



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

CENTRO DE INVESTIGACIONES EN ÓPTICA, A.C.
DIRECCIÓN DE FOTÓNICA
LABORATORIO DE LÁSERES
GRUPO DE SISTEMAS DINÁMICOS

REPORTE DE RESIDENCIA PROFESIONAL

PROYECTO

CONTROL DE LA DINÁMICA DE EMISIÓN DE LÁSERES

PRESENTA:

OLIVIA DEL CARMEN SÁNCHEZ BARRIOS

No. CONTROL 06270313

ING. ELECTRÓNICA

ASCESOR INTERNO

ING. ODILIO OROZCO MAGDALENO

ASCESOR EXTERNO

Dr. VICTOR JOEL PINTO ROBLEDO

LEON GUANAJUATO DICIEMBRE 2010

INDICE

CAPITULO 1. GENERALIDADES

1.1 Introducción.....	6
1.2 Información general de la institución donde se desarrollo el proyecto	8
1.2.1 Antecedentes de la institución	8
1.2.2 Logros	9
1.3 Área específica relacionada directamente con el proyecto	10
1.4 Antecedentes del proyecto	10
1.5 Planteamiento del problema	13
1.6 Nombre del proyecto	13
1.7 Objetivos generales y específicos	13
1.7.1Objetivo general	13
1.7.1Objetivo general	14
1.8 Justificaciones del proyecto.....	14
1.9 Alcances y limitaciones del proyecto	15
1.10. Metodología para el desarrollo del proyecto.....	15

CAPITULO 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Definición y descripción del láser	17
--	----

2.2 Principio de funcionamiento	18
2.3 Teoría de láseres.....	20
2.4 Láser Nd:YAG	22
2.5 Láser nd:YVO4.....	23
2.6 Absorbedor saturable Cr4+:YAG.....	25
2.7 Modulador acústico-óptico.....	25
2.8 Sistemas dinámicos.....	27
2.8.1 Sistemas dinámicos lineales	29
2.8.2 Sistemas dinámicos no lineales.....	29
2.9 Sistema dinámico caótico	30

CAPÍTULO 3. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

3.1 Descripción general y diagrama de bloques del sistema de control de la dinámica de emisión de láseres que se propone.....	34
3.2 Descripción y justificación técnica de cada una de las partes (o dispositivos) que conformar el proyecto.....	35
3.3 Diseño de fotodetector.....	41
3.4 Diseño de preamplificador	44
3.5 Diseño de amplificador	45
3.6 Diseño de filtro pasa banda.....	45
3.7 Pruebas	47
3.7.1 Pruebas preliminares.....	47
3.7.2 Graficas utilizando modulación para el laser con cristal Nd:YVO4	49
3.7.3 Graficas utilizando el absorbedor saturable Cr4+:YAG	51

3.7.4 Graficas utilizando el absorbedor saturable Cr ⁴⁺ :YAG con modulación.....	51
OBSERVACIONES Y SUGERENCIAS.....	55
CONCLUSIÓN	56
REFERENCIAS	57
ANEXOS	59
Anexo A.....	59
Anexo B.....	63

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Los Láseres se usan en muchas aplicaciones incluyendo procesamiento de materiales, construcción, medicina, comunicaciones, producción de energía, usos militares, soldadura, topografía, medicina, y como herramienta en muchas áreas de investigación científica. Muchos tipos de Láseres comercialmente disponibles cubren en tamaño desde dispositivos que pueden estar en la punta de un dedo y otros que llenan grandes edificios.

Todos los dispositivos Láser tienen ciertas características básicas en común. Un dispositivo Láser es una fuente de radiación óptica que exhibe propiedades únicas y una amplia variedad de aplicaciones.

De reciente importancia para consideraciones de seguridad es la introducción de dispositivos Láser en productos orientados al consumidor como escáner con Láser, fotocopiadoras e impresoras Láser y sistemas de disco compacto de audio y vídeo. La mayoría de dispositivos de estos mercados emiten relativamente bajos niveles de potencia y consecuentemente, ya que sus haces están encerrados, su uso no posee riesgos de Láser.

Existen aplicaciones, en las que los niveles de potencia utilizados son muy altos y por lo cual, se requiere de especial cuidado en cuanto a calibración, control, modulación, etc. El control preciso de los láseres es una meta clave para muchas áreas de la ciencia y la tecnología, por ejemplo en comunicaciones, en telemetría láser, en investigación, así como en innumerables procesos industriales que requieren de una alta precisión en la exposición a la luz láser, en procedimientos médicos y oftalmológicos, entre otros.

