserción (dBm)
A	x	x	x	1577	1	x	0.5
B	1516	1	6	1577	3	8	0.5
C	1516	4	6	1577	9.5	7	1
D	1517	11	3	1579	7	15	2

Tabla 4.4.- Datos de la figura 4.7.

En el espectro resultante que se observa en la figura 4.7, se notan dos picos de atenuación creciendo con cada presión que ejerce el motor en el dispositivo, los valores de estos puntos se pueden observar en la tabla 4.4, el primer pico de atenuación llega a tener una profundidad considerable y el segundo pico de atenuación va creciendo con forme cada línea que se ve en la gráfica hasta llegar a un punto en el que crece el ancho espectral y las pérdidas de inserción se hacen considerables.

La **Rejilla D** no fue caracterizada ya que las dimensiones de esta rejilla excedían a la cavidad del dispositivo de presión.

4.2.1.4 Rejilla E (periodo de rejilla de 0.4 mm)

La siguiente caracterización fue dada con la rejilla E, cabe mencionar, que las rejillas E y F como ya se habían mencionado con diferentes dimensiones y son ajustadas con cinta adhesiva doble cara, los resultados obtenidos son mostrados en la tabla.

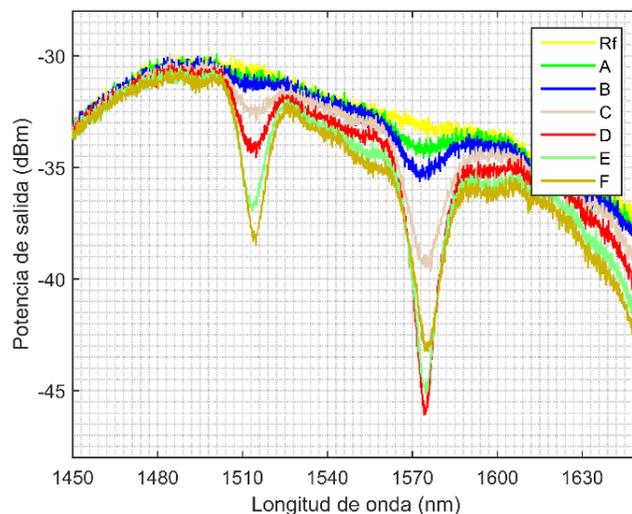


Figura 4.8.- Espectro de Rejilla E.

En la siguiente tabla se muestran los datos de las características de los espectros de la figura 4.8:

Línea	λ 1 atenuación (nm)	Pico 1 atenuación (nm)	Ancho espectral (nm)	λ 2 atenuación (nm)	Pico 2 atenuación (dBm)	Ancho espectral (nm)	Perdidas de inserción (dBm)
A	x	x	x	1575	1	12	0.5
B	1515	0.5	x	1575	2	15	0.5
C	1515	1.5	12	1575	6	10	1
D	1515	2	9	1575	11	7	2
E	1515	5	8.5	1575	9.5	10	2.5
F	1515	7	9	1575	7	9.5	3

Tabla 4.5.- Datos de la figura 4.8.

Los resultados mostrados en la figura 4.8, muestran en dos picos de atenuación, el primer pico tuvo un crecimiento progresivo hasta llegar a 7 dBm, sin embargo, en los segundo picos de atenuación estos tuvieron un crecimiento favorable hasta 11 dBm máximos y posteriormente fue descendiendo a 7 dBm.

4.2.1.5 Rejilla F (periodo de rejilla de 0.56 mm)

En la siguiente figura 4.9 se muestra los espectros obtenidos de la **rejilla F**.

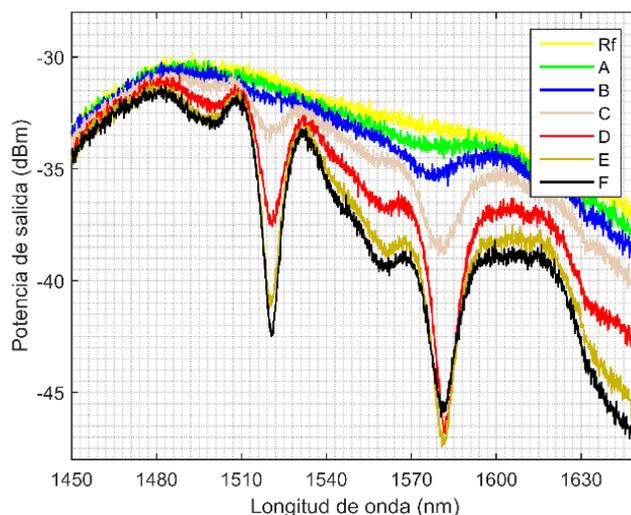


Figura 4.9.- Espectro de Rejilla F.

En la siguiente tabla se muestran los datos de las características de los espectros de la figura 4.9:

Línea	λ 1 atenuación (nm)	Pico 1 atenuación (nm)	Ancho espectral (nm)	λ 2 atenuación (nm)	Pico 2 atenuación (dBm)	Ancho espectral (nm)	Perdidas de inserción (dBm)
A	x	x	x	1579	0.5	x	0.5
B	1519	0.5	x	1579	2	20	1
C	1519	1.2	12	1580	3.5	15	1.5
D	1520	5	8	1580	10	9.5	3
E	1520	8	6.5	1580	9	10	5
F	1520	9.2	7	1580	6.9	10	6

Tabla 4.6.- Datos de la figura 4.9.

La **rejilla F** muestra pérdidas de inserción muy altas donde sobre pasan los 3dBm, en la figura 4.9 se puede visualizar a simple vista, en las **rejillas E y F** la similitud en los picos es observable, pero la diferencia de pérdidas que tiene una de otra es muy amplia. A lo que se concluye un mal acomodo pues las dimensiones de estas dos rejillas, aparte de la perturbación con la base del dispositivo y el periodo de cada una de estas rejillas.

4.2.1.6 Rejilla G (periodo de rejilla de 0.4 mm)

Se utilizó la **Rejilla G** para finalizar con la caracterización de las rejillas mecánicas, el espectro resultante se muestra en la figura 4.10.

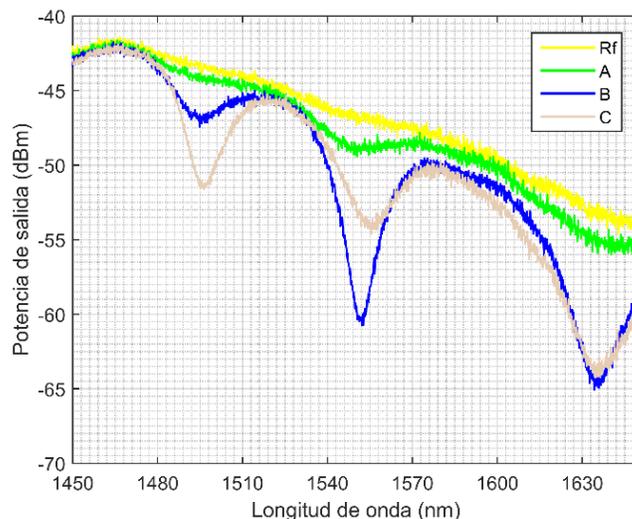


Figura 4.10.- Espectro de Rejilla G.

En la siguiente tabla se muestran los datos de las características de los espectros de la figura 4.10:

Líneas a)	λ 1 (nm)	P1 (nm)	A E (nm)	λ 2 (nm)	P2 (dBm)	A E (nm)	λ 3 (nm)	P3 (nm)	A E (nm)	Perdidas de inserción (dBm)
A	x	x	x	1550	1	x	1630	1	x	0.5
B	1496	2	2	1552	11	14	1635	9	20	1
C	1550	6	13	1555	4	15	1635	7	24	1.5

Tabla 4.7.- Datos de la figura 4.10.

Con la rejilla G las pérdidas de inserción tuvieron un desplazamiento de longitud de onda a comparación de las otras rejillas, ya que la mayoría de las rejillas tienen un periodo similar, este cambio se le atribuye al menor número de repeticiones de crestas en la rejilla al igual de la distribución en que se encuentran estas rejillas como se puede observar en la figura 4.3.

En general el periodo de las rejillas mecánicas es de muy poca variación una de otra, y aunque el espectro que presentan cada una de ellas es muy similar, la diferencia radica en la longitud de onda en que se notan los picos de atenuación, ya que un tercer pico en algunas pruebas si se presentó y en otras se notaba en una longitud de onda mayor a la que el analizador de espectro óptico (OSA) es capaz de analizar. Por lo que se tiene que tener en cuenta parámetros de profundidad de cada cresta, la altura de la rejilla etc...

4.2.2 Segunda prueba: Torsión en la fibra óptica

En la segunda prueba realizada con el dispositivo de presión para rejillas de periodo largo mecánicas, la fibra fue sometida a una torsión controlada (con un dispositivo graduado) y la presión es ejercida en el tramo de fibra que es torcida.

Esta prueba tiene la finalidad de observar el comportamiento de la atenuación de la señal, y en el momento de aplicar el dispositivo de presión en un láser de fibra óptica sintonizable tener mayor sintonización de longitud de onda.

Para la prueba de torsión se necesitaron adaptaron dos sujetadores de fibra, uno a cada lado del dispositivo como se muestra en el esquema siguiente:

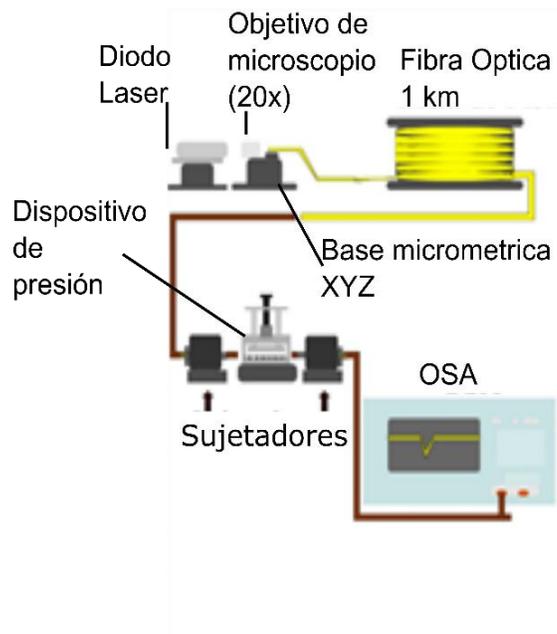


Figura 4.11.- Arreglo con sujetadores de fibra óptica para ejercer torsión.

Un sujetador cuenta con un regulador graduado para torcer la fibra y tener una medición precisa en el ángulo de giro con que se está ejerciendo la torsión, el otro sujetador es el tope para tener una sección de la fibra torcida y no se corra por todo el arreglo. Entre esta sección se está posicionando el dispositivo de presión el cual fue utilizado con la máxima presión que ejerce en cada resultado.

