

**INSTITUTO TECNOLOGICO DE TUXTLA GUTIERREZ
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN OPTICA**

ESPECIALIDAD:

ING. ELECTRONICA

AREA:

FIBRAS OPTICAS

PROYECTO:

ESTUDIO Y CARACTERIZACION DE NUEVAS FIBRAS Y MATERIALES LASER

ALUMNA:

ROMAIDA MORALES DOMINGUEZ

ASESOR INTERNO:

M.C. RAUL MORENO RINCON

ASESOR EXTERNO:

DRA. MA. ALEJANDRINA MARTINEZ GAMEZ

TUXTLA GUTIERREZ CHIS; A 17 DE ENERO DEL 2011

Contenido	Página
Presentación	4
Capitulo 1 Introducción	5
1.1 Justificación	5
1.2 Viabilidad	5
1.3 Lugar o espacio	5
1.4 Financiación	6
1.5 Objetivo general	6
1.6 Objetivo específico	6
Capitulo 2 Antecedentes	7
2.1 Caracterización del área de participación	7
Capitulo 3 Marco teórico	8
3.1 Caracterización de fibras ópticas	9
3.2 Fibras ópticas	9
3.3 Características	9
3.4 Funcionamiento	10
3.5 Tipos de fibras ópticas	10
3.6 Descripción básica de una rejilla de bragg	11
3.7 Diseño de un laser de fibra óptica	13
3.8 Principio de funcionamiento de un láser	13
3.9 Características de la luz láser	14
3.10 Características de Erblio	15
3.11 Características del Iterbio	16
3.12 Caracterización de pulsos ultracortos	17
3.13 Láseres de fibra de pulsos ultracortos	17
3.14 Mode locked	18
3.15 Modo de bloqueo activo	20
Capitulo 4 Experimentos y resultados	21
4.1 Estructura interna de diversas fibras ópticas	21
4.2 Medición de fluorescencia del neodimio	22
4.3 Caracterización de espejo SWP-15-RV1550-TU920-PW-1025-C	24
4.4 Arreglo experimental para obtener láser sin filtro	27
4.5 Arreglo experimental para visualizar la emisión del láser	28
4.6 Obtención del láser a 1550 nm	33
4.7 Arreglo experimental del láser a 1550 nm	34

4.8 Arreglo experimental para caracterización de pulsos ultracortos	36
Conclusión	40
Referencia bibliográfica	40
Anexos	41

PRESENTACION

El proyecto tiene como objetivo el estudio y caracterización de nuevas fibras y materiales láser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) dopado de tierras raras $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$. Se diseñó un sistema de fibras láser y se hicieron mediciones de potencia de salida, y oscilación del láser.

Se observa la estructura interna de diversas fibras a través de un osciloscopio para visualizar la diferencia que existe entre cada una de ellas. Se describe brevemente los conceptos de fibras láser y se mencionan las partes principales para la creación de un láser. También se muestra cada uno de los montajes experimentales que se realizaron para la obtención de los resultados de cada uno de los experimentos.

En el capítulo uno se define la necesidad que satisface el proyecto. Señala la manera en que se intenta resolver el problema, se mencionan sus alcances y limitaciones así como el lugar y espacio en que se llevo a cabo el proyecto.

En el capítulo dos se mencionan las características de los laboratorios con los que cuenta la institución. También se enlistan algunos de los proyectos que se han elaborado en el área de trabajo. Se describe la visión y misión de la empresa.

El capítulo tres se define la fibra óptica y las partes en la que se encuentra estructurada. Se describe un láser de fibra óptica, mencionamos las características que debe tener una luz láser y su modo de funcionamiento. También se habla sobre las tierras raras de las cuales se encuentra dopado la fibra láser.

En el capítulo cuatro mostramos el montaje experimental para cada uno de los experimentos y se dan los resultados obtenidos a través de graficas y fotos. Se da una conclusión de los resultados por cada experimento.

CAPITULO 1 INTRODUCCION

En este trabajo se presenta un láser a 1550 de fibra óptica dopada con tierras raras Er^{3+}/Yb^{3+} con una longitud de 2.50 metros construidas con dos lentes C330TME-B con una distancia focal de 3.1mm con una apertura numérica de .68 la cual nos ayudará a acoplar la luz hacia la fibra óptica. También se utiliza un espejo (SWP-15-RV1550-TU920-PW1025-C) colocado a un ángulo de 15° la cual reflejará a una longitud de 1550 y transmitirá a una longitud de 920.

Se caracteriza la fibra láser de Er^{3+}/Yb^{3+} de pulsos cortos. Se coloca un filtro 2rg1000 a la salida de la fibra para que nos deje pasar una señal después de 915 nm, posteriormente se coloca un Fotodetector conectado a $\pm 15V$ que opera a una frecuencia de 125 MHz, este se conecta a un osciloscopio para observar los modos de oscilación que produce el laser. Se toman los datos y se grafican en Origin Pro para un mejor análisis.

1.1 Justificación

Se construye un laser de fibra óptica a una longitud de onda de 1550 nm. Se hará con nuevas fibras especiales dopadas con tierras raras como medio activo del láser para obtener las características y su modo de funcionamiento de la fibra dopado de Er^{3+}/Yb^{3+} . El laser a esa longitud de onda resulta muy atractivo para telecomunicaciones además de que tiene la potencia de uno de bulto sin necesidad de enfriamiento ni tanto espacio.

1.2 Viabilidad

El proyecto es viable ya que se cuenta con fuentes bibliográficas necesarias para soporte técnico del proyecto, además de que se cuenta con los recursos necesarios tanto económicos como de tiempo.

1.3 Lugar o espacio

El proyecto se llevará a cabo en el laboratorio de fibras ópticas del centro de investigaciones en óptica ubicado en Loma del Bosque #115

Col. Lomas del Campestre León Gto. México, en coordinación con el laboratorio de la universidad de física de Guanajuato en el laboratorio de cuántica con ubicación en Loma del Bosque No. 103 Col. Lomas del Campestre C.P. 37150 León, Guanajuato.

1.4 Financiamiento

Se utilizaron equipos de medición y estructuras de montaje para llevar a cabo el proyecto pero no se realizó gasto alguno puesto que el laboratorio de fibras ópticas contaba con ello.

Se utilizó dos metros y medio de fibra óptica dopada de Erbio/Iterbio adquirida en la empresa de Thorlabs con un precio de 196.26 \$, costeadada por el centro de investigaciones en óptica (cio).

1.5 Objetivo general

Construir y caracterizar un láser de fibra óptica dopado de tierras raras.

1.6 Objetivo específico

- 1.- utilizar como medio resonador una longitud de 2.5 metros de fibra óptica dopada de tierras raras de $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$
- 2.- bombear la fibra óptica con un diodo láser a diferentes valores de corrientes y analizar cada uno de las emisiones obtenidas.
- 3.- obtener el fenómeno de emisión del laser para esta configuración operando en modo continuo y pulsado.

CAPITULO 2 ANTECEDENTES

2.1 Caracterización del área de participación

Se cuenta con cuatro laboratorios de óptica, en los cuales se realizan las practicas de los cursos experimentales y proyectos de investigación. Cada uno de los laboratorios cuenta con las condiciones de iluminación e instalaciones (eléctricas y de alimentación de aire) necesarias en un laboratorio de investigaciones en óptica. Tres laboratorios están equipados con una mesa holográfica profesional. Tiene una bodega de equipo y material, en la cual se encuentra el equipo con el que los estudiantes realizan su trabajo experimental.

Las prácticas que se realizan en los Laboratorios de Postgrado, son principalmente de:

Fotografía, Óptica geométrica, Espectrometría, interferómetro, Difracción Polarización, Holografía, Microondas, Metrología, Estudio de fotones enredados, Estudio de fibras nanoestructuradas

Misión

Desarrollar Tecnologías de valor a la sociedad.

Visión

Ser una dirección altamente vinculada con su entorno, que desarrolla capacidades competitivas tecnológicas a sus clientes y usuarios, que les permitan competir en su entorno, presente y futuro.

CAPITULO 3 MARCO TEORICO

3.1 Caracterización de fibras ópticas

El avance actual de los dispositivos basados en rejillas de bragg de fibra óptica ha generado un gran interés para ser aplicadas en diversas áreas de investigación que incluyen comunicaciones ópticas, sensores y láseres de fibra. El interés se debe a las características que presenta este dispositivo, como son: inmunidad al ruido electromagnético, alta sensibilidad y tamaño reducido, entre otras.

Las rejillas en fibra óptica surgieron a partir del descubrimiento de la Fotosensibilidad que tienen las fibras ópticas. Dicha propiedad permite modificar el índice de refracción de la fibra al ser expuestas a radiación ultravioleta de cierta intensidad y longitud de onda.

Su forma más común una rejilla consiste en la modulación periódica del índice de refracción del núcleo de una fibra óptica. Debido a esta modulación, las rejillas son capaces de realizar funciones tales como reflexión, dispersión y filtrado del campo electromagnético de manera eficiente y con baja atenuación.

3.2 Fibras ópticas

La fibra óptica es un medio de transmisión empleado habitualmente en redes de datos; un hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir. El haz de luz queda completamente confinado y se propaga por el núcleo de la fibra con un ángulo de reflexión por encima del ángulo límite de reflexión total, en función de la ley de Snell. La fuente de luz puede ser laser o un LED.

Las fibras se utilizan ampliamente en telecomunicaciones, ya que permiten enviar gran cantidad de datos a una gran distancia, con velocidades similares a las de radio y/o cable. Son el medio de transmisión por excelencia al ser inmune a las interferencias electromagnéticas, también se utilizan para redes locales, en donde

se necesite aprovechar las ventajas de la fibra óptica sobre otros medios de transmisión.

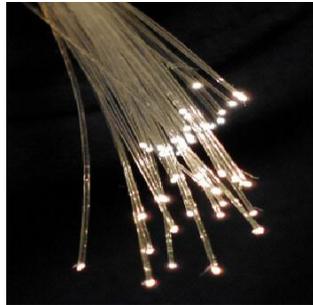


Figura 3.1) ramo de fibras ópticas

3.3 Características

La fibra óptica es una guía de ondas dieléctrica que opera a frecuencias ópticas.

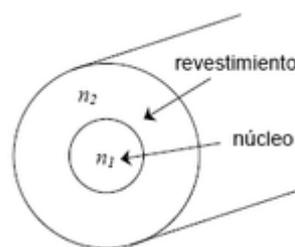


Figura 3.2) Núcleo y revestimiento de la fibra óptica.

Cada filamento consta de un núcleo central de plástico o cristal (óxido de silicio y germanio) con un alto índice de refracción, rodeado de una capa de un material similar con un índice de refracción ligeramente menor. Cuando la luz llega a una superficie que limita con un índice de refracción menor, se refleja en gran parte, cuanto mayor sea la diferencia de índices y mayor el ángulo de incidencia, se habla entonces de reflexión interna total.

En el interior de una fibra óptica, la luz se va reflejando contra las paredes en ángulos muy abiertos, de tal forma que prácticamente avanza por su centro. De este modo, se pueden guiar las señales luminosas sin pérdidas por largas distancias.

Las características más destacables de la fibra óptica en la actualidad son:

- Cobertura más resistente: La cubierta contiene un 25% más material que las cubiertas convencionales.
- Uso dual (interior y exterior): La resistencia al agua y emisiones ultravioleta, la cubierta resistente y el funcionamiento ambiental extendido de la fibra óptica contribuyen a una mayor confiabilidad durante el tiempo de vida de la fibra.
- Mayor protección en lugares húmedos: Se combate la intrusión de la humedad en el interior de la fibra con múltiples capas de protección alrededor de ésta, lo que proporciona a la fibra, una mayor vida útil y confiabilidad en lugares húmedos.
- Empaquetado de alta densidad: Con el máximo número de fibras en el menor diámetro posible se consigue una más rápida y más fácil instalación, donde el cable debe enfrentar dobleces agudos y espacios estrechos. Se ha llegado a conseguir un cable con 72 fibras de construcción súper densa cuyo diámetro es un 50% menor al de los cables convencionales.

3.4 Funcionamiento

Los principios básicos de funcionamiento se justifican aplicando las leyes de la óptica geométrica, principalmente, la ley de la refracción (principio de reflexión interna total) y la ley de Snell.

Su funcionamiento se basa en transmitir por el núcleo de la fibra un haz de luz, tal que este no atraviese el revestimiento, sino que se refleje y se siga propagando. Esto se consigue si el índice de refracción del núcleo es mayor al índice de refracción del revestimiento, y también si el ángulo de incidencia es superior al ángulo límite.

3.5 Tipos de fibras ópticas

Las diferentes trayectorias que puede seguir un haz de luz en el interior de una fibra se denominan modos de propagación, y según el modo de propagación tendremos dos tipos de fibra óptica: multimodo y monomodo.

Fibra multimodo

Una fibra multimodo es aquella en la que los haces de luz pueden circular por más de un modo o camino. Esto supone que no llegan todos a la vez. Estas se usan comúnmente en aplicaciones de corta distancia menores a 1 km.