Los láseres de estado sólido se caracterizan por tener como medio activo no un gas, sino una varilla o una plancha sólida de material transparente, vidrio o cristal ligeramente impurificado. Es el constituyente impurificador lo que proporciona la estructura energética requerida para producir el efecto láser. La red cristalina actúa esencialmente como material contenedor, aunque también modifica la estructura energética global.

El Láser basado en el cristal Nd:YVO_4 es uno de los usados estos días para un gran número de aplicaciones ya que, cuando se le bombea con diodos láser, constituye uno de los sistemas más compactos, de bajo costo y de gran eficiencia. Sin embargo la emisión láser de este sistema es altamente inestable, y eso ha limitado en gran medida su uso en aplicaciones que requieren de una alta precisión y debido a eso se le sigue estudiando con el propósito de mejorar aún más sus características. En estos estudios se busca encontrar la manera de reducir la inestabilidad y evitar la ocurrencia de regímenes caóticos.

Para este proyecto se utiliza un método de control basado en retroalimentación, en el cual se utiliza moduladores acústico-ópticos. Para control dinámico de pérdidas.

Los moduladores acústico-ópticos (AOMs) son capaces de modular la amplitud de un haz de láser a muy alta velocidad. Por ejemplo para anchos de banda de modulación de más de 50MHz son fácilmente alcanzables.

Se pretende crear una señal sonora, que al establecer distancias entre emisor y receptor, genere retardos de transmisión el cual alimentará al modulador acústico-óptico y a su vez alimenta a un foto-detector que cuenta con una salida sonora capaz de crear la retroalimentación necesaria para el sistema, y controlar la dinámica del láser Nd:YVO_4 .

1.2 INFORMACIÓN GENERAL DE LA INSTITUCIÓN O EMPRESA DONDE SE DESARROLLO EL PROYECTO

CIO. Centro de Investigaciones en Óptica, A.C.

Loma del Bosque #115 Col. Lomas del Campestre C.P. 37150

A.P. 1-948 t +52 (477) 441 42 00 f +52 (477) 441 42 09

León Gto. MÉXICO.

El Centro de Investigaciones en Óptica A. C. es un Centro Público de Investigación dedicado a la investigación básica y aplicada, la formación de recursos humanos de alto nivel en el campo de la óptica, así como al fomento de la cultura científica en la sociedad.

1.2.1 ANTECEDENTES DE LA INSTITUCIÓN

Acorde con el objetivo que el CONACYT estableció desde sus inicios, de fomentar una cultura competitiva basada en el desarrollo científico y tecnológico, enmarcando sus acciones en las políticas y objetivos del Plan Indicativo de Ciencia y Tecnología 1976-1982, el Consejo tuteló la fundación del Centro de Investigaciones en Óptica, Asociación Civil, (CIO), en la ciudad de León Gto. Dicho proceso de creación tuvo su inicio legal el 18 de Abril de 1980, en un acto protocolario en el que se levantó el acta constitutiva de la nueva institución, donde aparecen como firmantes quienes en la época eran autoridad en niveles de gobierno y dependencias oficiales: el Dr. Edmundo Flores, Director General del CONACYT, el Dr. Guillermo Soberón Acevedo, Rector de la UNAM, el Lic. Enrique Velasco Ibarra, Gobernador Constitucional del Estado de Guanajuato y el Lic. Harold Gabriel Appetl, Presidente del Ayuntamiento Constitucional de la Ciudad de León Gto.

En abril de 1980 el CIO se funda en León e inicia labores en un piso rentado de un edificio del primer cuadro de la ciudad con un 1 investigador y 3

técnicos (el propio Dr. Malacara, el entonces M.C. Arquímedes Morales Romero y los Ingenieros José Castro Villicaña y Carlos Javier Martínez Castro, comisionados todos por la UNAM), desarrollando investigación en el área de la instrumentación óptica, fundamentalmente en el área de telescopios astronómicos y superficies ópticas. Se dieron también los primeros pasos para hacer crecer el número de su personal y las áreas de trabajo (que era una de las más urgentes necesidades para crecer y consolidarse, pues había sido ésta también una de las condiciones impuestas por el Consejo y la Universidad Nacional para apoyar el traslado del proyecto a Guanajuato) y lo que es más importante, se inició la divulgación de temas científicos y de la óptica en las instituciones educativas de nivel medio y superior que existían en esa época, impartiendo cursos en diferentes carreras y dirigiendo tesis con temáticas científicas, tanto en instituciones de la ciudad como en la región central del país.