En la gráfica de la figura 4.12, se tiene una señal de referencia proveniente de la fuente de amplio espectro con el nombre de **línea Rf**, posteriormente se tiene una señal con el nombre de **línea 0°** que representa un resultado con pura presión sin torcer la fibra.

Si se pretende girar ciertos ángulos para torcer la fibra es necesario quitar la presión del dispositivo y girar el regulador, posteriormente se aplica la presión máxima para observar los cambios.

En la Figura 4.12 se presenta los resultados con la **Rejilla A (periodo de 0.42 mm)**, se puede observar el giro por los ángulos que se aplicó en el regulador 90°, 120°, 240°, 270°, 360°, 720°, 1180°.

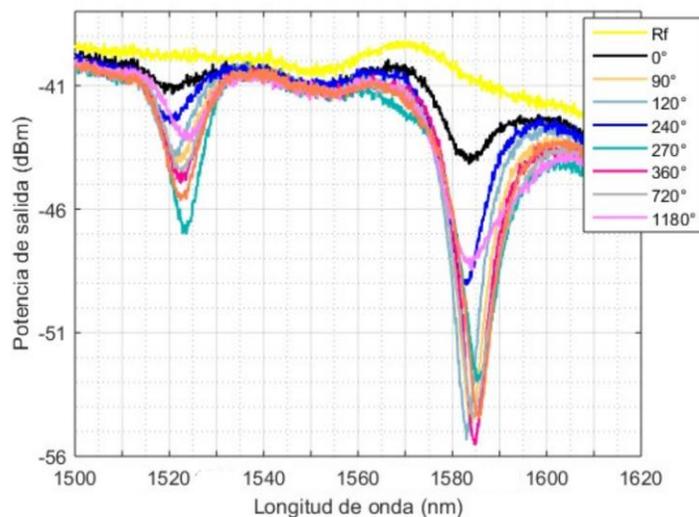


Figura 4.12.- Aplicando torsión con Rejilla A en todo el espectro.

Se realizó el análisis de cada pico de atenuación por separado con la finalidad de apreciar mejor los resultados de la figura 4.12.

En el primer pico de atenuación los valores obtenidos son representados en la tabla 4.8, en la tabla 4.9 se muestran los valores del segundo pico de atenuación.

Línea Primer pico	λ de atenuación (nm)	Pico de atenuación (dBm)	Ancho espectral (nm)	Perdidas de inserción (dBm)	
				1513 nm	1535 nm
0°	1526	0.5	6	0.5	0.5
90°	1522	5.5	8.2	1.2	0.7
120°	1521	3.4	7.9	1	0.5
240°	1520	2.3	7.9	0.5	0.5
270°	1524	6.5	7.8	1.2	0.5
360°	1522	4.2	7.6	1	0.5
720°	1523	3.7	7.2	0.7	0.5
1180°	1525	2.6	8.2	0.7	0.5

Tabla 4.8.- Primer pico de atenuación de la figura 4.12.

Línea Segundo pico	λ de atenuación (nm)	Pico de atenuación (dBm)	Ancho espectral (nm)	Perdidas de inserción (dBm)	
				1570 nm	1595 nm
0°	1583.5	1	6.8	0.5	0.6
90°	1585.5	11	7	2.5	2.3
120°	1583	11.5	6.1	2.5	1.8
240°	1583	5.8	8.1	1.2	1.5
270°	1585.8	8.8	8	2.7	3.9
360°	1584.8	12.5	7	1.5	2.6
720°	1584.5	10.9	8.7	1.8	3.2
1180°	1584.2	3.5	12.5	2	3.6

Tabla 4.9.- Segundo pico de atenuación de la figura 4.12.

Los resultados obtenidos muestran cambios en las siguientes características: longitud de onda de atenuación, en la profundidad de los picos de atenuación y pérdidas de inserción. Esto puede ser usado para obtener un patrón de sintonización.

Los resultados obtenidos, aunque demostrativos, son buenos resultados sin embargo en aplicación no son muy factibles, esto debido a la falta de linealidad al ir pasando de un grado a otro consecutivo y no tener un comportamiento que pueda ser predecible, aunque pueden ser utilizados para ajustes de alto orden.

La causa principal de que estos datos no sean de mucho agrado, es porque el tramo de fibra posterior al giro en ángulos se tiene un tope, para evitar torceduras en otros lados no deseados del arreglo, pero antes del regulador de giro de la fibra no se tiene un tope que evitara que la fibra se torciera en secciones no deseadas.

Este hecho fue visualizado al finalizar las pruebas, ya que se realizaron más pruebas de esta índole, similares a las mostradas en esta sección. La solución propuesta para evitar fenómenos no deseados en el arreglo es la siguiente:

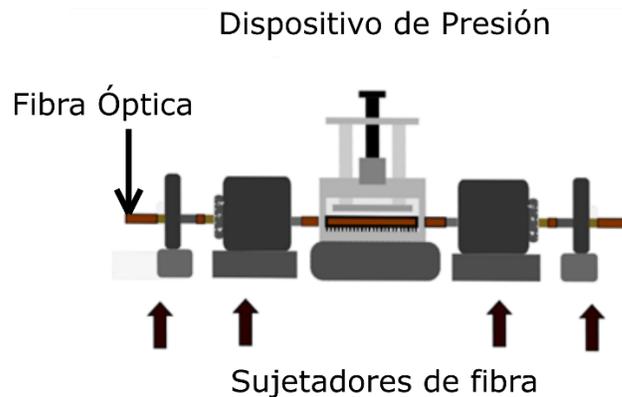
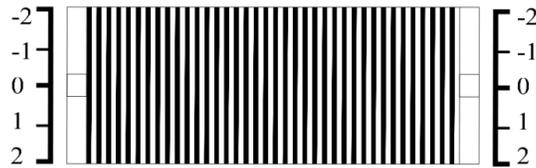


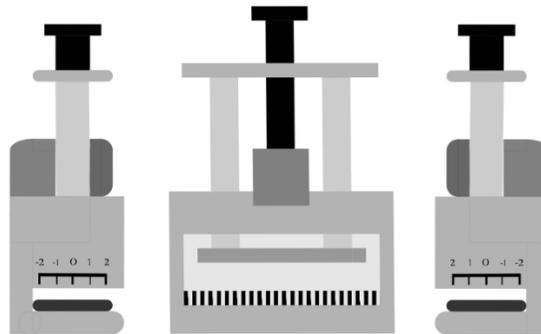
Figura 4.13.- Arreglo con dos sujetadores extra.

4.2.3 Tercer prueba: Cambio de posición de la fibra óptica en la rejilla mecánica

Debido al análisis de algunos resultados comentados con anterioridad, se llegó al entendimiento de las diferencias que existen al colocar la fibra de un punto inicial en un extremo de la rejilla a un punto final en el otro extremo, como se puede mostrar en la figura 4.14. A continuación una figura de la graduación de la rejilla y del dispositivo.



a)



b)

Figura 4.14.- a) Rejilla mecánica y la graduación que se le asignó. b) Dispositivo visto de frente y a sus lados una representación los laterales y como fue graduado.

Esta prueba de posición de la fibra óptica en la rejilla mecánica de periodo largo, fue realizada con la **Rejilla C** la cual cuenta con un **periodo de 0.44 nm**.

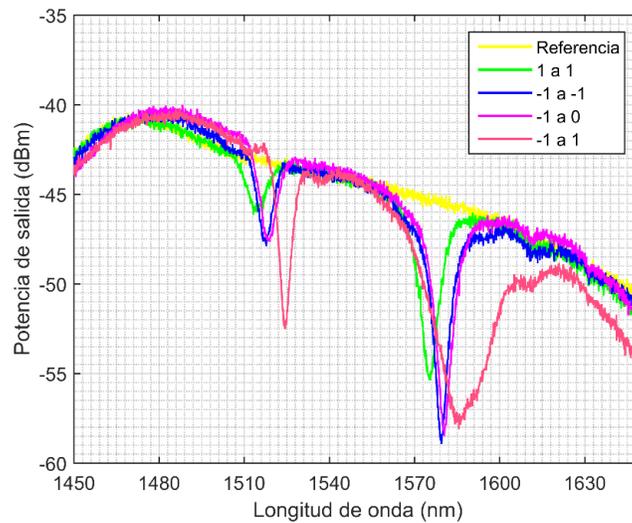


Figura 4.15.- Espectro con diferente posición en la rejilla C.

Los resultados obtenidos de esta prueba se representan en la gráfica (figura 4.15) son representados con 4 líneas diferentes la primera representa la posición en las placas laterales del dispositivo en los puntos **1** en lado izquierdo y **1** en lado derecho, posteriormente se realizaron pruebas con diferentes posiciones.

Los datos obtenidos de cada línea son mostrados en la siguiente tabla:

Línea	λ_1 atenuación (nm)	Pico 1 de atenuación (dBm)	Ancho espectral (nm)	Perdidas de inserción (dBm)	
				1500 nm	1520 nm
1 a 1	1515	5.3	8	0.1	0.1
-1 a -1	1517	4.5	6	0	0
-1 a 0	1519	4.5	6	Aumento	Aumento
-1 a 1	1524	9.2	4.5	Aumento	0.1
	λ_2 atenuación (nm)	Pico 2 de atenuación (dBm)	Ancho espectral (nm)	Perdidas de inserción (dBm)	
				1550 nm	1590 nm
1 a 1	1575	9.5	7	0	0.1
-1 a -1	1580	12.5	5.5	0	1
-1 a 0	1582	12	6	0	0.5
-1 a 1	1585	8.5	23	x	x

Tabla 4.10.- Datos de figura 4.15.

Estas mediciones no representan una caracterización total de todas las posiciones en la rejilla, sino una prueba demostrativa del cambio que sufre con ciertas posiciones que se coloque la fibra.

Capítulo V

Resultados de Aplicación

En este capítulo el dispositivo de presión es aplicado en un arreglo laser sintonizable, realizando diferentes pruebas tanto de sintonización, estabilidad y otras adicionales como control de polarización.

5.1 Arreglos de aplicación

El dispositivo de presión fue aplicado en el arreglo de un láser de fibra óptica de cavidad en anillo, con el fin de cambiar la longitud de onda de láser y que el dispositivo tenga una aplicación como un control de láser de fibra óptica sintonizable.

El arreglo del láser de fibra óptica (Figura 5.1) que se utilizó para aplicar en este trabajo de tesis fue realizado en un trabajo anterior en el laboratorio de optoelectrónica, en una tesis de maestría el arreglo que se menciona se muestra a continuación [10]. El diodo utilizado en esta sección se utilizó con 200 mA en el control de corriente y 9.5 K Ω .