El núcleo de una fibra multimodo tiene un índice de refracción superior, pero del mismo orden de magnitud, que el revestimiento. Debido al gran tamaño del núcleo de una fibra multimodo, es más fácil de conectar y tiene una mayor tolerancia a componentes de menor precisión.

Dependiendo el tipo de índice de refracción del núcleo, tenemos dos tipos de fibra multimodo:

- Índice escalonado: en este tipo de fibra, el núcleo tiene un índice de refracción constante en toda la sección cilíndrica, tiene alta dispersión modal.
- Índice gradual: mientras en este tipo, el índice de refracción no es constante, tiene menor dispersión modal y el núcleo se constituye de distintos materiales.

Fibra monomodo

Una fibra monomodo es una fibra óptica en la que sólo se propaga un modo de luz. Se logra reduciendo el diámetro del núcleo de la fibra hasta un tamaño (8.3 a 10 micrones) que sólo permite un modo de propagación. Su transmisión es paralela al eje de la fibra. A diferencia de las fibras multimodo, las fibras monomodo permiten alcanzar grandes distancias (hasta 400 km máximo, mediante un láser de alta intensidad) y transmitir elevadas tasas de información (decenas de Gb/s).

3.6 Descripción básica de una rejilla de bragg en fibra óptica

Una rejilla de bragg es un arreglo periódico de “placas” o películas de dos índices de refracción diferentes, denominados índices de refracción alto n_H (~1.4563) e

índice de refracción bajo n_L (~ 1.456). Estas rejillas tienen un periodo fundamental $\Lambda \approx \lambda/2n$, donde λ es la longitud de onda con máxima reflectividad, llamada longitud de onda de Bragg ($\lambda_B \equiv \lambda$) y n es el índice de refracción promedio entre n_L y n_H . Este arreglo periódico que compone a la rejilla se forma solo en el núcleo de una fibra óptica por lo general monomodal ver figura 3.1 ya que este es el que contiene las moléculas activantes, que a la vez originan la formación de la rejilla de Bragg.

La rejilla de Bragg se puede formar por varios métodos, pero en todos ellos se hace incidir un patrón de interferencia que proviene de una fuente intensa de luz láser ultravioleta sobre el núcleo de la fibra óptica, lo cual produce una modulación del índice de refracción del núcleo de la fibra, o una rejilla de fase en el núcleo de la fibra óptica. El proceso de grabado se lleva a cabo por medio de un efecto de fotosensibilidad.

La rejilla de Bragg se encuentra colocada dentro del núcleo de la fibra óptica, de tal forma que la luz confinada lo, dentro del núcleo de la fibra, incide perpendicularmente sobre las películas que forman la rejilla de Bragg.

La forma en que operan las rejillas de Bragg es la siguiente: parte de la luz lo que incide sobre ellas es transmitida I_t y la otra parte es reflejada I_r , la rejilla de Bragg tiene una alta reflectancia debido a que las placas tienen un espesor óptico de $\lambda/4$ y por lo tanto los rayos que se van reflejando en cada superficie se encuentran en fase al salir por la primera interface.

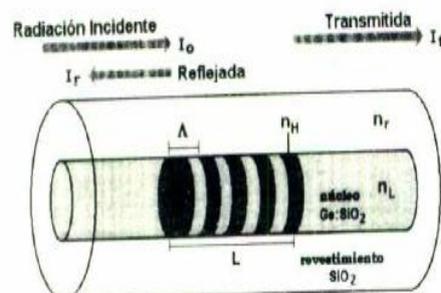


Figura 3.3) Ubicación de una rejilla de Bragg dentro del núcleo de una fibra óptica

3.7 Diseño de un laser de fibra óptica

Los amplificadores de fibras dopadas con tierras raras son de gran interés para una gran variedad de aplicaciones: comunicaciones ópticas, láseres de fibra y sensores. Entre los materiales químicos activos más comunes se encuentran el Erblio (Er^{+3}), que emite a 1550 nm; el Neodimio (Nd^{+3}), que junto con el Yterbio (Yb^{+3}) emite a 1000 nm aproximadamente; praseodimio (Pr^{+3}) y tulio, que emiten a 2 micrómetros. Otro aspecto muy importante es la técnica de bombeo, con la cual se obtiene el efecto de emisión estimulada. Este bombeo es, en esencia, una fuente externa de energía que estimula a los electrones a subir de su estado base a un estado excitado en los niveles de energía apropiados.

3.8 Principio de funcionamiento del láser

Los láseres de fibra óptica al igual que cualquier láser en general deben contener necesariamente: una cavidad resonante, un medio de ganancia y una fuente de bombeo. Consiguiendo en conjunto el fenómeno conocido como laseo o técnicamente el fenómeno láser. Si alguno de los elementos mencionados llegara a faltar no sería posible la obtención de este fenómeno.

La figura 3.4 muestra esquemáticamente como puede alcanzarse una inversión de la población de modo que pueda lograrse la acción láser. Los átomos del estado base E_1 se “bombean” a un estado excitado E_3 , por ejemplo por absorción de energía luminosa de una fuente intensa de espectro continuo que rodee al material del láser.

A partir de E_3 los átomos decaen rápidamente a un estado de energía E_2 . Este estado debe ser metaestable para que ocurra la acción láser; es decir debe tener una vida media relativamente larga contra el decaimiento por emisión espontánea. Si las condiciones son las adecuadas, el estado E_2 puede volverse entonces más poblado que el estado E_1 proporcionando así la inversión de población necesaria. Un fotón de la energía correcta puede entonces activar o desencadenar una avalancha de sucesos de emisión estimulada, la cual da por resultado la producción de la luz láser.

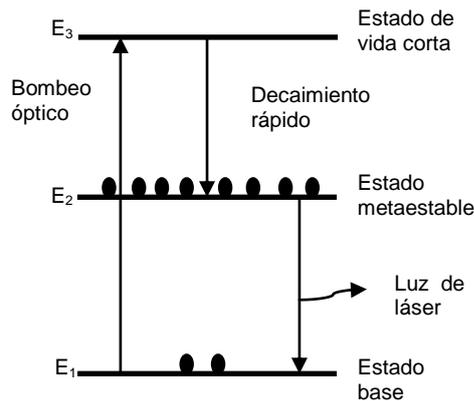


Figura 3.4) El esquema básico de tres niveles de la operación del láser. El estado metaestable E₂ tiene una población mayor que el estado base E₁.

3.9 Características de la luz láser

1. La luz láser es altamente monocromática. La luz de tungsteno, que produce un espectro continuo, no nos da una base de comparación. Sin embargo, la luz de líneas seleccionadas de un tubo de descarga de gas puede tener longitudes de onda en la región visible que son precisas hasta 1 parte de 10⁶. La finura de definición de la luz de láser puede ser fácilmente mil veces mayor, o sea, 1 parte en 10⁹.
2. Es altamente coherente. Los trenes de onda de la luz láser pueden tener varios cientos de kilómetros de longitud. Pueden crearse franjas de interferencias al combinar dos haces que han seguido trayectorias separadas cuyas longitudes difieren en tanto como esta cantidad. La longitud correspondiente de la coherencia de la luz de una lámpara con filamento de tungsteno o de un tubo de descarga de gas es típicamente mucho menor de 1m.
3. La luz láser es altamente direccional. Una luz láser se desvía de un paralelismo perfecto solo por efectos de difracción, determinados por la longitud de onda y el diámetro de la abertura de salida. La luz de otras fuentes puede formar un haz aproximadamente paralelo por medio de una lente o de un espejo, pero la divergencia del haz es mucho mayor que para la luz láser.

4.- La luz láser puede enfocarse con precisión. Esta propiedad se relaciona con el paralelismo del haz del láser. Como en la luz de las estrellas, el tamaño del punto enfocado en un haz de láser está limitado solo por efectos de difracción y no por el tamaño de la fuente. En la luz láser enfocada se alcanzan fácilmente densidades de flujo de 10^{15} W/cm².

3.10 Características del Erbio (Er³⁺)

El erbio es un elemento trivalente, maleable, relativamente estable en el aire y no se oxida tan rápido como otros metales de tierras raras. Sus sales son rosadas y el elemento origina un característico espectro de absorción en el espectro visible, ultravioleta y cerca del infrarrojo. Las propiedades del erbio están muy influenciadas por la cantidad y tipo de impurezas presentes. Los cristales o vidrios dopados pueden ser utilizados en amplificación óptica, en las que los iones de erbio son bombeados ópticamente alrededor de las longitudes de onda de 980nm o 1480nm e irradian luz en longitudes de onda de 1550nm. Este proceso puede ser usado para crear láseres y amplificadores ópticos. La longitud de onda de 1550nm es especialmente importante para las comunicaciones ópticas porque las fibras ópticas normalizadas tienen pérdidas mínimas en esta longitud de onda.

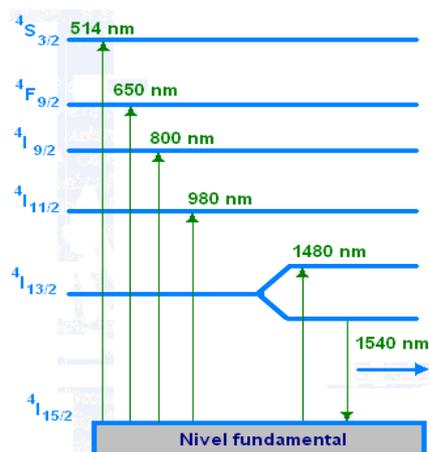


Figura 3.5) Diagrama de niveles energéticos del Erbio

Se puede ver en el diagrama de niveles de energía del erbio que la transición entre los niveles $^4I_{13/2}$ y $^4I_{15/2}$ corresponde a una longitud de onda comprendida entre 1530nm y 1560nm aproximadamente. Luego al provocar una inversión de

población entre dichos niveles se puede amplificar señales en la tercera ventana. El primer nivel excitado, $^4I_{13/2}$, desde que las frecuencias de transición se corresponden con la tercera ventana, tiene un tiempo de vida medio de unos 10ms, mientras que en los dos superiores es de 0.001ms, por lo que el nivel $^4I_{13/2}$ es un estado metaestable. Por lo tanto todo ión que llegue a estos niveles por medio del bombeo acabara cayendo al nivel $^4I_{13/2}$ por emisión espontánea, y a su vez caerá al nivel fundamental por emisión estimulada, produciéndose así la amplificación.

3.11 Características del iterbio

El iterbio es un metal blando muy dúctil, en la naturaleza se encuentra en su estado de oxidación Yb^{+3} tal como otras tierras raras.

Tiene una sección eficaz de absorción bastante más elevada para longitudes de onda de 980 nm. Así pues, es más probable que un fotón sea absorbido por un ión de iterbio que por uno de erbio. Además, la energía absorbida por el iterbio puede ser transferida al erbio. Si un ión de iterbio se encuentra (figura 3.6) en su nivel fundamental $^2F_{7/2}$ y absorbe un fotón procedente del bombeo se excitará hasta el nivel $^2F_{5/2}$. En este estado, puede interactuar con un ión de erbio desexcitado cediéndole toda su energía. Así, el iterbio volverá a su estado fundamental mientras que el erbio pasará al nivel excitado $^4I_{11/2}$ desde el cual, mediante transiciones no radiativas, alcanzará el nivel $^4I_{13/2}$. Esta transferencia entre el iterbio y el erbio depende de la distancia entre los iones que, a su vez, depende de las concentraciones respectivas. También se puede dar que un ión de erbio ceda su energía a uno de iterbio (transferencia inversa), aunque este proceso es mucho menos probable que el primero.

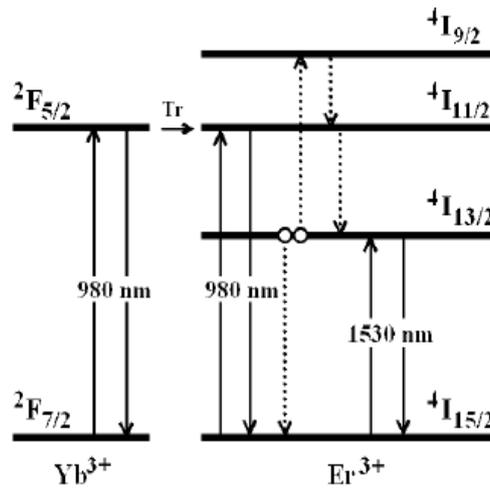


Figura 3.6) Esquema de niveles del Er³⁺ y del Yb³⁺ que intervienen en el láser de erbio dopado con iterbio. Se incluyen los fenómenos de *upconversion* y de transferencia de energía. Las flechas punteadas corresponden a caídas no radiativas o a *upconversion*.

3.12 caracterización de pulsos ultracortos obtenidos por el laser

A diferencia de lo que ocurre en el funcionamiento usual de un láser, donde se tiene una onda continua de luz casi monocromática, los láseres de pulsos ultracortos generan una secuencia de pulsos con un ancho de banda asociado de algunos nanómetros.