1.2.2 LOGROS

Actualmente el Centro de Investigaciones en Óptica A.C. se define como Centro Público de Investigación, con la misión de llevar a cabo investigación básica y aplicada en Óptica, la formación de recursos humanos de alto nivel en el este mismo campo del conocimiento, así como al fomento de la cultura científica en la sociedad, con la misión además de ser un Centro de Investigación de excelencia, con liderazgo nacional y reconocimiento internacional creciente en el campo de la óptica, ocupando un lugar central en el desarrollo de la ciencia y la tecnología en nuestro país.

1.3 ÁREA ESPECÍFICA RELACIONADA DIRECTAMENTE CON EL PROYECTO

LABORATORIO DE LÁSERES

El Laboratorio de Láseres se encuentra en la División de Fotónica de CIO en donde se llevan a cabo estudios sobre la dinámica de estos láseres cuando son

bombeados ya no por lámparas flash sino por láseres de semiconductor de potencia media.

En la División de Fotónica se realiza investigación teórica y experimental sobre las propiedades ópticas de la materia y su interacción con la luz. Los resultados del trabajo del Departamento de Fotónica generan nuevos avances científicos y tecnológicos con potenciales aplicaciones a mediano y largo plazo en dispositivos práctico/tecnológicos en las áreas de opto-electrónica, ciencia e ingeniería de materiales, láseres, dispositivos fotónicos, etc.

1.4 ANTECEDENTES DEL PROYECTO

La denominación LÁSER (láser), proviene de la frase en inglés: "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation", que quiere decir "amplificación de la luz por emisión estimulada de radiación".

Los antecedentes del láser, se hallan en el desarrollo de la Mecánica Cuántica en el presente siglo. El primero fue construido en 1960 y en la actualidad se conocen unos cuantos de ellos para distintas ramas de las ciencias.

La energía sale en forma de un haz coherente, intenso y monocromático, capaz de generar gran cantidad de calor y potencia cuando se concentra en un área pequeña.

Es necesario distinguir dos grandes grupos de láser de uso médico.

1. - **LASER duro.** (Hard láser), también llamado quirúrgico, que produce un efecto térmico sobre los tejidos, lo cual se traduce en cortes muy precisos, vaporización y coagulación de vasos de pequeño calibre. Los más comunes son los de CO₂, Argón, y Nd:YAG.

2. - LASER blando. (Soft láser), de baja energía, también llamados terapéuticos, que producen bioestimulación celular. Se aplican para acelerar la regeneración tisular, cicatrización de heridas, con propósitos analgésicos, antiinflamatorios, homeostáticos y activador de los mecanismos naturales de defensa,. Los más usados son los de Helio-Neón (He-Ne), Arseniuro de galio (GaAs) y Arseniuro de galio y aluminio (GAAIAs).

En los últimos años se han hecho progresos significativos en el estudio y desarrollo de láseres de estado sólido. La mayoría de los avances se basan en el desarrollo de nuevos materiales láser, fuentes de excitación óptica más eficientes y más potentes, y nuevos conceptos en geometría de cristales y diseños de láseres. Estudios más recientes tratan de mejorar las características de la emisión láser en base al control de la dinámica inherente del sistema láser (dinámica y caos).

Existe un modo alternativo de operación láser, de uso común, denominado Q-Switch, que permite la obtención de potencias pico mucho más altas para una energía de bombeo dada. En el modo Q-Switch, en la cavidad se coloca un modulador óptico, por lo general entre el espejo de final y el medio láser, a fin de impedir la realimentación del espejo. De esta forma se incrementa la capacidad de la cavidad para almacenar energía, con respecto a su valor normal y, aún cuando la inversión de poblaciones se esté llevando a cabo, se evita el efecto láser.

Mecanismos para el Q-Switch :

- Métodos pasivos: Son en los que únicamente se inserta un material llamado absorbedor saturable (o Q-Switch pasivo) en la cavidad láser, estos métodos son más sencillos.

En el caso de los cristales uno de los materiales bajo estudio es el Cr^{4+} : YAG. Este cristal dopado tiene excelentes características ópticas y mecánicas,

una de sus características ópticas es que la luz generada tiene polarización; la dirección de la polarización del pulso láser gigante generado (Q-Switch) depende en el proceso de la orientación angular del cristal Cr^{4+} : YAG dentro de la cavidad láser activa. Sin embargo se ha encontrado que el uso del Cr^{4+} :YAG es propenso a la inestabilidad y a la emisión caótica.

- Métodos Activos: Se trata de un método de operación láser en el cual se utilizan moduladores acústico-óptico.