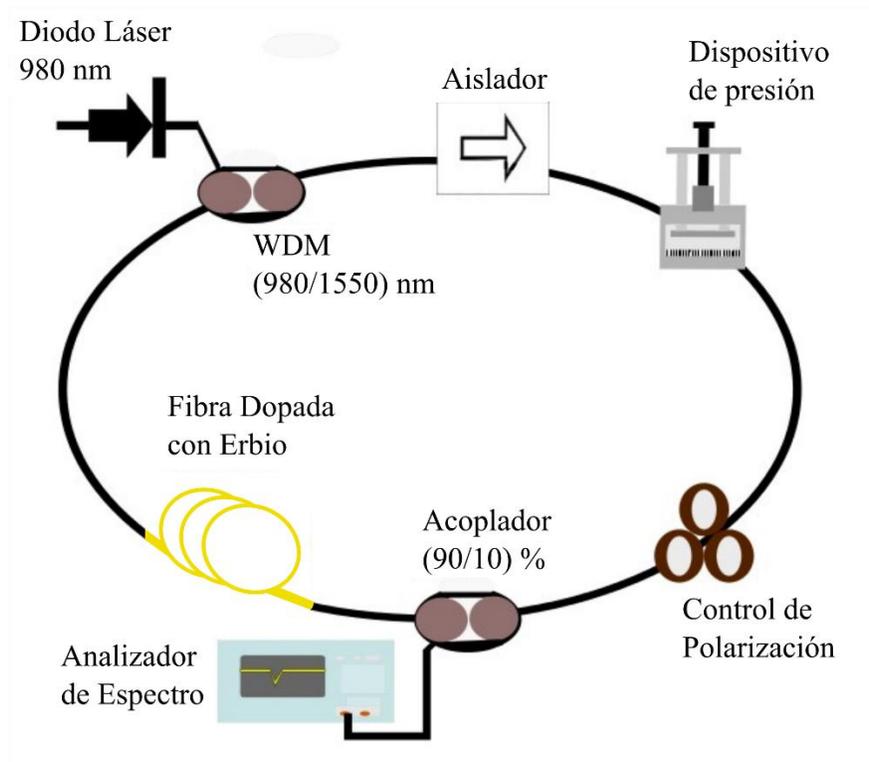


Figura 5.1.- Esquema de Láser Sintonizable.

El dispositivo de presión fue utilizado con diferentes rejillas para observar los cambios efectuados, se utilizaron la **rejilla A, C y F**. Los cambios fueron observados en la salida con el analizador de espectro óptico.

Posteriormente fue sustituido el analizador de espectro con un polarímetro para observar si existían cambios en la polarización del arreglo al aplicar el dispositivo de presión.

El arreglo para la medición de polarización se muestra en la siguiente figura, se observa el polarímetro conectado a una Laptop en la cual se controlaba y observaban los datos obtenidos.

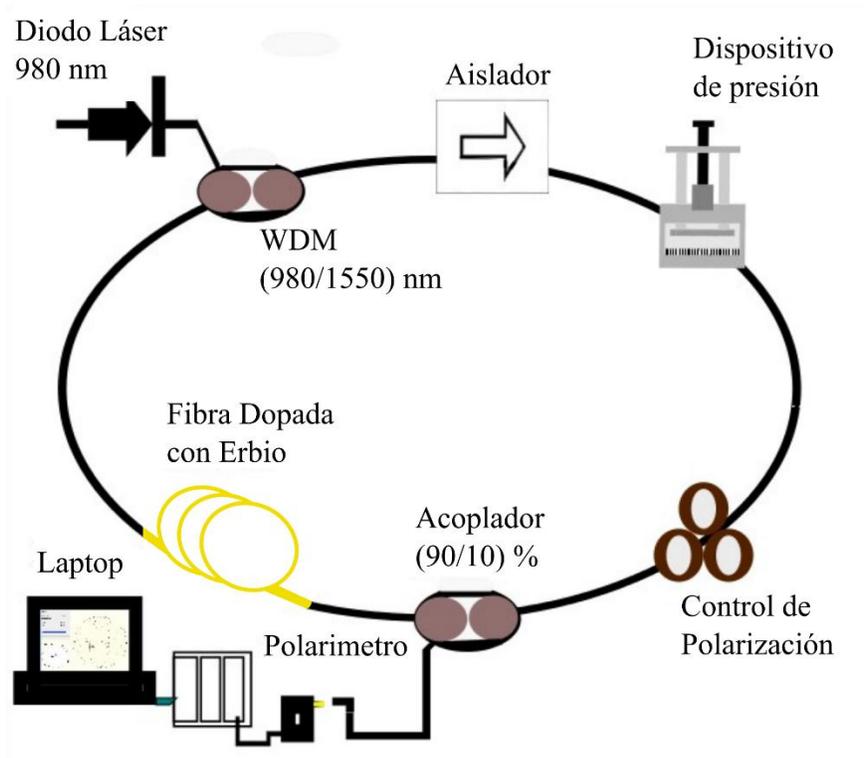


Figura 5.2.- Arreglo de láser sintonizable monitoreando la polarización.

5.2 Láser sintonizable

Las pruebas realizadas a continuación son:

- 1.- Pruebas con las **rejillas A, C y F**
- 2.- Análisis de la posición de la fibra en la **rejilla A**.
- 2.- Se aplicó una curvatura de fibra en el arreglo en la parte anterior al dispositivo utilizando **rejilla C**.
- 3.- Estabilidad del láser de fibra sin presión, con máxima presión desconectado el dispositivo y con máxima presión conectado el dispositivo.

5.2.1 Sintonización con Rejilla A (periodo de rejilla de 0.42 mm)

Una de las particularidades al usar la **rejilla A** en un principio fue observar lo sensible que es el sistema, ya que en la caracterización de la rejilla solo se obtuvieron 2 resultados las líneas A y B.

En la figura 5.3 se muestra la **línea Rf** que representa el pulso del láser de fibra sin presión, el cual será la referencia para observar los cambios que se producirán posteriores a utilizar el dispositivo. Se muestran en total 6 resultados a los cuales representan 6 pasos de motor a los cuales fue sensible el arreglo; A, B, C, D, E y F (tomando A como primer presión y F a una presión máxima) en los cuales se puede observar un corrimiento en longitud de onda. Los controladores de polarización se encuentran para esta aplicación los 3 en 90°. En total se obtuvo una sintonización de 6.3nm a la izquierda del pulso de referencia (Rf).

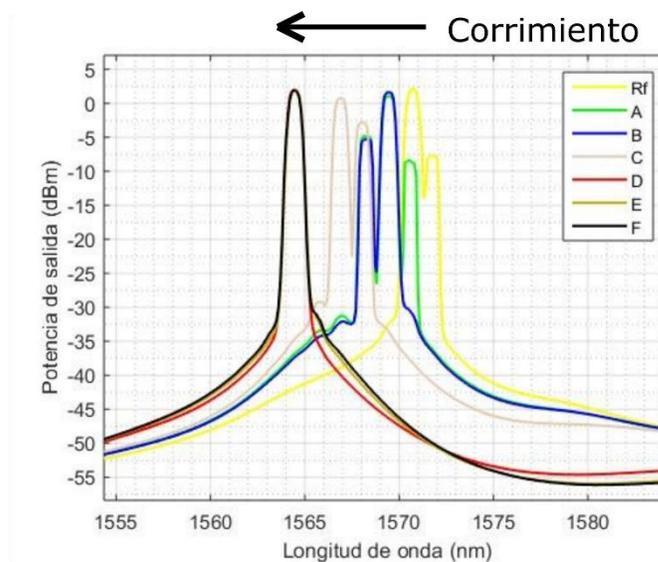


Figura 5.3.- Sintonización del láser con rejilla A.

La potencia y longitud de onda que recorrió el pulso se encuentran en la siguiente tabla:

Líneas	Longitud de onda (nm)	Potencia (dBm)
Rf	1570.8, 1571.8	2.143, -7.644
A	1568.4, 1569.5, 1570.6	-4.829, 1.073, -8.355
B	1568.3, 1569.5	-5.253, 1.617
C	1566.9, 1568.2	0.721, -2.808
D	1564.5	2.008
E	1564.5	1.934
F	1564.5	1.898

Tabla 5.1.- Datos de figura 5.3.

5.2.1.1 Diferente posición en Rejilla A (periodo de rejilla de 0.42 mm)

Los resultados obtenidos de una prueba aplicando presión normal y aplicando presión cambiando la posición, son mostrados en la figura 5.4 los cuales muestran 18 diferentes líneas de resultados, esta prueba está hecha con la **Rejilla A**.

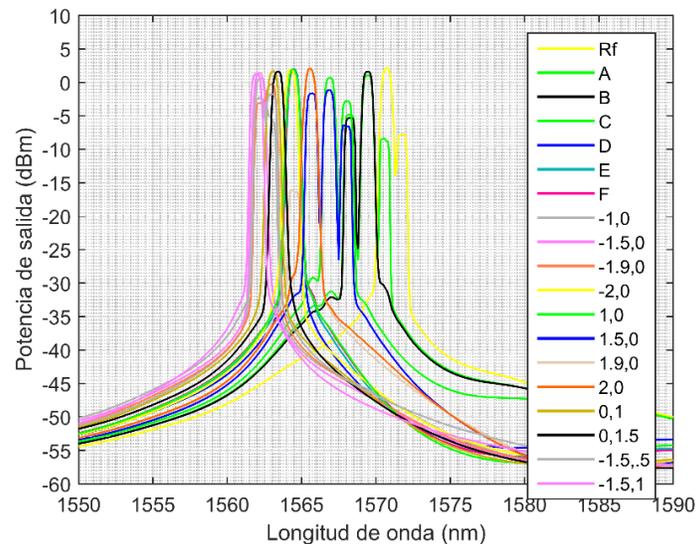


Figura 5.4.- Sintonización con diferentes posiciones en la Rejilla A.

Para analizar con mayor claridad los datos se omitieron las líneas de resultados intermedias entre la Referencia (Rf) y la última línea del resultado de presión máxima (F). Se clasificaron los datos de posición; dependiendo si el corrimiento del pulso era a la izquierda o la derecha (figura 5.5 corrimiento a la derecha y figura 5.6 a la izquierda).