El pulso ultracorto es un pulso de luz láser con una duración extremadamente corta. Existen dos técnicas utilizadas para la generación de pulsos ultracortos de láser óptico conocidas como Q-switch y mode locked (modo de bloqueo) que consiste en obtener pulsos ultracortos del láser. Estos pulsos tienen una duración menor que muchos procesos atómicos y moleculares. Algunos de estos procesos ocurren en tiempos de picosegundos o femtosegundos. En este trabajo nos centraremos al método mode-locked.

3.13 Láseres de fibra de Pulsos ultracortos

Los láseres de fibra operan simultáneamente en un gran número de modos longitudinales que entran en el ancho de banda de ganancia. La frecuencia de

separación entre los modos está dada por $\Delta V = c/L_{opt}$, donde L_{opt} , es la longitud óptica durante una ida y vuelta dentro de la cavidad. La operación multimodo se debe a un aumento de ancho de banda amplia comparado con un modo relativamente pequeño de espaciamiento de los lasers de fibra de ($\Delta V \sim 10$ MHz). El campo óptico total se puede escribir como:

$$E(t) = \sum_{m=-M}^M E_m \exp(i\phi_m - i\omega_m t), \dots\dots\dots 1$$

Donde E_m , ϕ_m y ω_m son la amplitud, fase y frecuencia de un modo específico entre los modos $2M+1$. Si todos los modos operan de forma independiente, sin relación de fase definida entre ellos, los términos de interferencia en la intensidad total $|E(t)|^2$ Serían medidas a cero.

3.14 Mode locked

Es la técnica más utilizada hoy en día para la generación de pulsos ultracortos en un laser. En principio la fase entre los modos que pueden oscilar en una cavidad laser es totalmente aleatoria. La condición de resonancia es:

$$L = \frac{n\lambda}{2}, \dots\dots\dots 2$$

Así como el ancho de banda de emisión del medio laser determinan que modos pueden propagarse, para que todos ellos estén en fase es necesario introducir algún tipo de modulación.

El modo de bloqueo se produce cuando las fases de diversos modos longitudinales están sincronizadas de manera que la diferencia de fase entre dos modos cercanos está bloqueado en un valor constante de ϕ_m tal que $\phi_m - \phi_{m-1} = \phi$. Una relación de fase implica que $\phi_m = m\phi + \phi_0$. El modo completo de frecuencias ω_m se puede escribir como:

$$\omega_m = \omega_0 + 2m\pi\Delta v \dots\dots\dots 3$$

Si usamos estas relaciones en la ecuación 1 y asumimos para simplificar, que todos los modos tienen la misma amplitud E_0 , la suma puede realizarse analíticamente. El resultado viene dado por:

$$|E(t)|^2 = \frac{\sin^2[(2M + 1)\pi\Delta V t] + \phi^2/2}{\sin^2(\pi\Delta v t + \phi^2/2)} E_0^2. \dots\dots\dots 4$$

El total de intensidad de $|E(t)|^2$ se muestra en la figura 3.7 para nueve modos acoplados ($M=4$). Se trata de una función periódica del tiempo con periodo $\tau_r = 1/\Delta v$, que es el tiempo de ida y vuelta dentro de la cavidad láser. La salida del láser es la forma de un tren de pulsos cuya pulsos individuales están separadas por τ_r . Una forma sencilla de interpretar este resultado es que un solo pulso circula dentro de la cavidad láser y una fracción de su energía es emitida por el láser cada vez que el pulso llega al acoplador de la salida.

El ancho de pulso se calcula de la ecuación 4 para $\tau_p = \frac{1}{(2M + 1)\Delta v}$ ya que $(2M + 1)\Delta v$ representa el ancho de banda total de todos los modos de fase bloqueado, el ancho de pulso es inversamente proporcional a la anchura de banda espectral en la que las fases de diversos modos longitudinales se pueden sincronizar. La relación exacta entre el ancho de pulso y el aumento de ancho de banda Δv_g depende de la naturaleza del aumento de la ampliación.

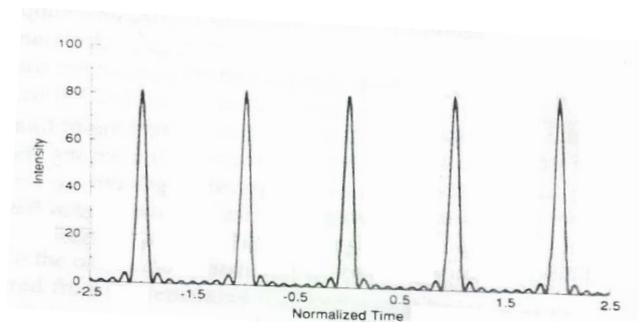


Figura 3.7) Tren de pulsos formados cuando nueve modos de amplitudes iguales al modo de bloqueo

3.15 modo de bloqueo activo

El modo de bloqueo activo requiere la modulación de la amplitud o sea de la fase del campo intracavitaria óptica a una frecuencia igual al modo de separación $\Delta\nu$. lo que se conoce como AM (amplitud modulada) o FM (frecuencia modulada) el modo de bloqueo en función de si la amplitud o de fase es modulada. Uno puede entender el proceso de fijación de la siguiente manera: tanto la amplitud modulada y la frecuencia modulada y las técnicas de generación de bandas laterales de modulación f_m . Se superponen con los modos vecinos cuando $f_m \approx \Delta\nu$. esa coincidencia conduce a la fase de sincronización. El proceso de modo de bloqueo se puede modelar mediante un conjunto de ecuaciones de velocidad con varios modos en los que se junta la amplitud de cada modo, de sus vecinos más cercanos.

También se puede entender el proceso de formación de pulso en el dominio del tiempo. La figura 3.8 muestra el caso de modo de bloqueo AM en el que las pérdidas de la cavidad se modula a la frecuencia $\Delta\nu$. ya que el láser genera mas luz en las pérdidas mínimas, el campo intracavitaria se modula con la misma frecuencia. Esta diferencia de intensidad leve se acumula en idas y vueltas sucesivas, y el láser emite un tren de pulsos en modo bloqueado en el estado estacionario. Dicho de otro modo, el umbral del láser es menor para la puesta a punto. Como resultado, el láser emite un tren de pulsos en lugar de la salida de CW.

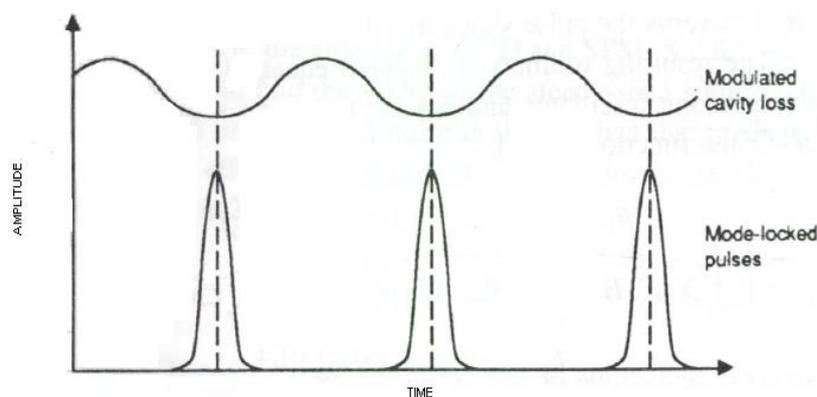


Figura 3.8) Representación esquemática de la fijación activa del modo de AM de la modulación de las pérdidas de cavidad.

CAPITULO 4 EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

4.1 Estructura interna de diversas fibras ópticas

Se cortan varias muestras de fibras ópticas para observar su estructura interna a través de un microscopio y comparar cada una de ellas.

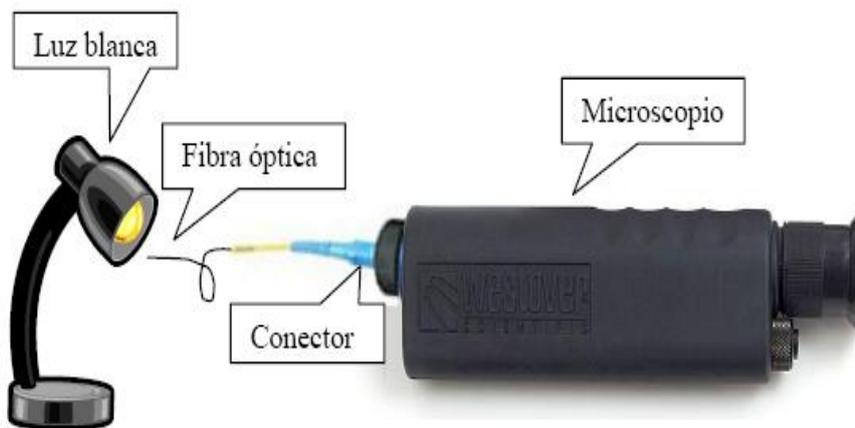


Figura 4.1) arreglo experimental para observar las fibras ópticas

Resultados

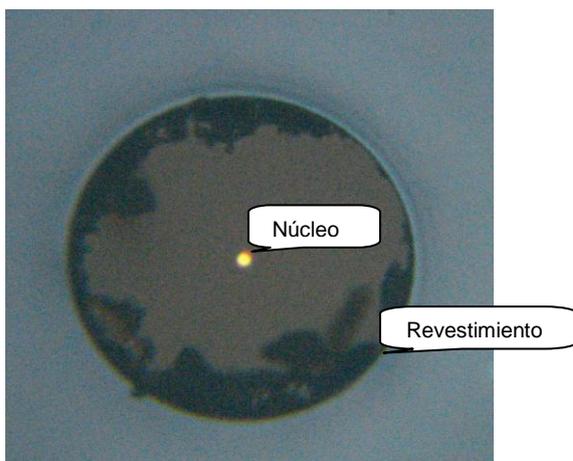


Figura 4.2) fibra dopada de yterbio



figura 4.3) fibra normal (sin dopaje)

En las figuras 4.2 y 4.3 se muestran dos fibras, una dopada de yterbio y la otra normal es decir sin dopar. Se observa que tanto el núcleo como el revestimiento presentan una forma circular. Aunque no se pudo medir el diámetro del núcleo, por su tamaño sabemos que ambas fibras son de tipo monomodo.



Figura 4.4) fibra monomodo



Figura 4.5) fibra laser

En las figuras 4.4 y 4.5 se muestran dos fibras una es monomodo y la otra es tomada de un diodo laser. Podemos observar que tanto el núcleo como el revestimiento presentan una forma redonda en ambas fibras, con la diferencia de que en la foto de la figura 4.5 se observa que el núcleo es mucho mayor al revestimiento, lo que indica que es una fibra del tipo multimodo.

4.2 Medición de fluorescencia del Nd (576)

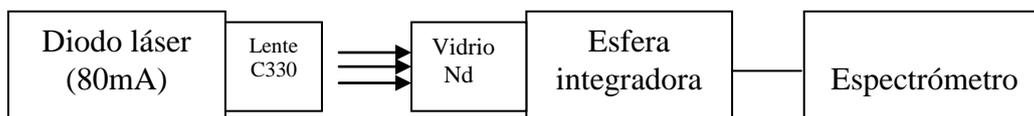


Figura 4.6) Diagrama a bloques para medir la fluorescencia.