Los moduladores acústico-ópticos (AOMs) son capaces de modular la amplitud de un haz de láser a muy alta velocidad. Por ejemplo para anchos de banda de modulación de más de 50MHz son fácilmente alcanzables.

1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se plantea el estudio de los métodos usados para el control de la dinámica de láseres de estado sólido, en particular se desea implementar la técnica de control por retroalimentación en un sistema láser de estado sólido, se desea estudiar las condiciones bajo las cuales esta técnica aplicada al sistema produce distintos regímenes de trabajo, como oscilación continua o bien oscilaciones periódicas estables. Capturar las señales del láser en tiempo real para el monitoreo y ensayo de técnicas de control dinámico. Encontrar en que valor de los parámetros la dinámica del sistema es caótico

1.6 NOMBRE DEL PROYECTO

CONTROL DE LA DINÁMICA DE EMISIÓN LÁSERES

1.7 OBJETIVOS

1.7.1 OBJETIVO GENERAL

Se desea implementar la técnica de control por retroalimentación en un sistema láser de estado sólido, se desea estudiar las condiciones bajo las cuales esta técnica aplicada al sistema produce distintos regímenes de trabajo, como oscilación continua o bien oscilaciones periódicas estables.

1.7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Usar un láser Nd:YVO₄ para caracterizar su dinámica experimentalmente.
- Realizar una serie de mediciones con control de retroalimentación para la caracterización de la emisión láser.
- Caracterizar la salida láser cuando esta sea caótica o bien en forma de pulsaciones periódicas.

1.8 JUSTIFICACIONES DEL PROYECTO

Los posibles usos del láser son casi ilimitados. El láser se ha convertido en una herramienta valiosa en la industria, la investigación científica, la tecnología militar o el arte.

Los láseres de estado sólido como el Nd:YAG y el Nd:YVO₄ son los láseres más usados en la industria después del láser de CO₂, estos láseres tienen aplicaciones tanto en la manufactura y procesamiento de materiales como en la investigación óptica y en medicina, entre otras. En el área de investigaciones este

tipo de láser se usa en metrología, en espectroscopia. La dinámica de estos láseres se sigue investigando en muchas partes del mundo con el propósito de mejorar aún más sus características.

Esta investigación tiene como fin controlar la incidencia de la incidencia del laser Nd:YVO4, saber la influencia que ha tenido en la ciencia este avance y discernir sobre su comportamiento en emisión caótica.

1.9 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

ALCANCES

El uso de láseres de bombeo de mediana potencia y el de cristales como el Nd:YVO4, Nd:YAG, Cr4+:YAG, permite observar una dinámica del haz láser capaz de arrojar resultados favorables en cuanto a caracterización y control.

LIMITACIONES

- El rango de frecuencias del fotodetector era muy pobre.
- Sistema de recepción de audio (transductores) de baja calidad.
- Filtración de sonido por el enfriador del láser de bombeo.

1.10. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO

Tipo de trabajo: experimental en láseres

Para realizar el trabajo experimental, se requiere de utilizar un sistema de monitoreo de la emisión laser. En la parte electrónica se requiere implementar el sistema de retroalimentación necesario para inyectar la señal de retroalimentación al laser.

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL LÁSER

La palabra LÁSER proviene del acrónimo “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation” (Amplificación de Luz por Emisión Estimulada de Radiación). El láser es una fuente de luz estrecha, coherente y monocromática; en la figura 2.1, se observa los tres elementos básicos que tiene un láser.

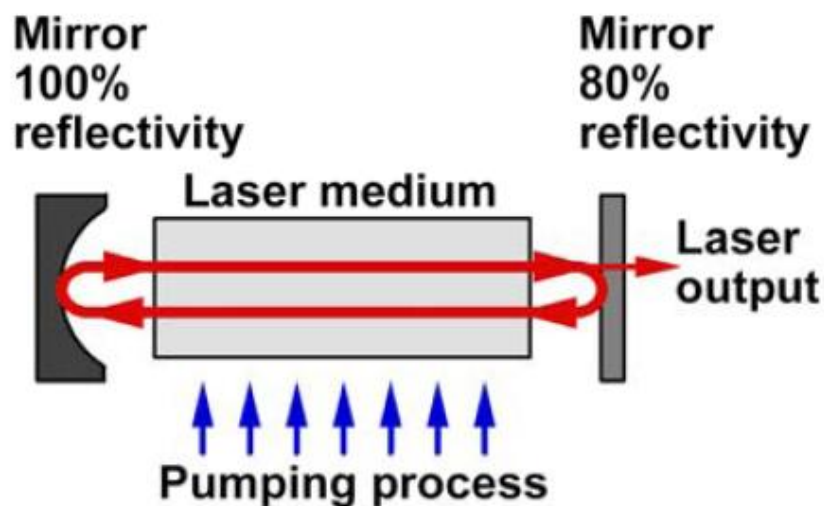


Figura 2.1 Elementos básicos de un láser

- Sistema de bombeo (mecanismo de excitación, pumping process):