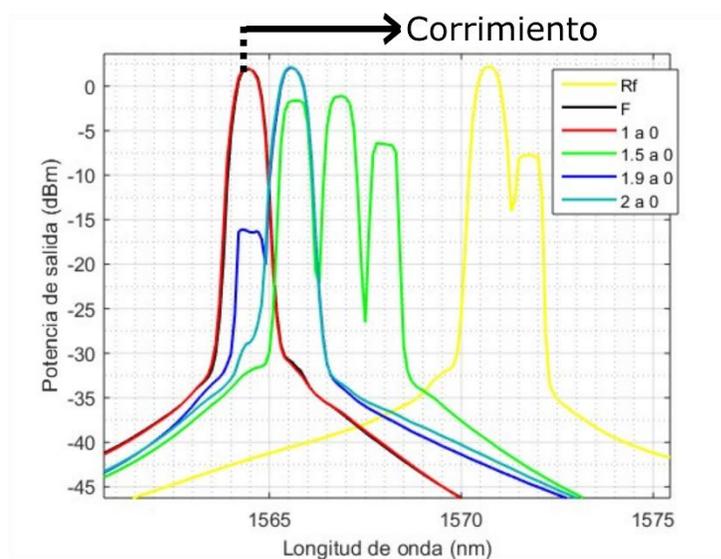


Figura 5.5.- Corrimiento derecha del resultado máximo "F".

Líneas	Longitud de onda (nm)	Potencia (dBm)
Rf	1570.8, 1571.8	2.143, -7.644
F	1564.5	1.898
1 a 0	1564.4	1.992
1.5 a 0	1565.7, 1566.9, 1567.8	-1.616, -1.09, -6.361
1.9 a 0	1564.3, 1565.6	-16.093, 2.076
2 a 0	1565.6	2.129

Tabla 5.2.- Datos de figura 5.5.

Los resultados que tuvieron una sintonización posterior en longitud de onda (corrimiento a la izquierda) a la máxima presión ejercida en este caso la **línea F**, son los siguientes:

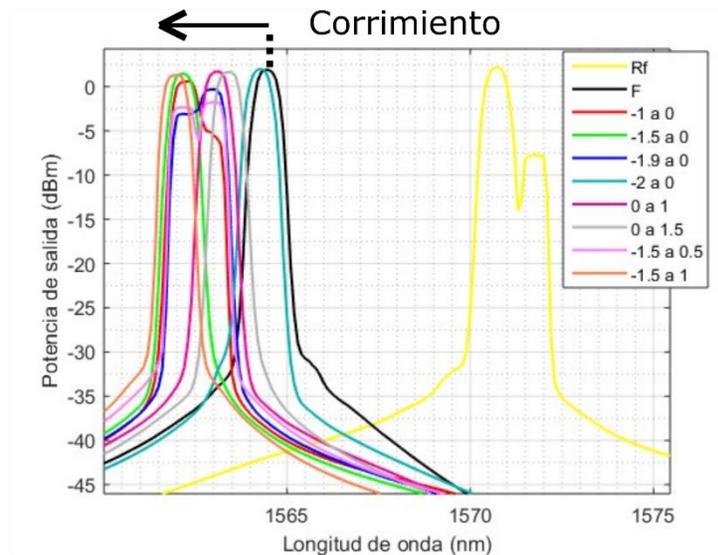


Figura 5.6.- Corrimiento izquierda del resultado máximo "F".

Los cambios que efectúan son tanto en longitud de onda, como SNR, a continuación, en la tabla siguiente se observan los datos mencionados:

Líneas	Longitud de onda (nm)	Potencia (dBm)
Rf	1570.8, 1571.8	2.143, -7.644
F	1564.5	1.898
-1 a 0	1562.4	0.599
-1.5 a 0	1562.1	1.441
-1.9 a 0	1563	-0.303
-2 a 0	1564.3	1.97
0 a 1	1563.1	1.717
0 a 1.5	1563.4	1.649
-1.5 a 0.5	1562.2, 1563.1	-2.315, -1.741
-1.5 a 1	1562	1.295

Tabla 5.3.- Datos de figura 5.6.

5.2.2 Sintonización con Rejilla F (periodo de rejilla de 0.56 mm)

En esta sección se dan a conocer resultados correspondientes a la aplicación del dispositivo de presión con la **Rejilla F**, como ya se ha mencionado con anterioridad esta rejilla tiene una peculiaridad respecto a la forma de fijarla en el dispositivo y con estas pruebas se muestran la forma en que influye esta singularidad.

Con esta rejilla se obtuvieron 3 resultados, en las cuales se mostró un corrimiento a la izquierda del pico de emisión de referencia (Rf), se pueden mostrar la distancia entre las 3 presiones ejercidas de forma uniforme (figura 5.7). La razón de tener este espacio tan marcado entre cada resultado, es por cada paso del motor que se ejecutaba, por conclusión que de tener un control de giro con mayor resolución se podría mostrar mayor resolución en la sintonización. Por otra parte, se pueden observar 15.92 nm de sintonización.

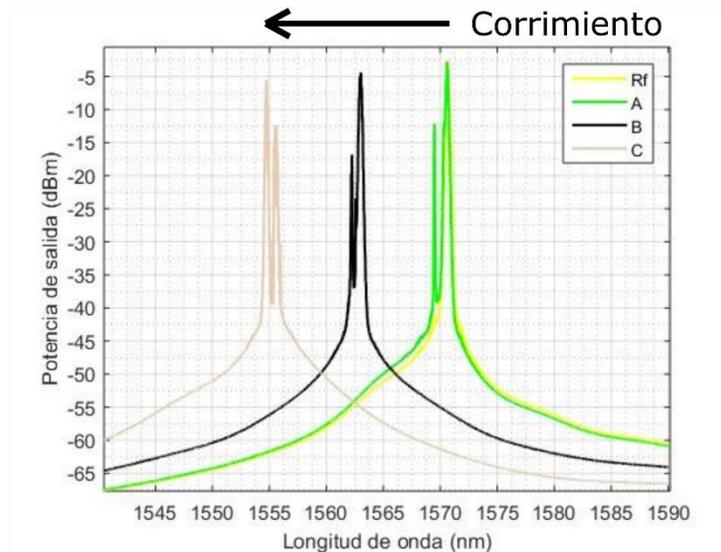


Figura 5.7.- Láser sintonizable con Rejilla F.

Los datos mostrados a los valores que se obtuvieron de cada señal de emisión se encuentran en la tabla 5.4.

Líneas	Longitud de onda (nm)	Potencia (dBm)
Rf	1570.66	-2.677
A	1569.48, 1570.58	-12.14, -2.777
B	1562.24, 1563.02	-16.828, -4.374
C	1554.74, 1555.62	-5.566, -12.434

Tabla 5.4.- Datos de figura 5.7

Cuando se realizó la aplicación del dispositivo con esta rejilla en particular se esperaban diferencias a la hora de ir retirando la presión del dispositivo, ya que en las anteriores pruebas

con diferentes rejillas se mostraba una repetición de resultados las rejillas F y E, siempre se tuvo un cambio al momento de retirar la presión como se muestra en la figura 5.8.

Sin embargo, también se mostró un detalle a considerar, ya que en un principio de utilizar el dispositivo se obtiene un resultado al inducir la presión y la fibra se acopla en una posición más estable y cuando se vuelve a aplicar la presión no coincide con el primer resultado, pero si son repetibles los segundos resultados. Por lo tanto, para realizar experimentos más confiables, es primordial aplicar una presión inicial al máximo para ajustar la fibra y posteriormente poder comenzar a experimentar.

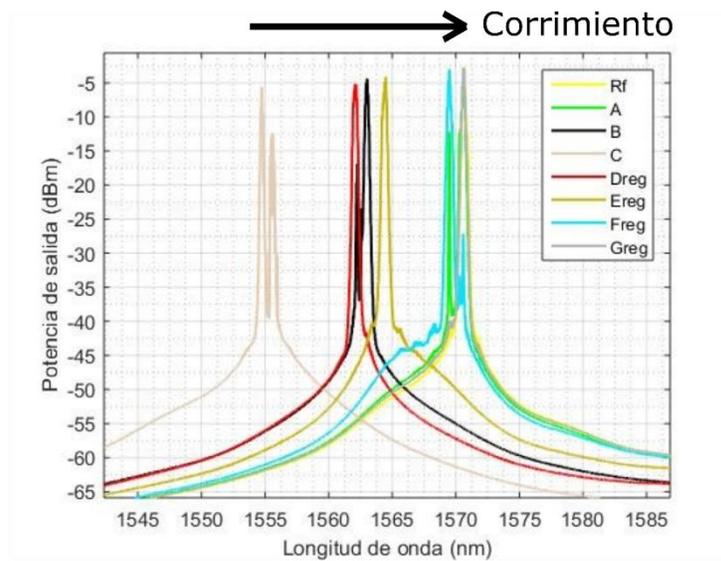


Figura 5.8.- Láser sintonizable de Rejilla F al retirar presión.

Líneas	Longitud de onda (nm)	Potencia (dBm)
Dreg	1562.08	-5.158
Ereg	1564.48	-4.153
Freg	1569.48, 1570.58	-2.976, -27.104
Greg	1570.58	-2.843

Tabla 5.5.-Datos de figura 5.8.

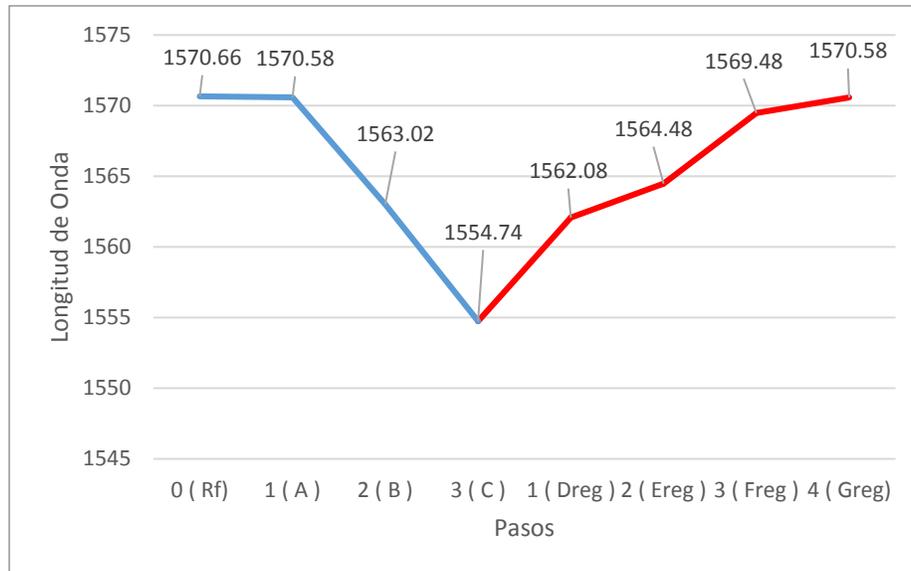


Figura 5.9.- Respuesta de presión, línea azul aplicando y línea roja retirando presión.