Resultados

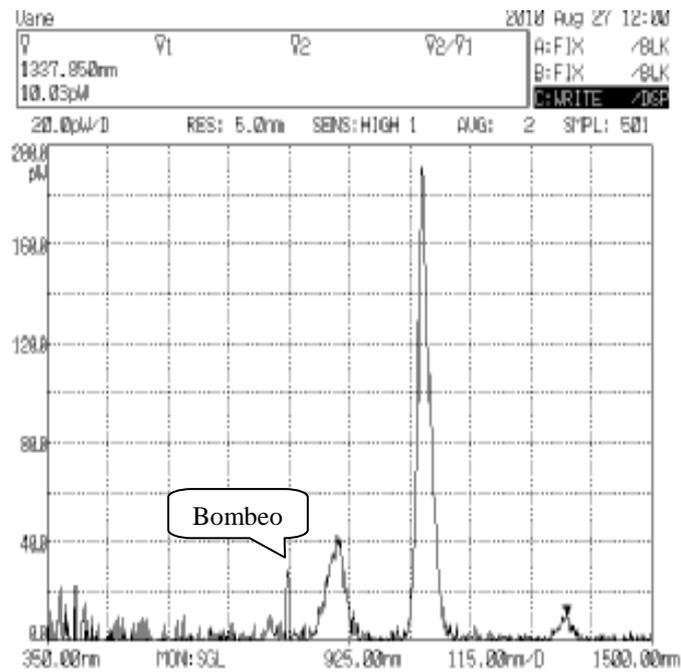


Figura 4.7) Fluorescencia del Nd^{+3} obtenida del espectrómetro

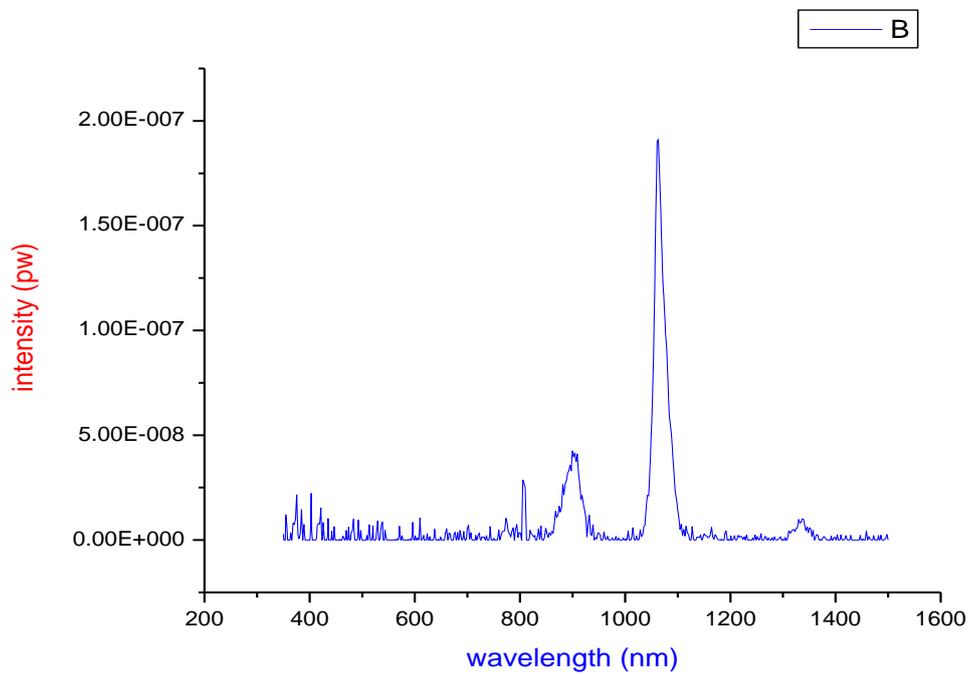


Figura 4.8) espectro de fluorescencia del vidrio dopado con Nd^{+3} obtenida de los datos del espectrómetro

En la figura 4.7 y 4.8 observamos la fluorescencia que emite el vidrio de neodimio (Nd^{+3}). El primer espectro que se observa a 800 nm de longitud corresponde al bombeo del laser que es aplicado a una lente de C330 la cual refleja la luz hacia el vidrio de neodimio, ésta a su vez la refleja a la esfera integradora la cual se encarga de sumar el flujo radiante que le fue reflejada.

Podemos observar tres picos de fluorescencia emitidas por el vidrio, la primera a una longitud de onda de 900nm con una intensidad de 45 PW, la segunda a una longitud de onda de 1060nm con una intensidad de casi 200 PW, y la tercera la tenemos a una longitud de onda de 1337.95nm con una intensidad de 10PW.

4.3 Caracterización del espejo SWP-15-RV1550-TU920-PW-1025-C

Se caracteriza un espejo colocado a un ángulo de 15° de acuerdo a las especificaciones técnicas del mismo, a la cual se le incide una luz externa a través de una esfera integradora, observando los resultados a través de un analizador de espectros.

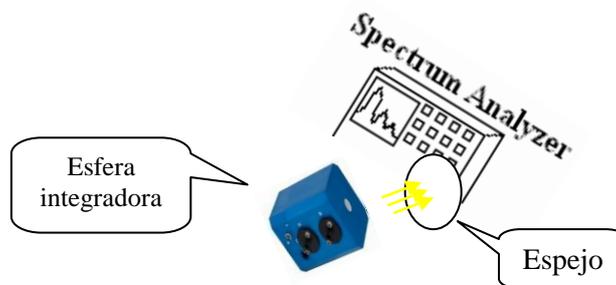


Figura 4.9) arreglo experimental para caracterizar el espejo

Resultado

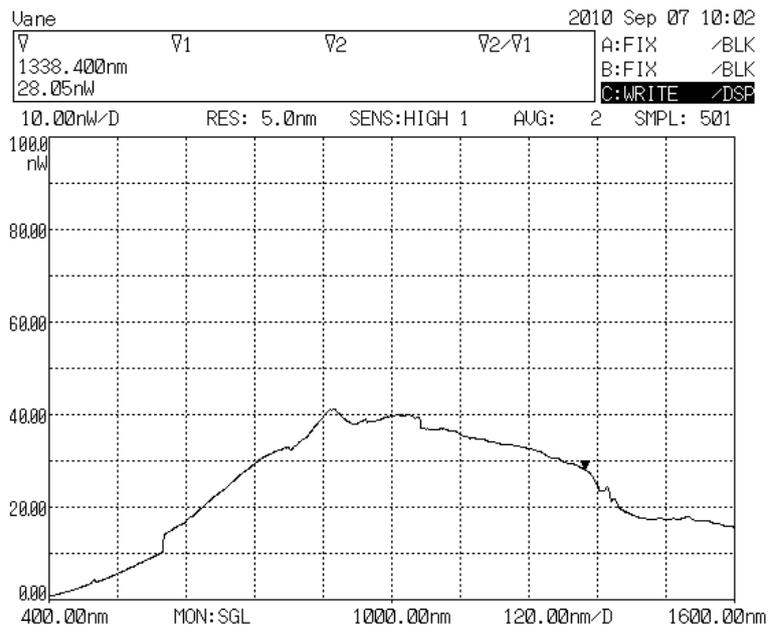


Figura 4.10) reflexión de luz de manera directa, sin espejo

En la figura 4.10, observamos la reflexión de la luz que emite la esfera integradora sin utilizar espejo. La cual nos refleja una longitud de onda de 930nm aproximadamente.

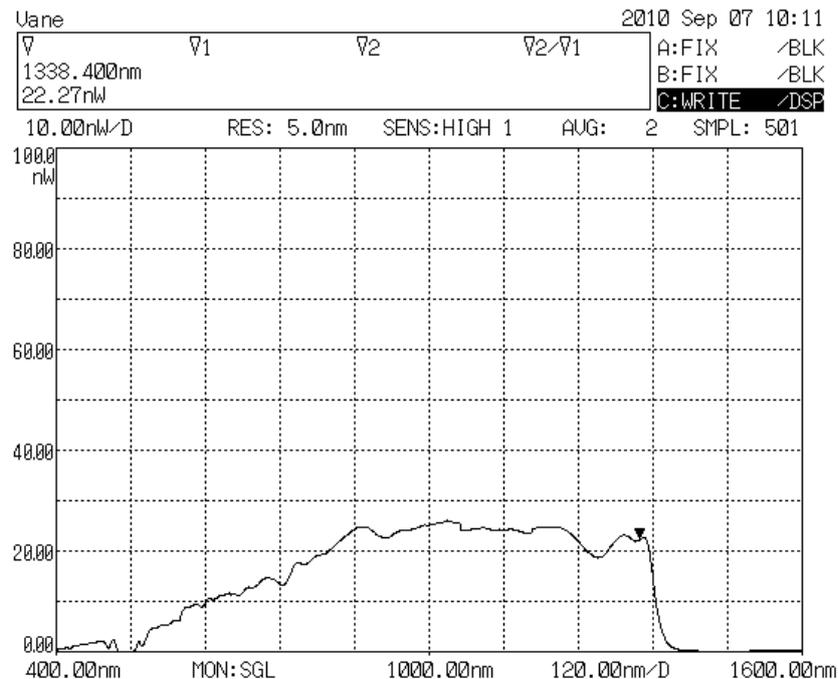


Figura 4.11) reflexión de luz del lado plano del espejo a 920nm

En la figura 4.11 podemos observar la luz reflejada a través del espejo, la cual nos refleja una longitud de onda de 1550nm y transmite una longitud de onda de 920nm.

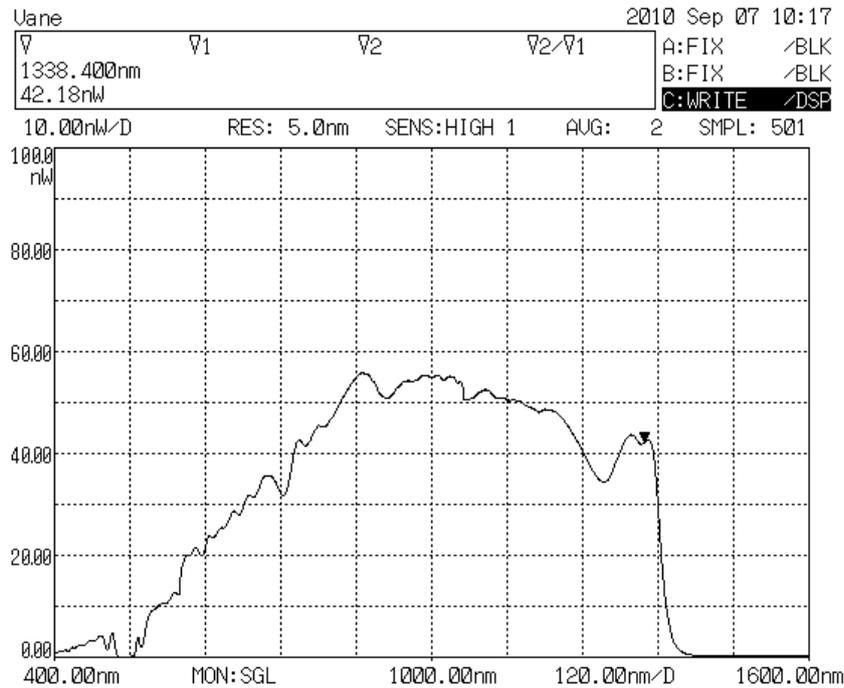


Figura 4.12) reflexión de luz, del lado curvo del espejo a 920nm

En la figura 4.12 observamos la luz reflejada a través del espejo del lado curvo y también nos transmite una longitud de onda de 920nm. La intensidad de luz transmitida por espejo no afecta al experimento, puesto que lo único que necesitamos es que nos transmita a la longitud antes mencionada.

CONCLUSION

En cada uno de los experimentos que se realizaron se obtuvieron resultados satisfactorios, como fue observar la estructura interna de diversas fibras ópticas. Así también pudimos caracterizar el espejo SWP-15-RV1550-TU920-PW-1025-C, la cual nos ayudara a proteger al diodo laser de bombeo que será utilizado para producir la fibra laser a una longitud de onda de 1550.

4.4 Arreglo experimental para obtener el láser sin filtro

En la figura 4.13 se muestra el arreglo experimental para obtener el láser. Se utilizan dos diodos láser de semiconductor conectados en serie con una potencia máxima de 2.5 watts, como fuente de bombeo para la fibra láser dopada de $\text{Er}^{+3}/\text{Yb}^{+3}$ que se generara. Se acopla la máxima energía a una cara de la lente con una distancia focal de 3.1mm, una vez colimada la luz por la primera lente se transmitirá a una segunda lente. La energía que se transmite a través de esta segunda lente es inyectada a la fibra de $\text{Er}^{+3}/\text{Yb}^{+3}$. Se acopla la máxima cantidad de energía al revestimiento de la fibra, el cual a su vez debe iluminar con la mayor eficiencia posible al núcleo de la fibra. Esto se logra alineando la fibra a una distancia focal igual a la anterior.

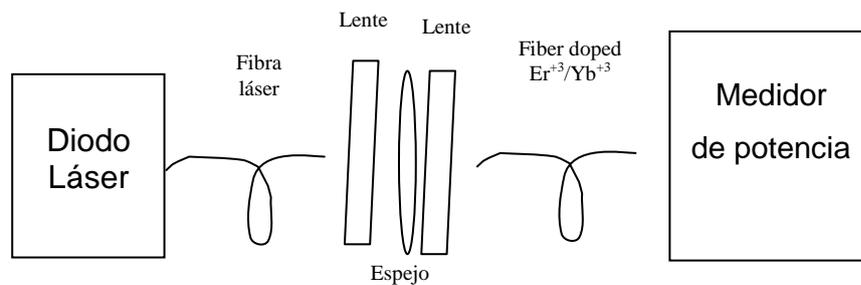


Figura 4.13) Arreglo experimental para obtener el laser sin filtro

Resultados.

Se bombeo la fibra laser con diferentes valores de corriente y se tomaron los datos que se obtuvieron a la salida de la fibra de $\text{Er}^{+3}/\text{Yb}^{+3}$ para observar el comportamiento del laser que se origino. Dichos datos fueron tomados a través de un detector de baja potencia que va desde 500nw hasta 500mw.