Una fuente de poder que suministra la energía suficiente para excitar al medio activo desde un nivel de energía bajo a uno más alto para crear inversión de población. Se provoca mediante una fuente de radiación como puede ser una lámpara, el paso de una corriente eléctrica, o el uso de cualquier otro tipo de fuente energética que provoque una emisión. En el láser el bombeo puede ser eléctrico u óptico, mediante tubos de flash o luz.

- Medio activo (laser médium)

El medio activo se considera un amplificador óptico ya que un haz coherente que logre entrar al medio activo es amplificado por emisión estimulada hasta que el

haz incrementado alcance el otro extremo del medio activo. Los medios activos definen muchas propiedades del láser, principalmente el color o frecuencia de su emisión. Por ejemplo, el haz neón que puede producir el rojo; el helio que produce el verde; los cristales de rubí que tienen muchas gamas de colores y rangos de azul, los hay también de aleaciones; medios líquidos, biológicos y hasta gases. Dependiendo de cada medio y de las características de los fotones que en él se producen, se pueden ir complicando los sistemas.

- Cavity resonante (Mirrors)

Cavity óptica o resonador, la cual concentra y estimula la emisión de radiación láser. Está constituida por dos espejos, el primero 100% reflejante y el segundo de un porcentaje menor, en la figura 2.1 lo observamos con un porcentaje de 80, esto es porque este será el que proporcione la salida de la concentración del Haz.

2.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Los láseres obligan a los átomos a almacenar luz y emitirla en forma coherente. Primero, los electrones de los átomos del láser son bombeados hasta un estado excitado por una fuente de energía. Después, se los 'estimula' mediante fotones externos para que emitan la energía almacenada en forma de fotones, mediante un proceso conocido como emisión estimulada. Los fotones emitidos tienen una frecuencia que depende de los átomos en cuestión y se desplazan en fase con los fotones que los estimulan. Los fotones emitidos chocan a su vez con otros átomos excitados y liberan nuevos fotones. La luz se amplifica a medida que los fotones se desplazan hacia atrás y hacia adelante entre dos espejos paralelos desencadenando nuevas emisiones estimuladas. Al mismo tiempo, la luz láser, intensa, direccional y monocromática, se 'filtra' por uno de los espejos, que es sólo parcialmente reflectante. En la fig. 2.2, se muestra el funcionamiento de un láser.

La emisión estimulada, el proceso en que se basa el láser, fue descrita por primera vez por Albert Einstein en 1917. En 1958, los físicos estadounidenses Arthur Schawlow y Charles Hard Townes describieron a grandes rasgos los principios de funcionamiento del láser en su solicitud de patente. Obtuvieron la patente, pero posteriormente fue impugnada por el físico e ingeniero estadounidense Gordon Gould. En 1960, el físico estadounidense Theodore Maiman observó el primer proceso láser en un cristal de rubí. Un año más tarde, el físico estadounidense nacido en Irán Ali Javan construyó un láser de helio-neón.

En 1966, el físico estadounidense Peter Sorokin construyó un láser de líquido. En 1977, el Tribunal de Patentes de Estados Unidos confirmó una de las reivindicaciones de Gould en relación con los principios de funcionamiento del láser.