5.2.3 Sintonización con Rejilla C (periodo de rejilla de 0.44 mm)

Cuando se comenzó a experimentar con la **rejilla C** el control de polarización se manipuló con el fin de tener picos de emisión con una longitud de onda única. En una posición de polarización aleatoria se observaron picos de emisiones de múltiples longitudes de onda, cinco en total, por lo que fue interesante reportar la aplicación de esta rejilla con la configuración del control de polarización y observar la sintonización del láser con estas condiciones.

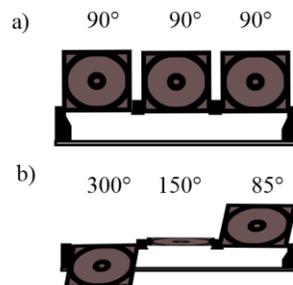


Figura 5.10.- a) Control polarización 90°, b) Control polarización usado para figura 5.11.

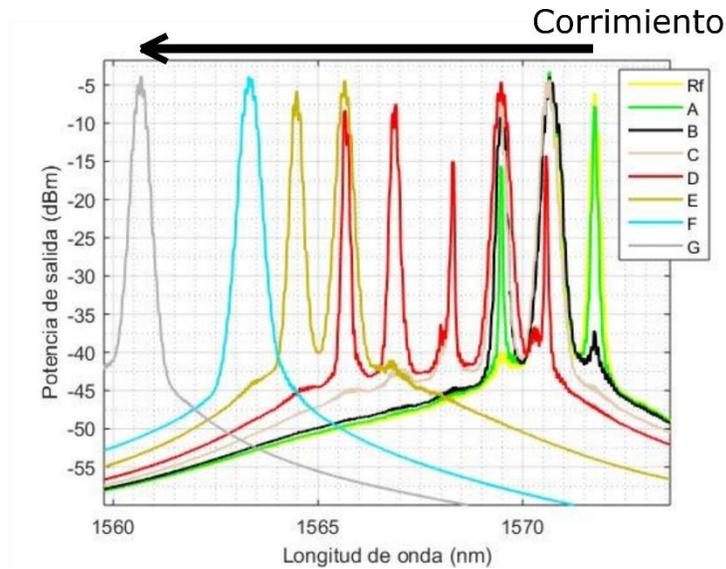


Figura 5.11.- Resultados de sintonización con Rejilla C.

Línea	Longitud de onda (nm)	Potencia (dBm)
Rf	1570.66, 1571.76	-3.359, -6.091
A	1569.46, 1570.66, 1571.74	-15.552, -3.242, -7.755
B	1569.48, 1570.66	-6.176, -3.92
C	1568.28, 1569.4, 1570.66	-16.374, -6.148, -4.283
D	1565.66, 1566.9, 1568.3, 1569.48, 1570.56	-8.308, -7.456, -14.968, -4.584, -14.221
E	1564.48, 1565.64	-5.741, -4.447
F	1563.38	-4.139
G	1560.68	-3.794

Tabla 5.6.- Datos de la figura 5.11.

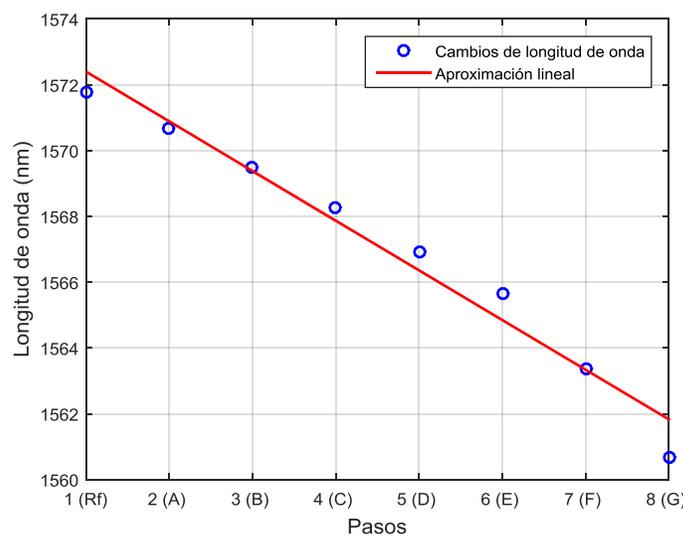


Figura 5.12.- Respuesta de presión y longitud de onda resultante.

5.2.3.1 Laser con curvatura

En esta parte del trabajo se incorporaron dos sujetadores de fibra para dar curvatura en una sección anterior al dispositivo de presión (figura 5.13), el control de polarización se adaptó para tener un pico de emisión de una longitud de onda, después de sujetar la fibra con los torcedores se acercó un extremo a otro con el tornillo micrométrico incorporado en los sujetadores y a la fibra se le realizó una curvatura.

Se tomó medición de la distancia de la fibra puesta con los sujetadores X la cual fue 3.44 cm y la medida posterior al acercar la fibra para que se creara la curvatura es de 2.67 cm, el cambio que sufrió (ΔX) del valor inicial al final es de 3.44 cm – 2.67 cm.

$$C = \sqrt{24\Delta X / X^3}$$

La curvatura resultante tiene un valor de:

$$C = 0.6737 \text{ cm}$$

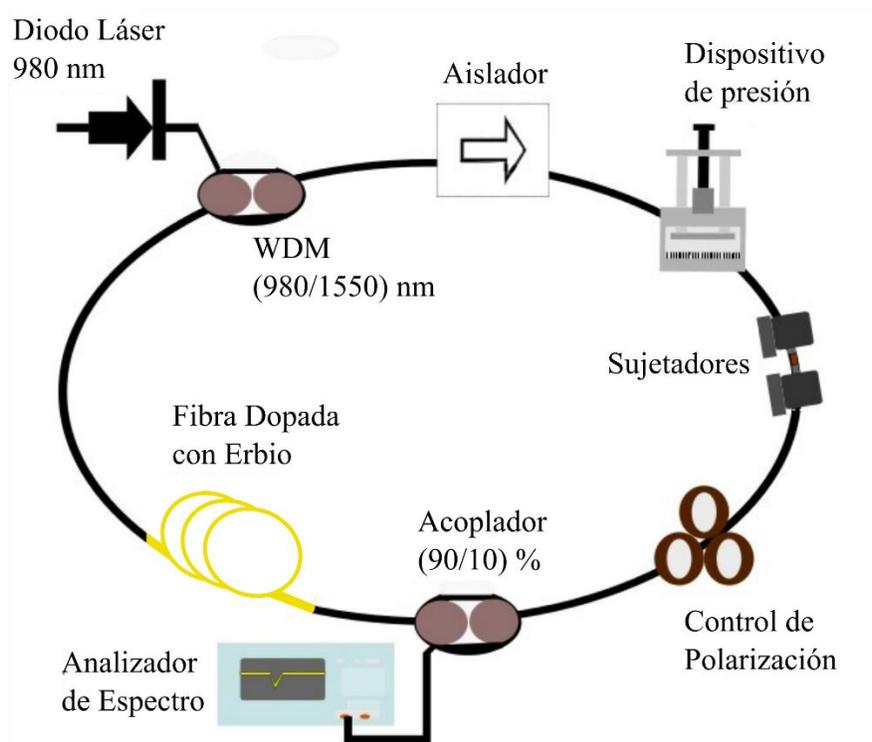


Figura 5.13.- Esquema de laser sintonizable con sujetadores para curvatura.

La señal de referencia sin presión quedo como un láser de múltiples longitudes de onda, con una longitud de onda en 1569.48 y otra en 1570.58, en la figura 5.14 se muestra el corrimiento a la izquierda de los picos de que se generó al aplicar la presión con el dispositivo. Esta prueba fue realizada con la **Rejilla C** con un **periodo de la rejilla 0.44 mm**.

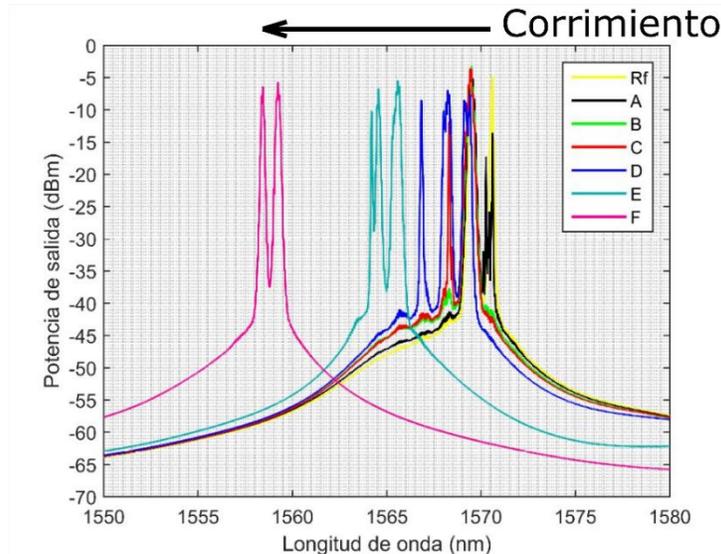


Figura 5.14.- Láser sintonizable con Rejilla C y curvatura.

En la siguiente grafica figura 5.15, se muestran resultados que representan la referencia y la sintonización máxima obtenida, comparando con curvatura y sin curvatura ambos valores de cada uno. La **línea Rf** representa a la referencia sin curvatura, la **línea Max** representa a la sintonización máxima sin curvatura y a su vez la **línea Rf Cur** representa la referencia con curvatura y la **línea Max Cur** representa la presión máxima con curvatura.

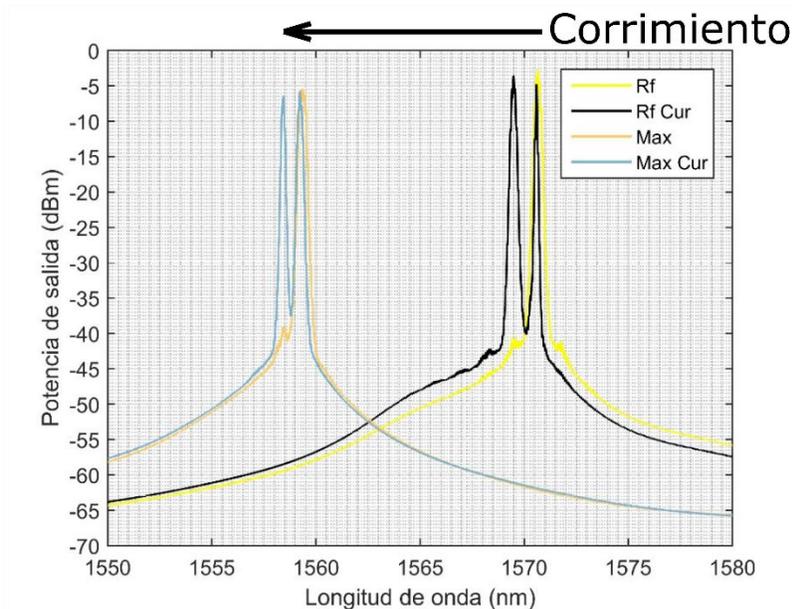


Figura 5.15.- Comparación de referencias, máximos con curvatura y sin curvatura.