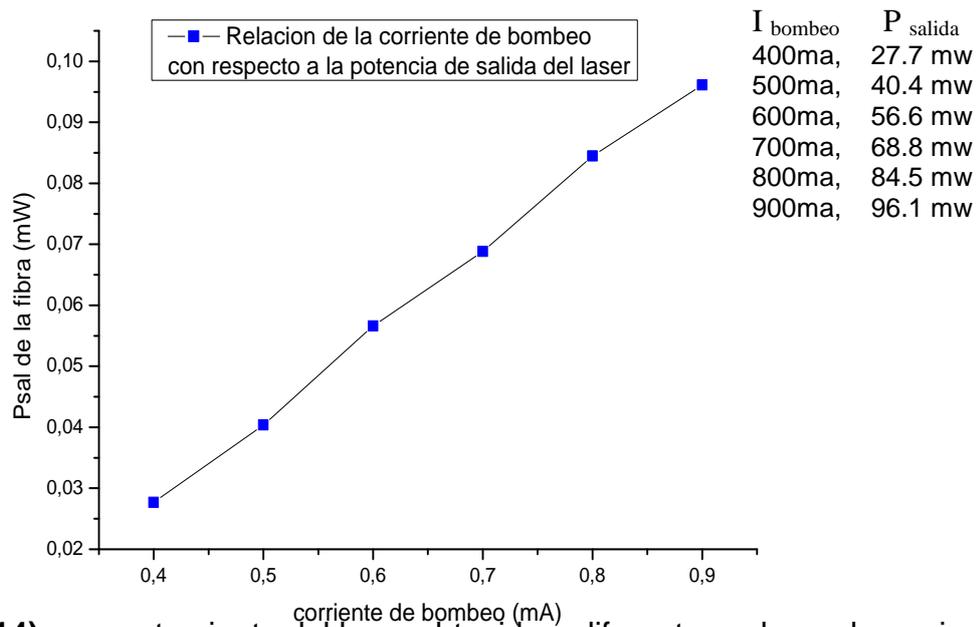


Figura 4.14) comportamiento del laser obtenido a diferentes valores de corriente de bombeo.

En la figura 4.14 podemos observar que a mayor corriente de bombeo, mayor será nuestra potencia obtenida a la salida de la fibra. Hemos obtenido diferentes valores de potencia a la salida de la fibra lo que corresponde al 21% de la potencia entrante en la fibra óptica, de acuerdo a los datos tomados en el medidor de potencia.

4.5 Arreglo experimental para visualizar la emisión del laser a través del analizador de espectros

Se bombea la fibra dopada de Er^{3+}/Yb^{3+} a diferentes valores de corriente y se visualiza el espectro de emision obtenido para cada uno de los valores a través de un analizador de espectros, (osa AQ-6315A).

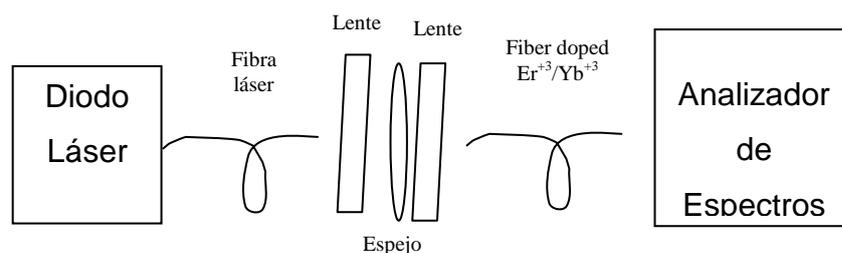


Figura 4.15) arreglo experimental para visualizar el laseo

Resultados

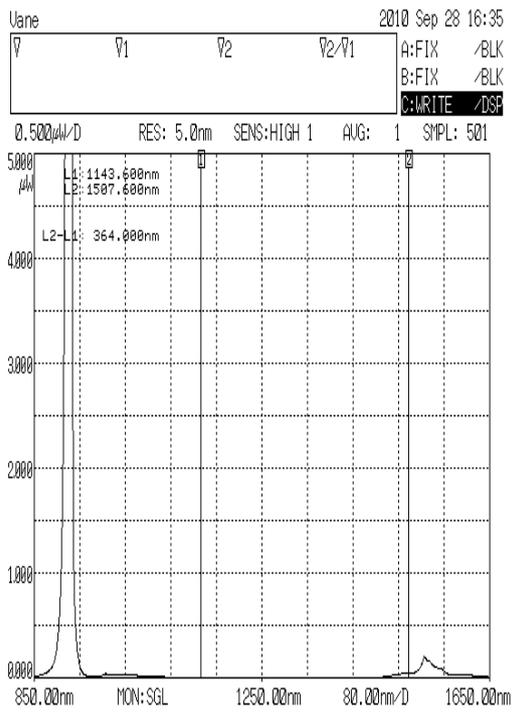


Figura 4.16) bombeo a 400mA

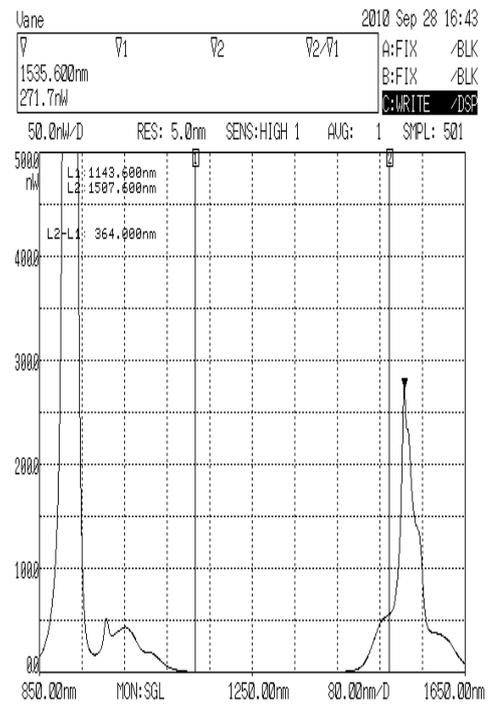


Figura 4.17) bombeo a 500mA

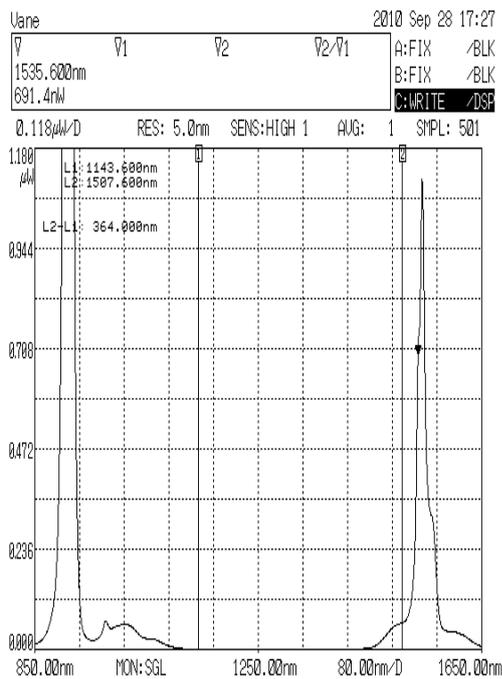


Figura 4.18) bombeo a 600 mA

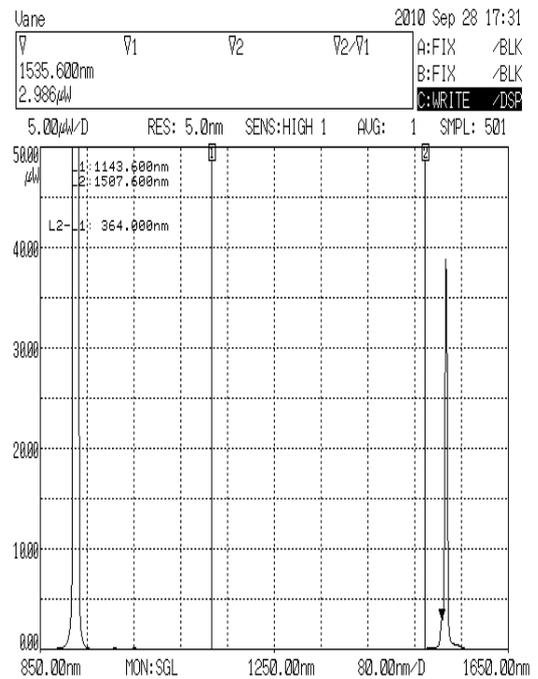


Figura 4.19) bombeo a 700 mA

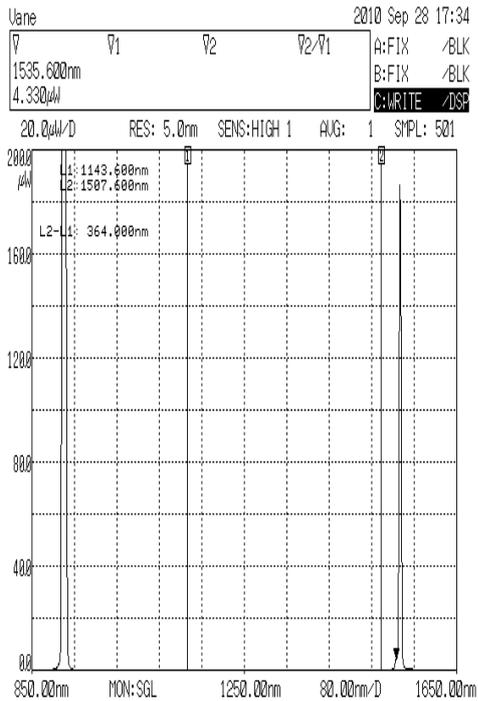


Figura 4.20) bombeo a 800mA

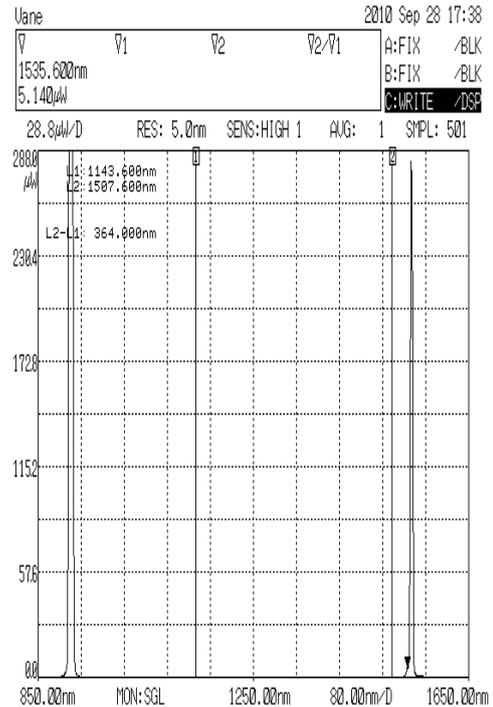


Figura 4.21) bombeo a 900mA

En las figuras 4.16, 4.17, y 4.18 Que corresponde a un bombeo de 400 mA, 500 mA y 600 mA, se observa que aun no existe laseo, lo único que logra apreciarse es la emisión de fluorescencia producida por la fibra de er^{3+}/yb^{3+} y el bombeo del laser. En las figuras 4.19, 4.20 y 4.21 correspondientes a un bombeo de 700mA-900mA podemos apreciar el bombeo del laser y el laseo de la fibra a una longitud de 1535.600nm, lo cual se ha observado que si tenemos una potencia mayor de 50 mw a la salida de la fibra es cuando obtenemos luz laser.

Se grafican los datos de las gráficas anteriores obtenidos del analizador de espectros, a través del software Origin Pro para visualizarse con más detalles.

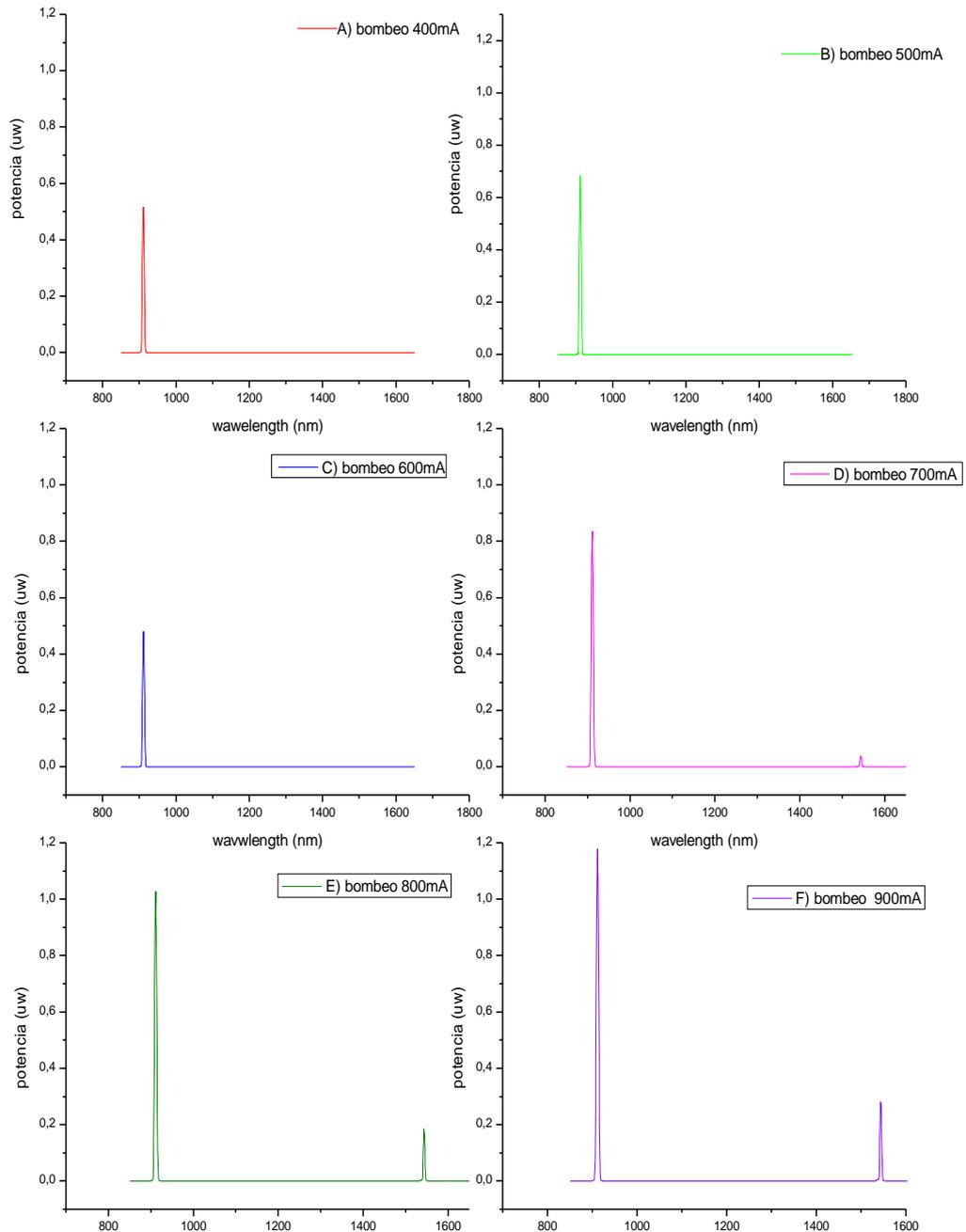


Figura 4.22) Resultado de emisión del laser obtenido del software Origin Pro a través de los datos del analizador de espectros.