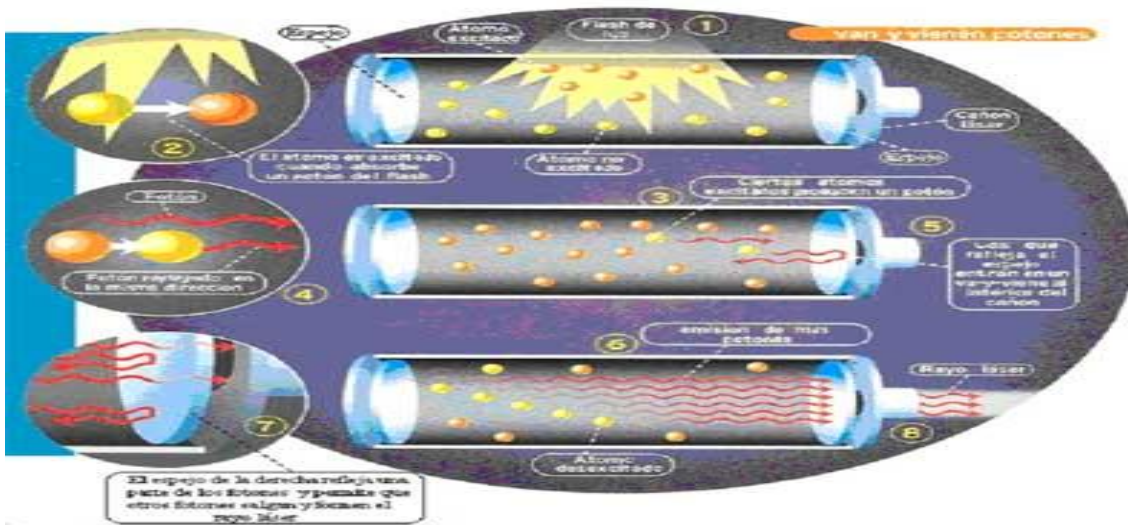


Figura 2.2 Funcionamiento de un láser

2.3 TEORÍA DE LÁSERES

Tipos de láser

La clasificación de láser, se puede realizar bajo diferentes aspectos. En general, el medio activo del láser se utiliza como base para la clasificación. Por tanto, los siguientes tipos pueden ser considerados:

- Láseres de gases (CO₂, He-Ne, He-Cd, argón, etc.)
- Láseres Estado sólido (Nd: YAG, de Er: YAG, etc ...)
- Láseres de semiconductores (GaAs, InGaAs, etc)
- Láseres de líquidos (láseres de colorante - láseres de colorante)

- Láseres de electrones livrelasers de rayos X

Las transiciones de energía, se pueden dar mediante tres procesos (ver Fig.2.3).

- Absorción: cuando un fotón interactúa con un átomo o molécula llevándola de un nivel de energía inferior a un nivel de energía superior.
- Emisión espontánea: se produce cuando el átomo o molécula decae de un nivel superior de energía a otro inferior liberando un fotón de forma natural y sin intervención externa.
- Emisión estimulada: se da cuando un fotón provoca que el átomo o molécula pase de un nivel superior de energía a uno inferior liberando dos fotones.

La relación entre el cambio de energía, así como la absorción y emisión de fotones, se encuentra inmersa en la Ecuación de Planck.

donde: ΔE es el cambio de energía

h es la constante de Planck

ν es la frecuencia del fotón emitido o absorbido.



Figura 2.3 Transiciones de energía

Un láser, en condiciones normales, tiene mayor absorción que emisión de fotones debido a que la población de átomos o moléculas tienden a permanecer en los niveles más bajos de energía de forma estable. Si la población es estimulada externamente para aumentar a niveles de energía superior y el número de fotones emitido es mayor que el absorbido, se cumplirían las condiciones para generar emisiones estimuladas en cadena, a esto se le llama inversión de población, la cual es la condición necesaria para la emisión del láser.

Para aumentar la potencia de la luz emitida, es importante retroalimentar al sistema; esto se logra con una cavidad resonante, donde los fotones estimulan continuamente el medio activo provocando más fotones. La luz sale por uno de los espejos, el cual no refleja completamente.

2.4 LÁSER Nd-YAG

El láser de Nd:YAG, pertenece al grupo de láseres de estado sólido y tiene como medio activo impurezas de neodimio, que pertenece al grupo de tierras raras, en un cristal de itrio-aluminio-granate ($Y_3Al_5O_{12}$) con concentraciones de pesos desde 0.5% al 5%.

En la figura 2.4, se puede observar los cuatro niveles de energía que presenta un láser de Nd:YAG. Los iones de Nd tienen dos bandas de absorción, y la excitación se puede efectuar por bombeo óptico, ya sea con lámparas de flash para láseres pulsantes, con lámparas de arco para los láseres continuos, o recientemente con diodos láser.