Líneas	Longitud de onda (nm)	Potencia (dBm)
Rf	1570.66	-2.697
Rf Cur	1569.48, 1570.58	-3.533, -4.77
Max	1559.38	-5.422
Max Cur	1558.44, 1559.24	-6.358, -5.674

Tabla 5.7.- Datos de la figura 5.15.

5.2.4 Estabilidad

Uno de los principales datos que se analizan en cualquier láser de fibra óptica, es la estabilidad del sistema con respecto al tiempo, es por ello que se efectuaron diferentes pruebas de estabilidad con el fin de probar tanto el láser como el dispositivo.

Las pruebas que se efectuaron son las siguientes: estabilidad del láser de fibra óptica, estabilidad del láser con la máxima presión del dispositivo sin que este estuviera conectado a la corriente eléctrica y estabilidad del láser con la máxima presión del dispositivo conectado a la corriente eléctrica.

5.2.4.1 Estabilidad sin dispositivo

En este punto se muestra la estabilidad del arreglo del láser de fibra óptica con el fin de corroborar que en un principio el láser no afecte los datos obtenidos de la estabilidad con el dispositivo de presión. Se tomaron la medición de datos con intervalos de 3 minutos durante una hora, en la gráfica de la figura 5.16.

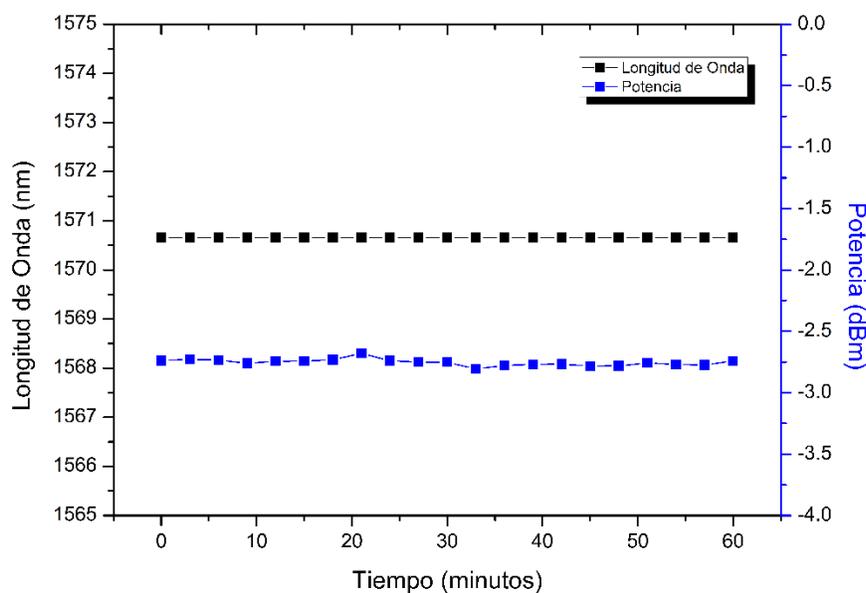


Figura 5.16.- Estabilidad del láser de fibra óptica.

La longitud de onda se mantuvo estable, los picos máximos de potencia se dieron en 1570.66 nm. La fluctuación de potencia máxima (la diferencia del pico máximo -2.679 dBm (539.6 μ W) y el pico mínimo de potencia -2.807 dBm (523.9 μ W)) es de **15.64 μ W**.

5.2.4.2 Estabilidad con dispositivo desconectado

Esta prueba de estabilidad fue realizada con el máximo punto de presión que ejerce el dispositivo para verificar que no existiera ninguna anomalía que ocasionara error al momento de estar utilizando en otras pruebas.

El motivo de tener desconectado el dispositivo es por el hecho de que mientras se trabajaba con este, el motor presentaba un aumento de temperatura por lo que en un instante se quiso saber si la variación de la temperatura afectaba los resultados.

Se tomaron la medición con intervalos de 3 minutos durante una hora, en la gráfica de la figura 5.17 se muestra de color negro la variación de longitud de onda y de color azul la variación de potencia durante este tiempo.

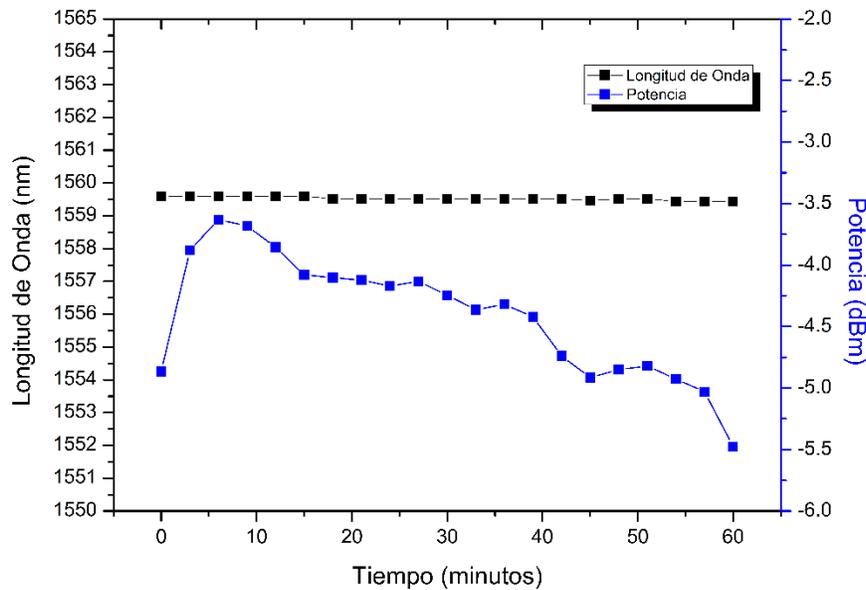


Figura 5.17.- Estabilidad del láser de fibra óptica aplicando presión con el dispositivo desconectado.

En esta prueba la longitud de onda tuvo variaciones de la longitud de onda 1559.6 nm a 1559.44 nm, el cambio máximo de longitud de onda registrado es de **0.16 nm**.

La fluctuación de potencia se tiene del menor pico registrado -5.475 dBm (283.4 μ W) al punto máximo -3.631 dBm (433.4 μ W), teniendo como una fluctuación máxima de **150 μ W**.

En los resultados de estabilidad con el dispositivo desconectado se puede observar una ligera variación en longitud de onda, pero un cambio muy drástico en potencia. Se puede suponer

que el cambio drástico sea por el motor desconectado, ya que los motores paso a paso tienen la cualidad de al estar conectados el rotor no sufre ningún movimiento y es probable que al estar con esa libertad cualquier movimiento alterara las mediciones.

5.2.4.3 Estabilidad con dispositivo conectado

Esta prueba de estabilidad fue realizada con el máximo punto de presión que ejerce el dispositivo, a diferencia de la prueba anterior esta vez el dispositivo estaba conectado y la temperatura de este fue en aumento a través de la hora que se realizó el experimento.

Se tomaron la medición de datos con intervalos de 3 minutos durante una hora, en la gráfica de la figura 5.18 se muestra de color negro la variación de longitud de onda en y de color azul la variación de potencia durante este tiempo.

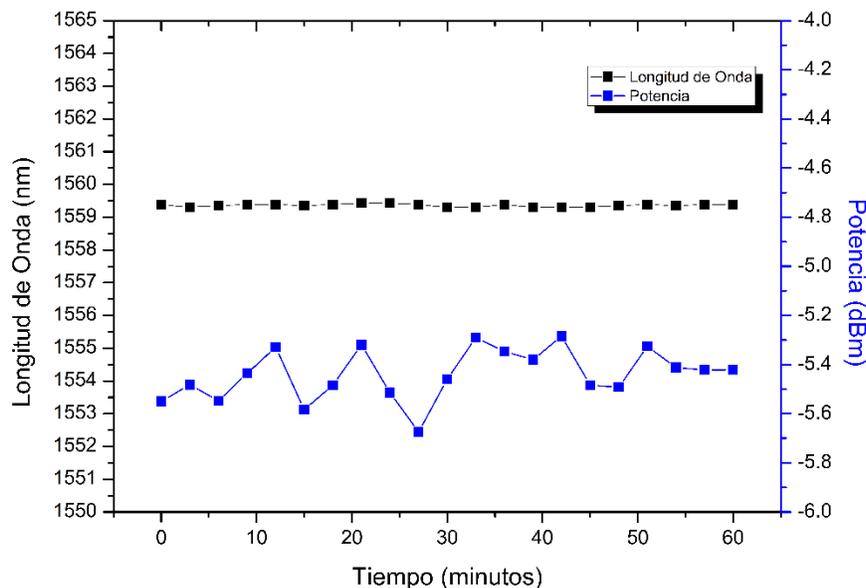


Figura 5.18.- Estabilidad del láser de fibra óptica aplicando presión con el dispositivo conectado.

En esta prueba la longitud de onda tuvo variaciones de la longitud de onda 1559.44 a 1559.3, el cambio máximo de longitud de onda registrado es de **0.14 nm**.

La fluctuación de potencia se tiene del menor pico registrado -5.779 dBm (264.3 μ W) al punto máximo -5.284 dBm (296.2 μ W), teniendo como una fluctuación máxima **31.9 μ W**.

Al conectar el dispositivo y realizar la prueba de estabilidad se mostraron resultados muchos más favorables a diferencia de los datos obtenidos con el dispositivo desconectado.

Al ejercer presión en la fibra, cambia el estado de polarización y al cambiar el estado de polarización cambia la intensidad, por lo tanto, existe variación en la potencia al aplicar la rejilla mecánica.

5.3 Polarización en arreglo de laser de fibra óptica

Posterior a la aplicación del dispositivo de presión para fibra óptica en rejillas mecánicas, en el arreglo de un láser de fibra óptica los resultados eran observados en el analizador de espectro óptico (OSA), se utilizó el mismo arreglo a diferencia de que en la salida de resultados se cambió el analizador de espectros por un polarímetro PAX5710-IR3 Thorlabs con un rango de longitud de onda 1300 nm a 1700 nm.

El fin de este experimento fue comprobar si el dispositivo podía fungir como un sistema de control de polarización. Los controles manuales de polarización fueron manipulados para tener un cierto tipo de polarización específico ya sea lineal o circular y de ahí partir ejerciendo presión controlada con el dispositivo. En esta parte del trabajo se utilizaron dos rejillas, la rejilla C y la rejilla E.