En la figura 4.22 obtenidas a través del software Origin Pro con los datos del analizador de espectros podemos corroborar que con los primeros valores de bombeo no obtenemos laser. Es a partir de la grafica D cuando se bombea a una corriente de 700 mA que se empieza a obtener laser a través de la fibra de er^{3+}/yb^{3+} .

Se grafican los tres picos lasers obtenidos a partir de un bombeo de 700mA – 900mA.

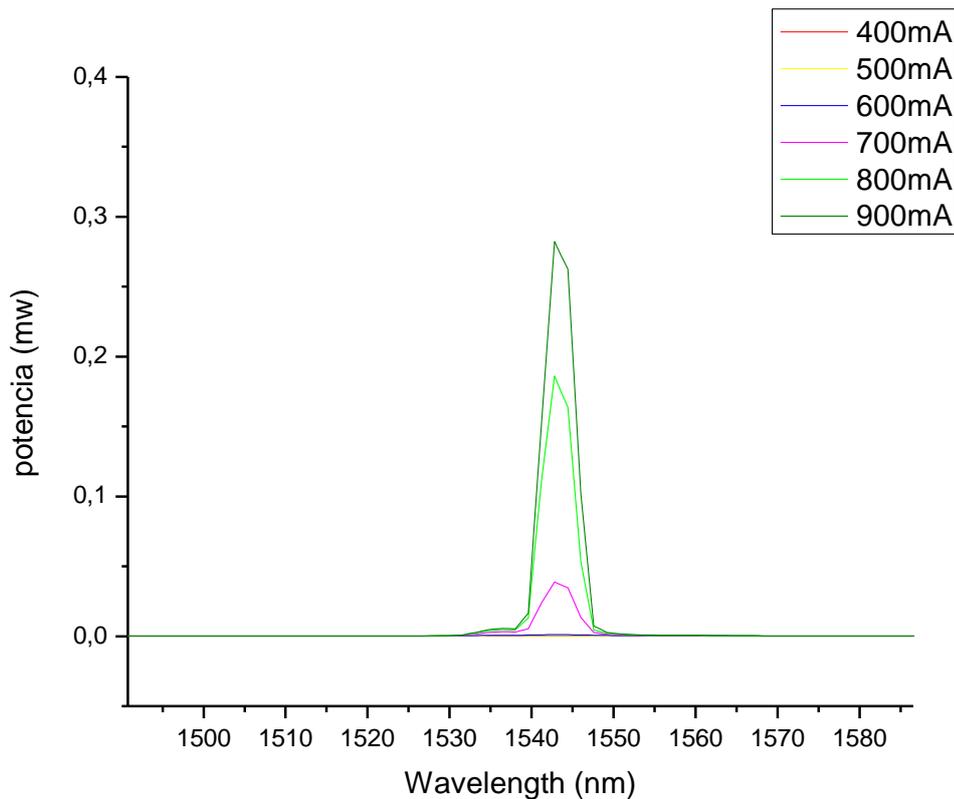


Figura 4.23) Comparación de los tres picos laser obtenidos.

En la figura 4.23 podemos observar los tres picos lasers obtenidos. Con un bombeo de 700 mA tenemos una emisión de láser con una longitud de onda que va de 1540.66–1545.75 nm, la cual tiene un pico de emisión a 1542.60 nm con una potencia de 0.36 mw; para un bombeo de 800 mA tenemos una emisión del laser con una longitud de onda que comprende de 1540.68–1545.53 nm, cuyo pico de emisión se encuentra a 1542.81 nm con una potencia de 18mw; con un

bombo de 900 mA tenemos un laser con longitud de onda de 1540.33-1546.60 nm, cuyo pico de emisión se encuentra a 1542.81 nm con una potencia de 28 mw.

4.6 Obtención de laser a 1550 nm

De acuerdo a los experimentos anteriores, ahora caracterizaremos un filtro a 915nm que nos permita dejar pasar señal después de esa longitud de onda para obtener el laser a 1550 nm. En la figura 4.24 se muestra el arreglo que nos ayudara a caracterizar dicho filtro, y en la figura 4.26 se muestra el arreglo experimental para obtener el laser a 1550nm.

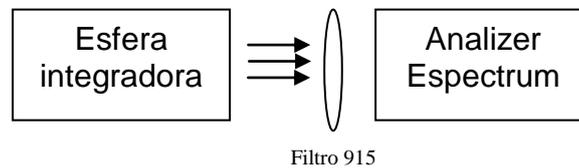


Figura 4.24) Arreglo experimental para caracterizar el filtro a 915 nm.

Resultados

Se caracteriza el filtro a diferentes ángulos de inclinación, 90°, 20° y 45°, con la finalidad de saber si colocándolo a diferentes ángulos la respuesta que nos ofrece es la misma.

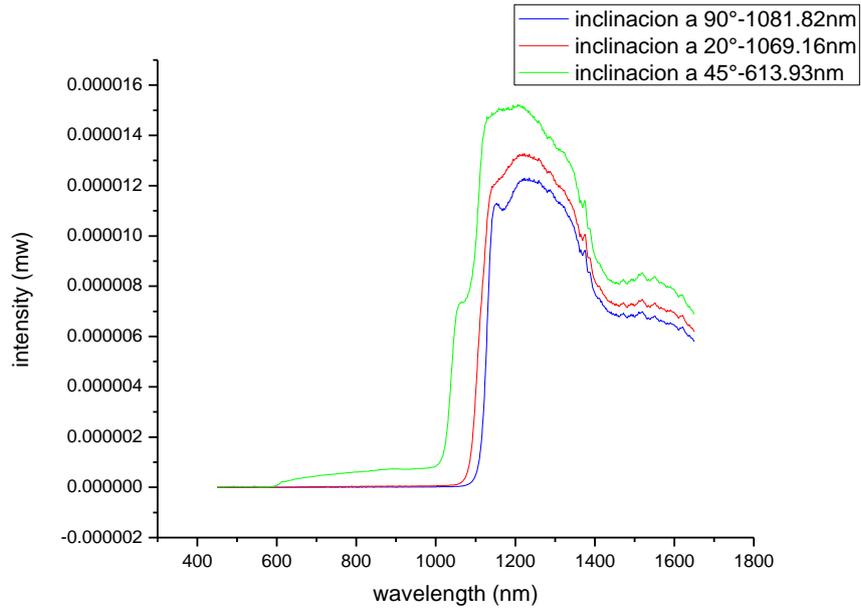


Figura 4.25) Caracterización del filtro

De acuerdo a los resultados obtenidos del analizador de espectros y una vez graficada se observa que el filtro colocado a 90° nos permite pasar una señal después de 1081.82nm; colocándolo a un ángulo de 20° nos deja pasar una señal después de 1069.16nm y con un ángulo de 45° nos permite pasar una señal después de 613.93nm. Con esto podemos observar que el filtro funcionara bien colocándolo a 90° y a 20° ya que lo que se necesita es que deje filtrar una señal después de 915nm, por el contrario inclinándolo a un ángulo mayor este filtrara una señal antes de los 915nm. Para ello el filtro se colocara a 90° .

4.7 arreglo experimental del laser a 1550

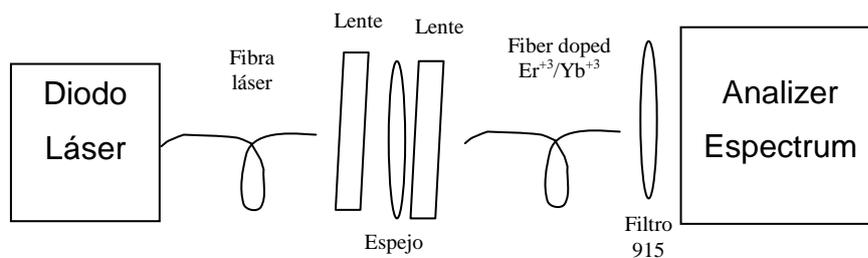


Figura 4.26) Arreglo experimental para el laser a 1550

Resultados

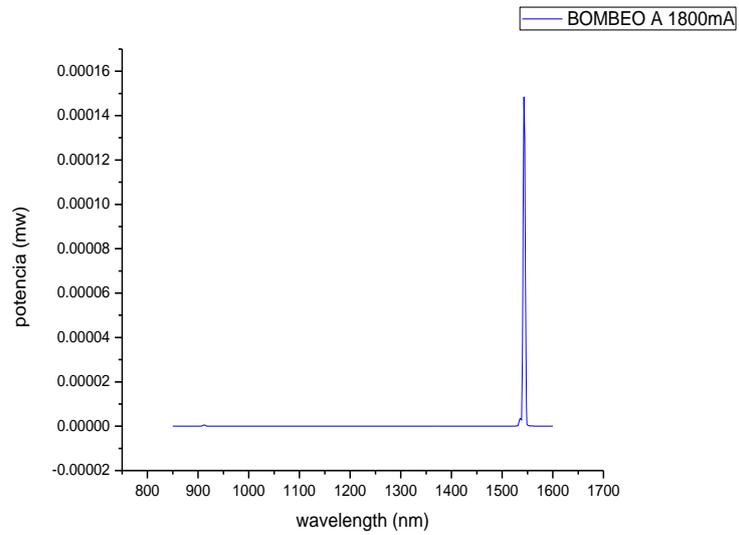


Figura 4.27) Laser a 1550nm

En la figura 4.27 se muestra el resultado de tomar una muestra con un bombeo de 1800 mA y podemos observar que con la ayuda del filtro hemos obtenido un emision de láser a una longitud de onda a 1550nm. También se observa que de acuerdo a las características del filtro esta no deajo pasar el bombeo del diodo laser como se mostraba anteriormente en las graficas del laser sin filtro ya que se encuentra a una longitud menor a 915nm.

A continuación se muestra una grafica general, tomada para diferentes valores de corriente de bombeo.

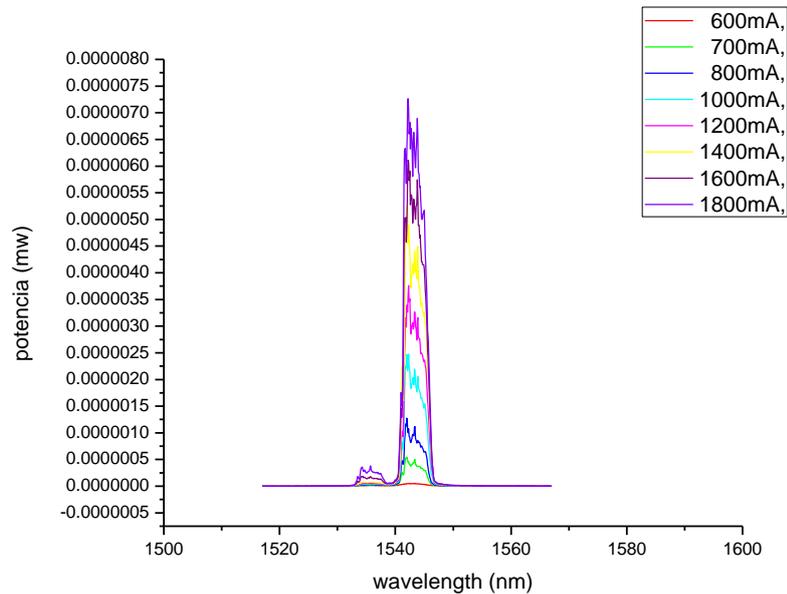


Figura 4.28) Lasers obtenido a diferentes valores de corriente de bombeo

En la figura 4.28 se muestra a manera general cada uno de los picos lasers que se obtuvieron como resultado de bombear la fibra óptica a diversos valores de corrientes de bombeo. Como se puede observar los picos laser se encuentran a una longitud de 1550nm y como resultado de la ayuda del filtro este no deajo pasar el bombeo del diodo laser.