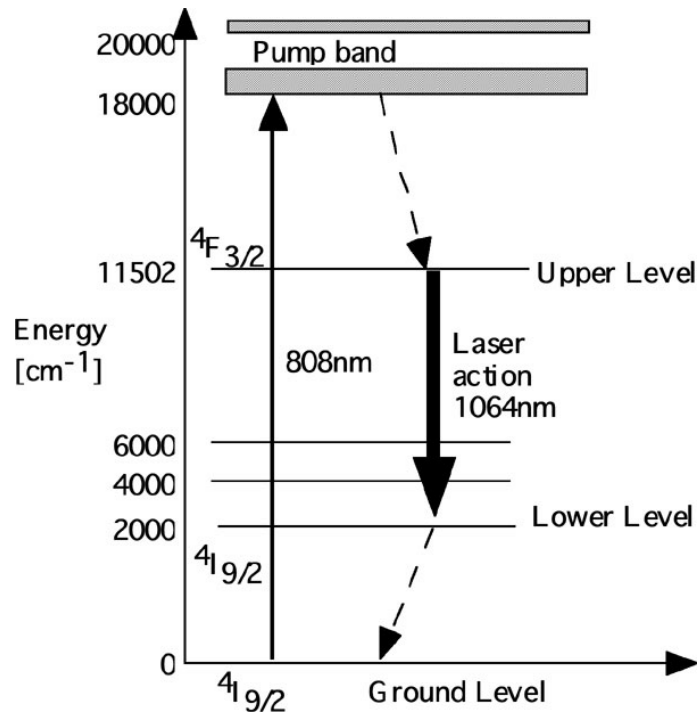


Figura 2.4 Niveles de energía para el láser de Nd:YAG.

Tradicionalmente, la excitación óptica es producida por lámpara de flash, lámpara de onda continua (cw) así como lámparas de arco o lámparas tungsteno halógeno, o por otros láseres, cualquiera de los dos son pulsadas o continuas.

El bombeo de láser tiene numerosas ventajas comparado por la de bombeo por lámpara:

- Direccionalidad del bombeo óptico
- La emisión del diodo laser coincide con las bandas de absorción del medio de ganancia (es mucho más eficiente).
- La habilidad para empatar el perfil de inversión creado por el haz bombeado del laser fundamental con el modo generado en el medio de ganancia.

Los láseres usados como fuente de bombeo óptico incluye láser de estado sólido con bombeo de lámpara de flash así como Nd:YAG, y láseres de gas como de ion de argón y un menos extenso el laser de ion de kriptón.

2.5 Nd:YVO₄

El cristal de ortovanadato de itrio dopado con neodimio (Nd:YVO₄), es uno de los cristales láser más eficientes que existen en la actualidad para láseres de estado sólido bombeado por diodos. Su gran sección transversal de emisión estimulada en la longitud de onda de láser, alto coeficiente de absorción y ancho de banda de bombeo, laser de alto umbral de daño inducido así como buenas propiedades físicas, ópticas y mecánicas hacen del Nd:YVO₄ un excelente cristal para alta potencia, un estable y rentable laser de estado sólido bombeado por diodo. El Nd:YVO₄ puede producir un potente y estable en IR y también en verde y azul usando dobladores de frecuencia.

En comparación con el láser bombeado por diodos Nd: YAG y Nd: YLF, los láseres de Nd: YVO₄ poseen las ventajas de menor dependencia de la longitud de onda de bombeo y control de la temperatura de un diodo láser, ancho de banda de absorción, una mayor pendiente de eficiencia, umbral inferior de láser, emisión linealmente polarizada y salida de modo único. Para las aplicaciones en las que el diseño más compacto y un único modo de producción longitudinal son necesarios, el Nd: YVO₄ muestra sus ventajas en particular sobre otros cristales láser de uso común. El láser compacto de Nd: YVO₄ bombeado por diodos láser y su doble frecuencia láser verde, rojo o azul son los instrumentos de láser ideal de mecanizado, procesamiento de materiales, espectroscopia, espectáculo de luz, diagnóstico médico, impresión láser y las más extendidas aplicaciones. En la Tabla 2.1 y 2.2, se especifican las propiedades del Nd:YVO₄.

Tabla 2.1 PROPIEDADES BÁSICAS DEL Nd:YVO₄

DENSIDAD ATÓMICA	
ESTRUCTURA DEL CRISTAL:	Zircón tetragonal , grupo espacial D_{4h} , a=b=7.12, c=6.29
DENSIDAD	
DUREZA DE MOHS	Transparente como el cristal,
COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICA	
COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	

Tabla 2.2 PROPIEDADES ÓPTICAS (Típicamente para cristales Nd:YVO₄ de corte 1.1 atm%)

LONGITUD DE ONDA DE LASEO	
CLASE DE CRISTAL	
ECUACIÓN DE SELLMEIER (PARA CRISTALES PUROS YVO ₄)	
COEFICIENTE TÉRMICO ÓPTICO	
EMISIÓN ESTIMULADA DE SECCIÓN TRANSVERSAL	
TIEMPO DE VIDA FLUORESCENTE	
COEFICIENTE DE ABSORCIÓN	
LONGITUD DE ABSORCIÓN	
PÉRDIDAS INTRÍNSECAS	
GANANCIA DE ANCHO DE BANDA	
EMISIÓN LÁSER POLARIZADA	p Polarización ; paralelo al eje óptico (eje- c)
BOMBEO ÓPTICO POR DIODOS PARA EFICIENCIA ÓPTICA	

2.6 ABSORVEDOR SATURABLE Cr⁴⁺:YAG

El cristal Q-Switch pasivo es preferido por su simplicidad de fabricación y funcionamiento, bajo costo y el tamaño del sistema y peso reducidos. El Cr⁴⁺:YAG es químicamente estable, resistente a los UV, y es duradero. Funcionará en un amplio rango de temperaturas y condiciones. Su buena conductividad térmica está adaptada para aplicaciones de alta potencia media.