5.3.1 Prueba con rejilla C (periodo de rejilla de 0.44 mm)

En esta primera prueba se manipularon los controladores de polarización de tal manera que la interfaz del polarímetro y de la laptop mostrara una polarización circular, el dispositivo fue aplicado paso por paso aplicando presión en la fibra sobre la **rejilla C** para observar si sufría cambios, en total se tuvieron 8 resultados los cuales se muestran en la figura 5.19. En la gráfica se muestra una línea roja presentando la aplicación de presión y la línea azul cuando va retirando la presión, se puede observar los resultados varían muy poco entre puntos.

Se muestra un cambio en polarización en la gráfica donde va de la circular a la derecha a la polarización elíptica a la derecha.

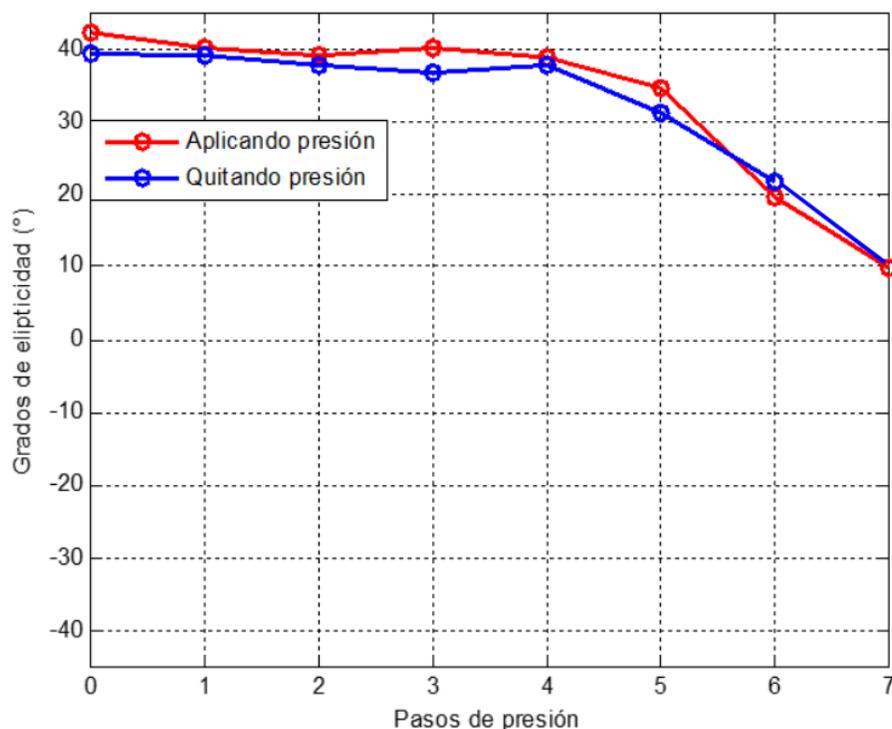


Figura 5.19.- Polarización circular prueba con rejilla C.

Posteriormente a la prueba inicial, se manipularon los controles de polarización para obtener una polarización lineal con la misma **rejilla C**.

Se observa un cambio de polarización lineal a elíptica a la izquierda en la figura 5.20.

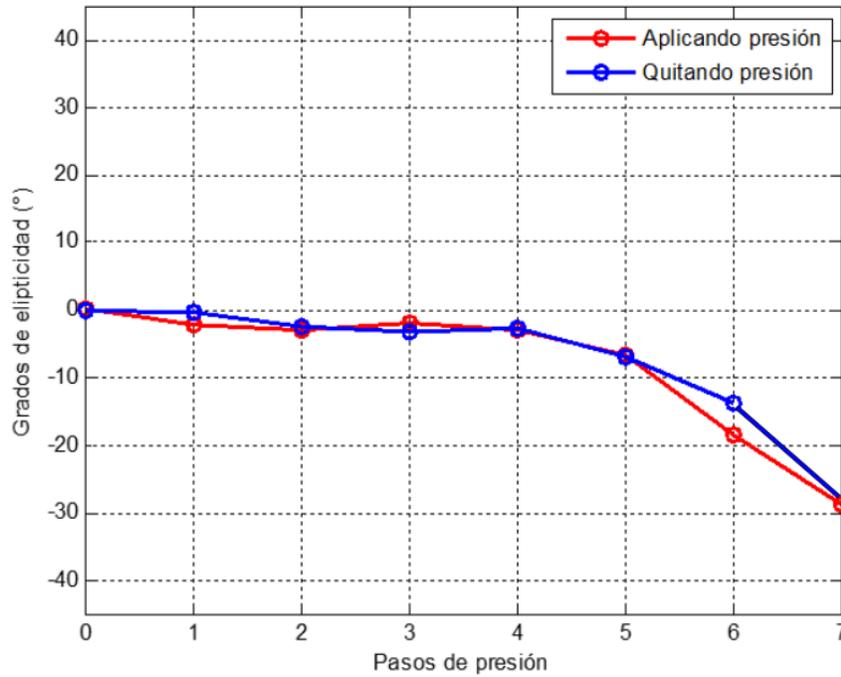


Figura 5.20.- Polarización lineal prueba con rejilla C.

5.3.2 Prueba con rejilla E (periodo de rejilla de 0.4 mm)

La prueba con el polarímetro se aplicó de la misma forma con el dispositivo a diferencia de que en esta parte se cambió la rejilla mecánica, en esta ocasión a utilizar la **rejilla E**.

Al comprobar los datos obtenidos entre las dos rejillas con la misma polarización se pueden observar que los datos de cada paso de presión son diferentes ya que mientras la **rejilla C** tiene un cambio un poco más lento la rejilla E tiene un cambio más radical e inclusive en el séptimo paso tiene un cambio radical.

Con la **rejilla E** la polarización se manifestaba de lineal a elíptica a la izquierda, pero después del séptimo paso se cambia totalmente a una polarización elíptica a la derecha. En el momento de retirar la presión inmediatamente retorna a la polarización anterior y poco a poco a su estado inicial, esto se puede observar en los resultados mostrados de la figura 5.21.

Se tiene en consideración las dimensiones de la rejilla y el amortiguamiento que producía el ajustarla en la base, por lo que no extraña los resultados de esta última prueba ya que con anterioridad se había mostrado los errores que causaba.

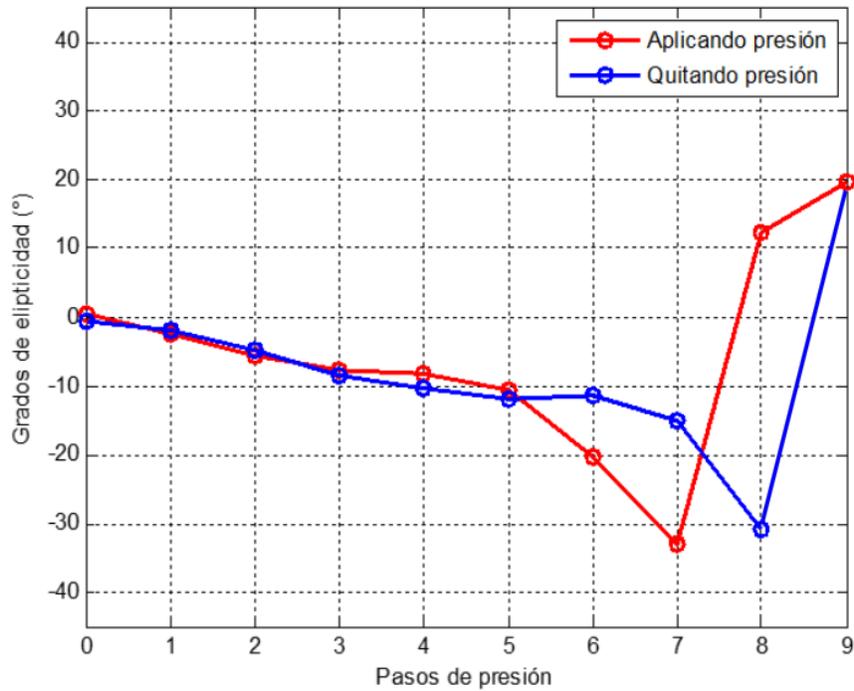


Figura 5.21.- Polarización lineal prueba con rejilla E.

A lo largo de este capítulo se mostró que el dispositivo de presión es factible utilizarlo si se quiere realizar pruebas con rejillas mecánicas de periodo largo y puede ser utilizado con diferentes tipos de rejillas para tener atenuaciones de la señal en la fibra óptica en diferentes longitudes de onda cambiando rejillas con otras características.

Otro aspecto importante es la demostración de su aplicación en un láser de fibra óptica, tanto como un sistema de control de sintonización como de polarización.

Capítulo VI

Conclusiones, Futuro y Bibliografía

6.1 Conclusiones

Se implementó el diseño de un dispositivo de presión controlada, con el fin de aplicar presión entre la fibra óptica y una rejilla de periodo largo mecánica, esto sirve para atenuar la señal que se transmite a lo largo de la fibra óptica, por lo tanto, el resultado es un filtrado óptico.

El dispositivo que se desarrolló, es una estructura de aluminio (construida con ayuda del taller mecánico de DICIS) la cual fija las rejillas mecánicas en su base y en la parte superior a la estructura se adaptó un motor a pasos unipolar (M42SP-5P), en el eje de este se fijó un tornillo milimétrico que al momento de girar eleva o desciende una placa de aluminio con postes en sus partes laterales, las cuales tiene en sus extremos inferiores otra placa en el interior de la estructura, esta última placa es la que ejerce la presión sobre la fibra.

El control del motor es llevado a cabo con un programa en C de una tarjeta de desarrollo Pingüino-PIC 18f45k50. La programación de la tarjeta consto de tres partes fundamentales como son: el giro del motor, 4 botones para controlar el inicio o fin del giro tanto infinito o paso a paso del motor, así como la dirección y el funcionamiento de dos sensores infrarrojos de presencia (Diodo infrarrojo y foto detectores).

Se tuvieron resultados con 6 rejillas mecánicas distintas, con estas rejillas se empelaron pruebas de presión, presión con torsión en la fibra óptica y presión con diferente posición de la fibra óptica en la rejilla mecánica, alternando el orden de un punto de salida o de entrada dándole una inclinación diferente.

Una vez demostrado el funcionamiento del dispositivo se realizó una aplicación de este en un arreglo de láser de fibra óptica, tanto como un sistema de control de sintonización de longitud de onda como de polarización.

Con todo esto se tiene un dispositivo automatizado, diseñado y fabricado a bajo costo a diferencia de sistemas que utilizan rejillas de periodo corto o de Bragg, ya que tan solo las fabricaciones de estas rejillas requieren tecnología sofisticada. Este dispositivo ha demostrado que es funcional y aplicable como un sistema de control en un láser de fibra óptica.