CONCLUSION

En el presente trabajo se ha llevado a cabo la caracterización de una fibra laser de er^{3+}/yb^{3+} a una longitud de onda de 1550nm, utilizando un filtro a 915nm, para ello fue necesario la caracterización del filtro a diferentes ángulos de inclinación.

Se obtuvieron los resultados esperados por parte del filtro, es decir que dejara pasar una señal después de 915 nm y se procedió a utilizarlo para dar origen al laser a la longitud antes mencionada.

Los resultados fueron satisfactorios puesto que se logro obtener el la emisión del laser a diferentes valores de corriente de bombeo. Con esto podemos concluir que la participación de las fibras ópticas para la generación de fibras laser ha dado excelentes resultados.

4.8 Arreglo experimental para la caracterización de los pulsos cortos

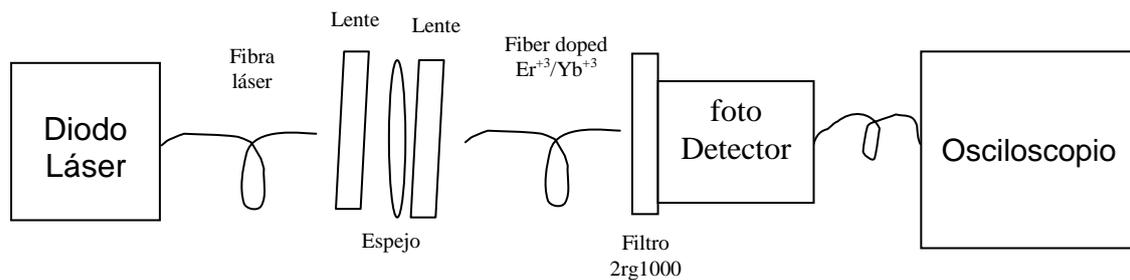


Figura 4.29) Diagrama a bloques del arreglo experimental para la obtención de pulsos

Resultados

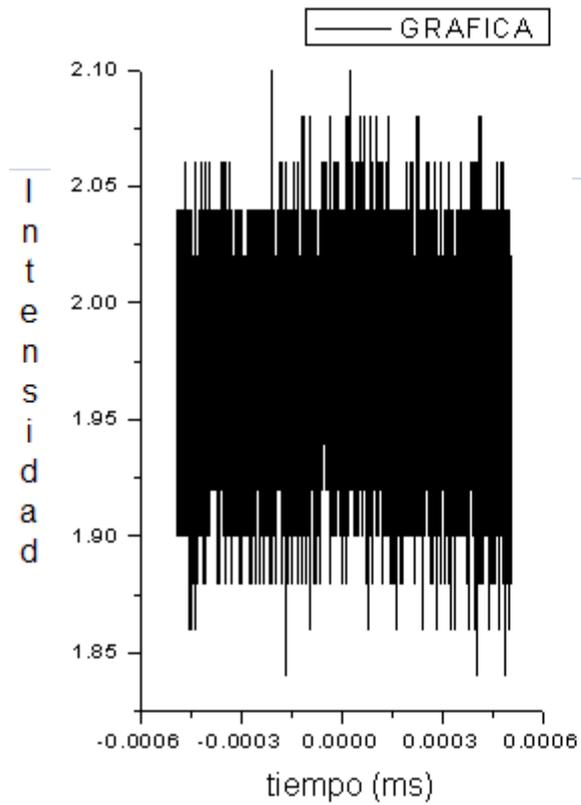


Figura 4.30) oscilación a 400 mA

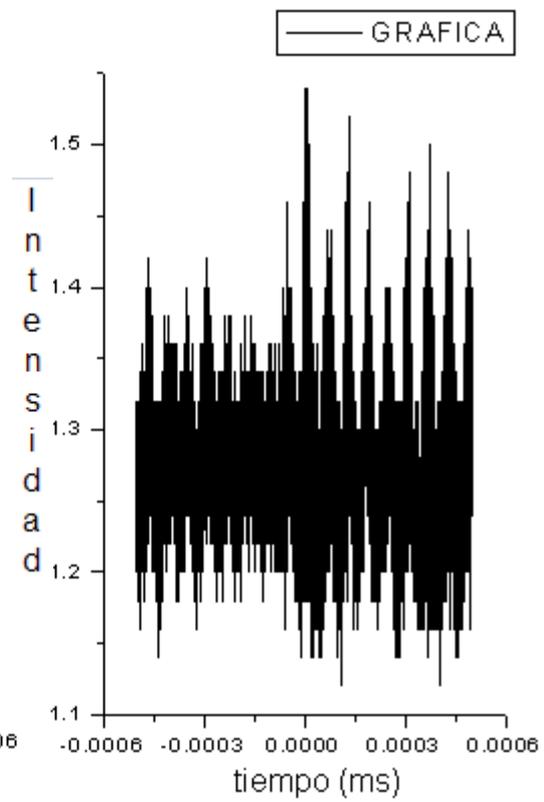


Figura 4.31) oscilación a 600 mA

En las figuras 4.30 y 4.31 se observa que para un bombeo de 400 y 600 mA aun no se tienen los pulsos bien definidos, por lo que no podemos obtener cual es el ancho de pulso.

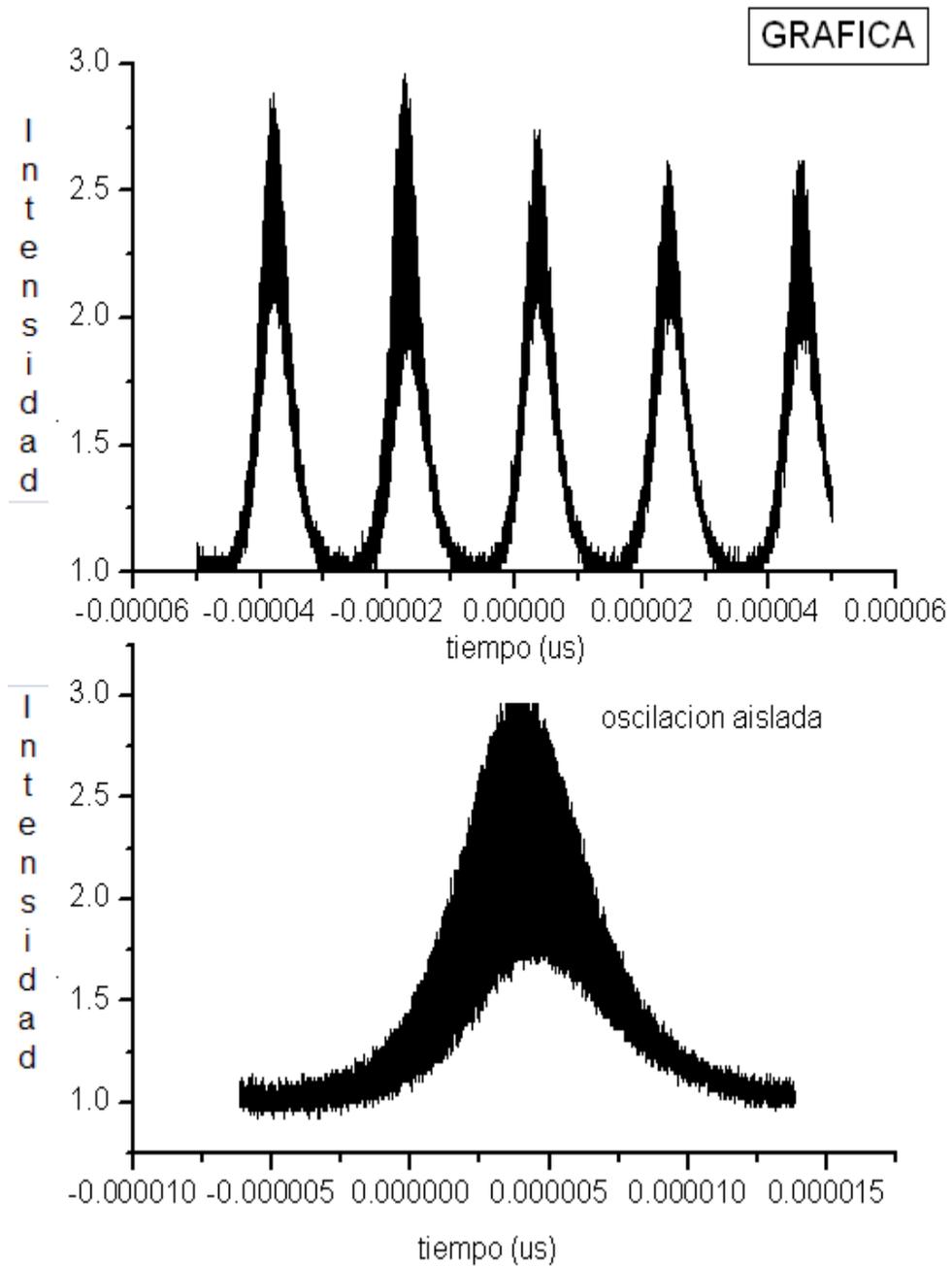


Figura 4.32) oscilación con una corriente de bombeo a 800 mA

El resultado de haber bombeado la fibra laser a 800 mA lo podemos observar en la figura 4.32 en donde tenemos un ancho de pulso Δt de 69.0 μs y una separación entre modos de 20.7 μs .

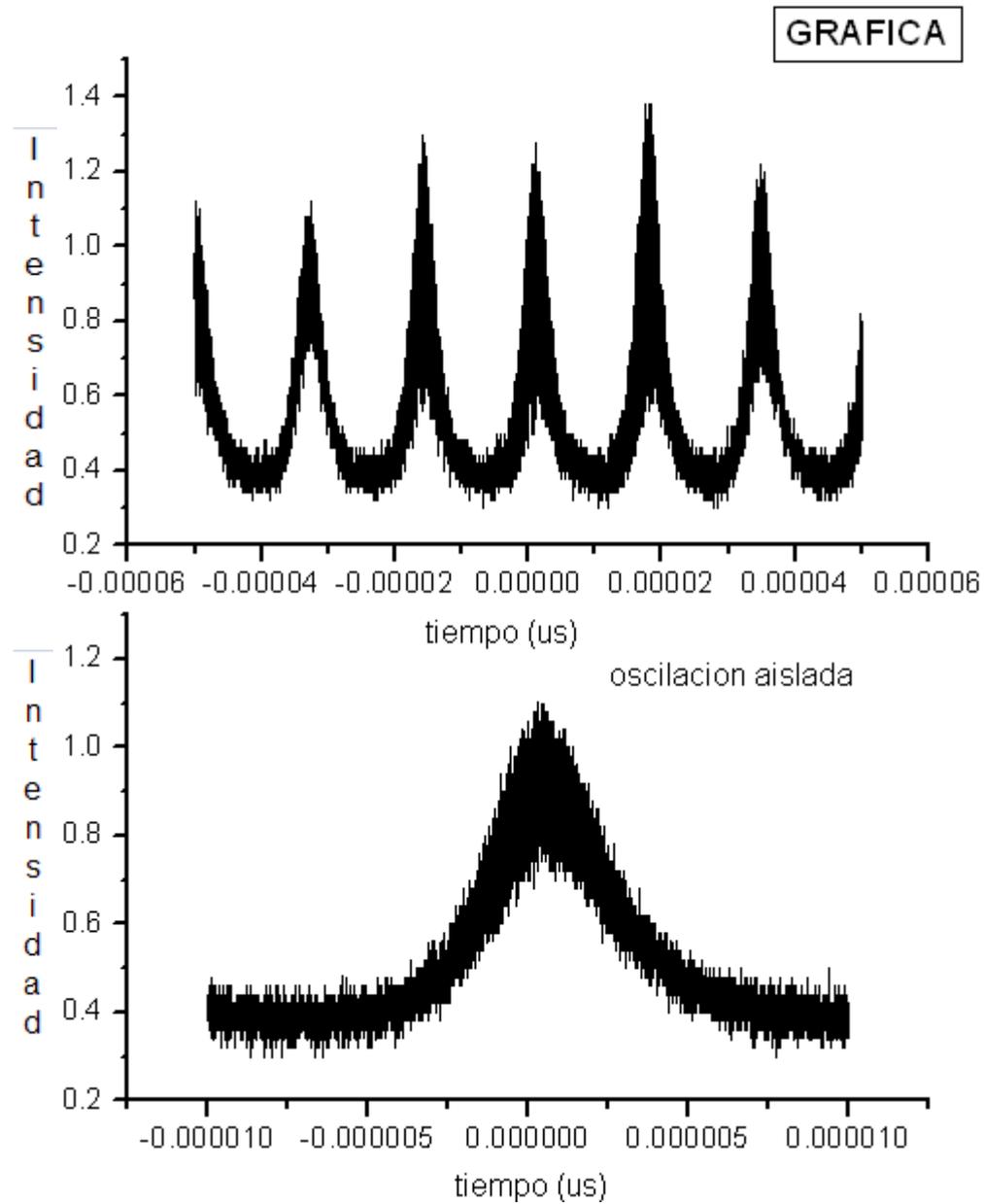


Figura 4.33) oscilación con una Corriente de bombeo de 900ma

En la figura 4.33 se muestra los modos de oscilación del láser cuando se bombeo con una corriente de 900mA. En la grafica de oscilación aislada se observa que el ancho de pulso Δt es de 29.7 μm y la separación entre modos es de 16.1 μm .