6.2 Mejoras a futuro

La principal mejora que se puede aplicar al dispositivo de presión después de haber realizado las diversas pruebas en este trabajo, es un eje de transmisión (tornillo milimétrico a eje del

motor) de una sola pieza, ya que el eje al estar conformado de diferentes piezas, tiende a tener errores o desajustes no deseados.

Otra mejora aplicable es la resolución de giro, esto podría mejorarse con la programación del control del motor ya que se implementó que el giro sea de paso completo y existe programación con la cual se pueda generar medio paso del motor, lo cual no se recomienda ya que se pierde precisión. Sin embargo, lo conveniente sería adaptar un sistema de engranes para que el giro del motor y que cada paso completo de este, ejerza mayor control al ir ejerciendo presión y, por ende, tener mayor resolución.

Se pensó también en la forma física de manipular y acomodar la fibra, esto, al implementar controles físicos de posición de la fibra óptica en las caras laterales del dispositivo, así como el grabado graduado en las caras laterales para conocer la posición de entrada y salida en la fibra.

Por último, Incluir un sensor de presión para conocer este valor e ir ejerciendo valores predeterminados de presión.

Con estas mejoras se cree que se pueda llegar a tener resultados con los cuales se puede obtener un control aun mayor del ya mostrado.

6.3 Artículos publicados

1. Artículo publicado en SPIE con nombre: “Tunable wavelength erbium doped fiber linear cavity laser based on mechanically induced long-period fiber gratings”, M. Pérez Maciel; J. A. Montenegro Orenday; J. M. Estudillo Ayala; D. Jáuregui-Vázquez; J. M. Sierra-Hernandez; J. C. Hernandez-Garcia; R. Rojas-Laguna, (7 septiembre 2016).

2. Artículo publicado en SPIE con nombre: “A tunable wavelength erbium doped fiber ring laser based on mechanically induced long-period fiber gratings”, M. Pérez Maciel; Y. López Dieguez; J. A. Montenegro Orenday ; D. Jáuregui Vázquez; J. M. Sierra Hernández; E. H. Huerta Masscote; R. Rojas Laguna; J. M. Estudillo Ayala, (26 agosto 2015).

6.4 Participación en congresos

Congreso de SPIE en San Diego, California, presentando poster con título “A tunable wavelength erbium doped fiber ring laser based on mechanically induced long-period fiber gratings”, (2015).

Congreso IONS en Universidad Autónoma Nacional de México (UNAM), presentando poster con título, “Characterization of Electric Arc Long - Period Grating to Temperature Changes”, José Alejandro Montenegro Orenday, Yanelis López Diéguez, Miguel Pérez Maciel, Francisco Javier Valle Atilano, (2015).

Verano de investigación de CONCYTEG, presentando trabajo con título “Láser sintonizable por medio de dispositivos intrínsecos de fibra óptica”. J. A. Montenegro Orenday ; J. M. Estudillo Ayala, (2015).

6.5 Bibliografía

- [1] J.J. Granada-Torres, A. M. Cárdenas-Soto, N. Guerrero-González, “Redes ópticas elásticas: un nuevo paradigma en las futuras redes de telecomunicaciones”, *Respuestas*, vol. 20, no. 2, pp. 6-22, (2015).
- [2] H.H. Cerecedo-Nuñez, L.A. Zenteno Sánchez, G.E. Torres Cisneros, “Caracterización de Rejillas de Bragg en Fibra Óptica”, *Revista Mexicana de Fisica*, (1999).
- [3] C.R. Giles, “J. Lightwave Technol”, *IEEE*, (1997).
- [4] R.A. Vázquez Sánchez, E.A. Kuzin, B. Ibarra Escamilla, M. May Alarcón, M. Shlyagin, I. Márquez Borbón, “Laser de fibra óptica compuesto por dos cavidades acopladas: aplicación como sensor de fibra óptica”, *Revista Mexicana de Fisica*, (2004).
- [5] J. M. Sierra Hernández, R. Rojas Laguna, E. Vargas Rodríguez y J. Estudillo Ayala, “A tunable multi-wavelength laser based on a Mach–Zehnder interferometer with photonic crystal fiber” *Laser Physics*, vol. 23, pp. 1-6, (2013).
- [6] S. Savin, M. Digonnet, G. Kino and H. Shaw, “Tunable mechanically induced long-period fiber gratings”. *Optics Letters*, 25(10), 710-712, (2000).
- [7] G.A. Cárdenas-Sevilla, D. Monzón-Hernández, I. Torres-Gómez, A. Martínez-Río, “Mechanically induced long-period fiber gratings on tapered fibers”, *Centro de Investigaciones en Óptica, León Guanajuato*, (2009).
- [8] Xiaojun Zhou, Shenghui Shi, Zhiyao Zhang, Jun Zou, Yong Liu, “Mechanically-induced π -shifted long-period fiber gratings”, *Optical Society of America, University of Electronic Science and Technology of China*, (2011).
- [9] G. Regoa, J.R.A. Fernandes, J.L. Santos, H.M. Salgado b,c, P.V.S. Marques, “New technique to mechanically induce long-period fibre gratings”, *Optics Communications* 220 (2003).
- [10] Ing. Miguel Pérez Maciel, “Láser sintonizable por medio de una rejilla de periodo largo mecánica”, *Tesis Maestría Universidad de Guanajuato, Salamanca* (2016).
- [11] Maximiliano Córdoba, “Procesos de fabricación de fibras ópticas”, *Universidad de Belgrano*, (2003).
- [12] D. Mynbaev, L. Scheiner, *Fiber-Optic Communications Technology*, Prentice Hall, (2001).

[13] Ing. Claudio Randhú González Rojas, “La tecnología de los sensores de fibra óptica”, Tesis: En opción al grado de maestro en ciencias de la ingeniería con especialidad en telecomunicaciones, Universidad Autónoma de Nuevo León, Julio del (2001).

[14] E. Hetch, “Óptica”, Addison Wesley, (2000).

[15] Okamoto Katsunari, “Fundamentals of Optical Waveguides”, Academic Press Elsevier, (2006).

[16] Francisco Javier Valle Atilano, “Investigacion de la polarización de una fuente de luz supercontinua en fibras de cristal fotonico”, Tesis profesional que para obtener el título de: Ingeniero en comunicaciones y electrónica, Universidad de Guanajuato, (2016).

[17] Norma Patricia Puente Ramirez, Arturo Romero Castañeda, Gustavo Rodriguez Morales, Moisés Hinojosa Rivera, “Fibras Ópticas con inhomogeneidad inducida” Posgrado en Ingeniería Eléctrica, FIME, UANL.

[18] Ing. Guillermo Alejandro Cárdenas Sevilla, “Caracterización de rejillas de periodo largo inducidas mecánicamente en fibras ópticas adelgazadas”, TESIS obtención de grado en Maestría, Centro de Investigaciones en Óptica, León, Gto, (2008).

[19] Mr. Luis Armando García de la Rosa, “Rejillas de Periodo Largo en Fibra Óptica: Fabricación y Caracterización”, Tesis requisito para obtener Doctorado en Ciencias (Óptica), Centro de Investigaciones en Óptica, León.

[20] Govin P. Agrawal, “Nonlinear Fiber Optcis”, Academic Press, Cuarta edicion, Ch. 1; (2007).

[21] Compiled by Mohammad Towhidul Islam, “Fundamentals of Optical Fiber Systems”, Lecturer, North South University, for the ETE 131 students of the Department of Computer Science and Engineering.

[22] Hill K., Fujii Y. Johnson D., Kawasaki B., “Photosensitivity optical waveguides: Application to reflection-filter fabrication”, Appl. Phys. Lett., vol. 32, No. 10, pp 647- 650 (1978).

[23] Jonathan Rendón Pérez, “Rejillas de Bragg en fibras ópticas como sensores de tensión y temperatura en el monitoreo de estructuras”, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis Mayo, (2014).

[24] Kenneth O. Hill and Gerald Meltz, “Fiber Bragg Grating Technology Fundamentals and Overview”, Journal of Lightwave Technology, VOL. 15, NO. 8, (1997).

[25] Amalia Nallely Castro Martínez, “Fabricación de Rejillas de Periodo Largo en Fibra Óptica con un láser de CO₂”, Tesis grado Maestría Ingeniería Eléctrica – Telecomunicaciones, Universidad Nacional Autónoma de México, (2011).

[26] T. A. Birks, P S J Russel et al, “The acoustic-optic effect in single mode fiber tapers and couplers,” J. Lightwave Technol. 14, 2519(1996)

[27] A. Kumar, A. Ghatak, “Polarization of Light with Applications in Optical Fibers”, SPIE, (2011).

[28] Ghatak and Thyagarajan, “Introduction to Fiber Optics”, Cambridge University Press,

[29] Sunita P. Ugale and Vivekanand Mishra, “Tunable Optical Filter Based on Mechanically Induced Cascaded Long Period Optical Fiber Grating”, Hindawi Publishing Corporation, Volume 2013, Article ID 415059, 4 pages.

[30] E. Huerta Mascotte, J. M. Estudillo Ayala, R. I. Mata Chávez, A. D. Guzmán Chávez, D. Jáuregui Vázquez, J. M. Sierra Hernández, J.C. Hernández García, E. Vargas Rodríguez, R. Rojas Laguna, “Characterization of Long-Period Fiber Grating as Load Sensing”, Universidad de Guanajuato.

[31] Takashi Yokouchi, Yoshifumi Suzaki, Kiyoshi Nakagawa, Makoto Yamauchi, Masanori Kimura, Yasuo Mizutani, Susumu Kimura, and Seiki Ejima, “Thermal tuning of mechanically induced long-period fiber grating Applied optics”, Vol. 44, No. 24 _ 20 August (2005).

[32] Wang Xin-Wei, Zhang Zhen-Yu, Zhuang Huai-Xuan, Sheng Qiu-Qin, “Spectral Characteristics of Mechanically Induced Long-Period Fibre Gratings by New Double-Layer Grating Templates”, Chinese Physical Society and IOP Publishing Ltd Vol. 22, No. 8 (2005).

[33] Jean-Luc Archambault and Stephen G. Grubb, “Fiber Gratings in Lasers and Amplifiers”, Journal of Lightwave Technology. 15(8), (1997).

[34] Eduardo J. Carletti, “Motores a paso características básicas”, Argentina, (2007).

[35] Douglas W. Jones, “Control of Stepping Motors”, The university of Iowa Department of Computer Science, (2014).

[36] Pinguino, Open Hardware Electronics Prototyping Platform, <http://www.pinguino.cc/>, (2015).

[37] Datasheet TOSHIBA Bipolar Digital Integrated Circuit ULN2803APG