CONCLUSION

En el presente trabajo se llevó a cabo la caracterización de un laser de fibra óptica dopado de tierras raras de erbio/iterbio como medio resonador de laser a una longitud de onda de 1550 nm.

De acuerdo a las conclusiones de los capítulos anteriores, se obtuvieron los resultados esperados consiguiendo un laser a la longitud antes mencionada, la cual fue construido con espejos, lentes y filtros que dejara pasar una longitud de onda después de 915 nm. Para ello se caracterizó en primer lugar los filtros y espejos para la producción de un laser.

Su aplicación tiene gran interés en diversos campos, como en Sistemas de comunicación con mecanismos multiplexadores (WDM), sensores de fibra, procesado de señales, calibrado de instrumentos ópticos o espectroscopia.

Trabajar en este proyecto fue de gran interés puesto que se aplicaron y se reforzaron conceptos contribuyendo a mi formación.

Referencias bibliográficas

1. Govind p. agrawal. Aplicacitions of nonlinear fiber optics. Series editor
2. Halliday Resnick Krane. Física cuarta edición 2 (1999) 569.
3. Becker Olsson Simpson. Erbium-doped fiber amplifiers fundamentals and technology. (1999)55
4. Raman Kashyap. Optical fiber technology 1 (1994)17

Anexos



Esfera integradora

Características

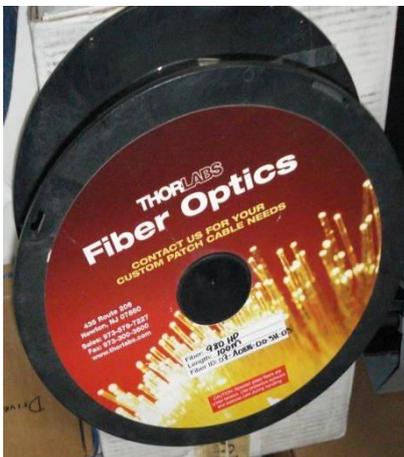
Rango espectral	360-1000nm
dimensiones	54 mmx57mmx83mm
Diámetro de esfera	1.5"
Peso	864.7 g
Reflectividad	>98% (400-1500nm) >95% (250-2000nm)
Mediciones de reflectancia	Especular incluido o excluido
Vida del bulbo	900 horas
conector	SMA 905



Detector de potencia
S121B

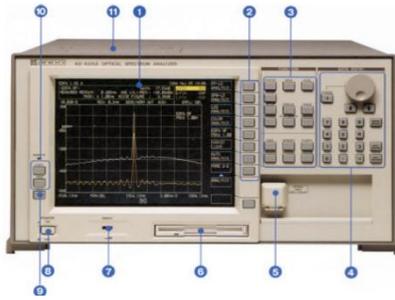
Características

Rango espectral	400-1100nm
Rango de potencia óptica	500NW-500mw
Apertura de entrada	9.5" de diámetro
Resolución	1nw
Incertidumbre de error	+ - 5%
Operación a temperatura	5°C - 40°C
Temperatura de almacenamiento	-20°C – 70°C
Distancia al detector	5.8 mm



Características

ITEM 980HP ³	
Longitud de onda de operación	980-1600nm
revestimiento	125±1.5µm
recubrimiento	245±1.5µm
Diámetro de campo	4.2±0.5µm @980nm



Espectrómetro AQ-6315A
Analizador de espectros



Lente C330TME

Características	
Rango de Medición de longitud de onda	350-1750 nm
Nivel de precisión	$\pm 0.3\text{dB}$ (en 633/1310/1550 nm)
Nivel de escala	0.1-10dB/div y lineal
Resolución de longitud de onda	0.05-10 nm
Extensión de longitud de onda	0-1500 nm

Características	
Díámetro de tolerancia	$\pm 0.015\text{ mm}$
Diseño para longitud de onda	830 nm
Distancia de trabajo (lente)	1.76 mm
Distancia de trabajo (montaje)	1.68 mm

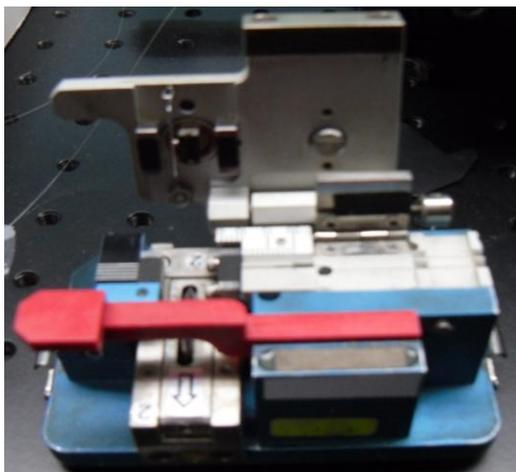
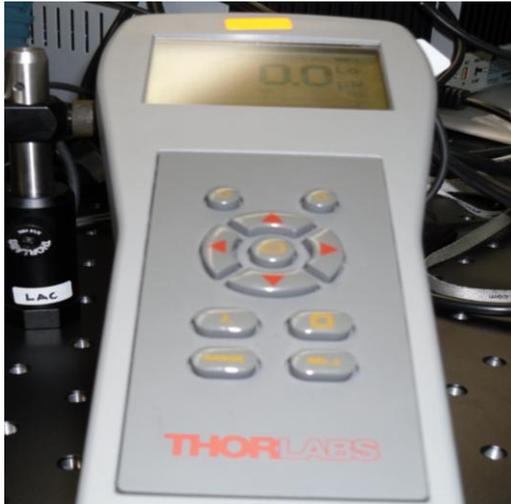


Foto de la cortadora usada para cortar la fibra óptica



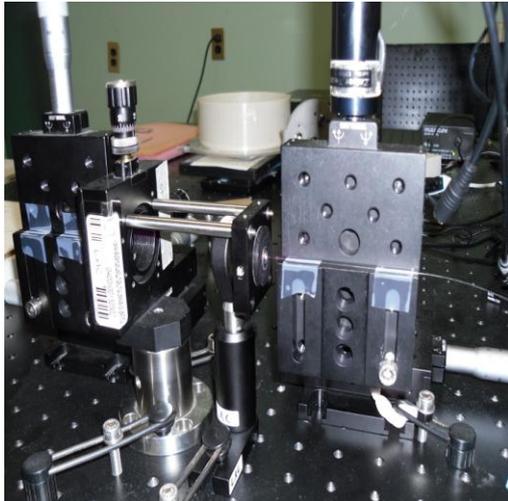
Medidor de potencia analógico



Medidor de potencia digital
Rango de potencia: 500nw-500mw



Tarjeta para colimar la luz láser

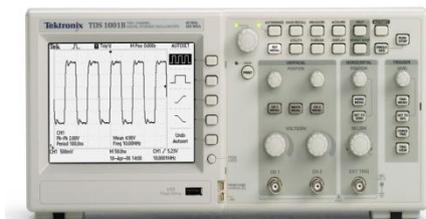


Montaje general para la obtención del láser



Cámara de infrarrojos

Osciloscopio



Tektronix TDS 1012B

Características

Ancho de banda de 100 MHz
Velocidad de muestreo de 2 Gs/s en tiempo real
2 canales
Pantalla LCD monocromática



2010, Año de la Patria. Bicentenario del Inicio de la Independencia y
Centenario del Inicio de la Revolución

M. C. Roberto Carlos García Gómez
Jefe del Departamento de Gestión Tecnológico y Vinculación
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez
PRESENTE

Por este conducto, se hace constar que la C.

Romaida Morales Domínguez

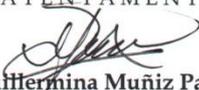
alumna de la Carrera de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, con el número de control 08270285, realizará en este Centro la actividad de Residencia Profesional con el proyecto denominado:

" Estudio y Caracterización de Nuevas Fibras y Materiales Laser"

La C. Morales Domínguez estará bajo la asesoría de la Dra. María Alejandrina Martínez Gámez en los laboratorios de Fibras Ópticas del Centro de Investigaciones en Óptica, del 16 de Agosto al 16 de Diciembre de 2010, cumpliendo con 640 horas.

Para los fines que a la interesada convengan, se extiende la presente a los 22 días del mes de Noviembre de 2010.

ATENTAMENTE


Lic. Guillermina Muñiz Palancares
Departamento de Servicios Escolares
Dirección de Formación Académica


**CENTRO DE INVESTIGACIONES
EN OPTICA, A.C.**
DIRECCIÓN DE FORMACIÓN ACADÉMICA
Servicios Escolares

Gm*/lhp
DFA/SE/239

Loma del Bosque No. 115 Col Lomas del Campestre C.P. 37150
León Gto., México Apdo. Postal 1-948
Tel. (01-477) 4414200 Fax (01-477) 4414209
www.cio.mx





INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

Departamento: GESTION TEC. Y VINC
No. de Oficio: DGTyV /1614
Fecha: 10/08/10

**ASUNTO: PRESENTACIÓN DEL ALUMNO
Y AGRADECIMIENTO**

Dr. Fernando Mendoza Santoyo
Director General
Centro de Investigaciones en Óptica, A.C.
León, Guanajuato
P R E S E N T E

El Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, tiene a bien presentar a sus finas atenciones al (la) **C. Morales Domínguez Romaida** número de control: **08270285** carrera de: **Ingeniería Electrónica** quien desea desarrollar en ese organismo el proyecto de Residencias Profesionales denominado **Estudio y caracterización de nuevas fibras y materiales laser** cubriendo un total de 640 horas, en un período de cuatro a seis meses.

Es importante hacer de su conocimiento que todos los alumnos que se encuentran inscritos en esta institución cuentan con un seguro contra accidentes personales con la empresa **MetLife**, Según póliza No. **AE1489**, e inscripción en el IMSS

Así mismo, hacemos patente nuestro sincero agradecimiento por su buena disposición y colaboración para que nuestros alumnos, aún estando en proceso de formación, desarrollen un proyecto de trabajo profesional, donde puedan aplicar el conocimiento y el trabajo en el campo de acción en el que se desenvolverán como futuros profesionistas.

Al vernos favorecidos con su participación en nuestro objetivo, sólo nos resta manifestarle la seguridad de nuestra más atenta y distinguida consideración.

A T E N T A M E N T E

M.C. ROBERTO CARLOS GARCÍA GÓMEZ
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN

C.c.p. Archivo
C.c.p. Alumno

SNEST-AC-PO-007-03


SECRETARIA DE EDUCACION
PUBLICA
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez
Departamento de Gestión Tecnológica y Vinculación



**CENTRO DE INVESTIGACIONES
EN OPTICA, A.C.**

DIRECCION DE FORMACION ACADEMICA

*Recibido
21/12/2010*

Rev. 5



Carretera Panamericana Km. 1080, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, C. P. 29050, apartado Postal 599
Teléfonos: (961) 615-0380, 615-0461 Fax: (961) 615-1687
www.ituxtlagutierrez.edu.mx



CENTRO DE INVESTIGACIONES
EN ÓPTICA, A.C.

2010, Año de la Patria. Bicentenario del Inicio de la Independencia y
Centenario del Inicio de la Revolución

M. C. Roberto Carlos García Gómez
Jefe del Departamento de Gestión Tecnológico y Vinculación
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez
PRESENTE

Por este conducto, se hace constar que la C.

Romaida Morales Domínguez

alumna de la Carrera de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, con el número de control 08270285, concluyó exitosamente en este Centro la actividad de Residencia Profesional con el proyecto denominado:

" Estudio y Caracterización de Nuevas Fibras y Materiales Laser"

La C. Morales Domínguez estuvo bajo la asesoría de la Dra. María Alejandrina Martínez Gámez en los laboratorios de Fibras Ópticas del Centro de Investigaciones en Óptica, del 16 de Agosto al 16 de Diciembre de 2010, cumpliendo con 640 horas.

Para los fines que a la interesada convengan, se extiende la presente a los 16 días del mes de Diciembre de 2010.

ATENTAMENTE

Lic. Guillermina Muñiz Palancares
Departamento de Servicios Escolares
Dirección de Formación Académica



Cm*/lhp
DFA/SE/249

Loma del Bosque No. 115 Col Lomas del Campestre C.P. 37150
León Gto., México Apdo. Postal 1-948
Tel. (01-477) 4414200 Fax (01-477) 4414209
www.cio.mx