2.7 MODULADORES ACÚSTICO-ÓPTICOS (AOM)

Los moduladores acústico-ópticos (AOMs), son capaces de modular la amplitud de un haz de láser a muy alta velocidad. Por ejemplo, anchos de banda de modulación de más de 50MHz son fácilmente alcanzables.

En un AOM un rayo láser debe interactuar con un sonido ultrasónico de onda de alta frecuencia dentro de un bloque pulido óptico de cristal o de vidrio (el medio de interacción). Cuidadosamente orientar el láser con respecto a las ondas de sonido, el haz puede ser hecho para reflejar de los frentes de onda acústica (difracción de Bragg). Por lo tanto, cuando el campo de sonido está presente el haz es deflelado y cuando está ausente el rayo pasa a través no desviado. Al cambiar el campo de sonido y desactivar rápidamente el haz desviado aparece y desaparece en la respuesta (modulación digital). Al variar la amplitud de las ondas acústicas de la intensidad del haz desviado de manera similar se puede modular (modulación analógica).

Lo habitual es elegir el haz desviado como el que se utiliza en el sistema óptico, ya que puede ser encendido y apagado con alto cociente de la extinción (normalmente > 40 dB) y la intensidad del haz incidente puede variar de cero a más del 85%. La velocidad a la que el haz puede ser modulado se rige por el tiempo que le toma al frente de onda acústica de atravesar el haz láser, que depende del diámetro del haz y de la velocidad acústica en el medio de interacción.

Las ondas sonoras se generan por un transductor, por lo general una lámina delgada de niobato de litio, que se enlaza en el medio de interacción con un proceso de soldadura de alta eficiencia de vinculación frío-metálico. Cuando una señal eléctrica de alta frecuencia se aplica al transductor, vibra, generando la onda acústica. La señal se deriva de un controlador de RF, que genera un tren de pulsos de alta frecuencia que se está modulada por una señal de entrada analógica o digital.

Las principales aplicaciones de moduladores AO son de pre-impresión (imagen y poner los datos de texto en las películas o placas como parte del proceso de impresión), la proyección de imagen láser y muestra, la distribución de las fibras de las telecomunicaciones, instrumentación e investigación.

Sus principales especificaciones, son:

- Rango de longitud de onda: 240nm a 2100nm
- Unidad de Frecuencias: 20 MHz a 350 MHz
- Aumento óptico-Times: Down a 5ns
- Anchos de banda de modulación: hasta 100MHz
- Interacción Materiales: dióxido de Telurio, molibdato de plomo, sílice fundida, de cristal de cuarzo, C halcogenide Glass, Flint Glass. C halcogenide de vidrio, vidrio Flint.

Un controlador de RF, proporciona la señal electrónica de funcionamiento del modulador de AO. Con un controlador digital, una señal externa TTL permite un rápido encendido y apagado del haz óptico. Por otra parte un conductor analogo permite una salida de intensidad variable, normalmente entre 0% y el 85% del haz de entrada.

El ancho de banda de modulación máxima, o el aumento en tiempo de óptica, es una función del tiempo de tránsito acústica a través del haz óptico. Por lo tanto, para las velocidades más altas que a menudo es necesario enfocar el haz óptico hasta una pequeña mancha en el interior del modulador.

2.8 SISTEMAS DINÁMICOS

Un sistema dinámico es un sistema complejo que presenta un cambio o evolución de su estado en un tiempo, el comportamiento en dicho estado se puede caracterizar determinando los límites del sistema, los elementos y sus relaciones; de esta forma, se puede elaborar modelos que buscan representar la estructura del mismo sistema.

Al definir los límites del sistema, se hace, en primer lugar, una selección de aquellos componentes que contribuyan a generar los modos de comportamiento, y

luego se determina el espacio donde se llevará a cabo el estudio, omitiendo toda clase de aspectos irrelevantes.

En cuanto a la elaboración de los modelos, los elementos y sus relaciones, se debe tener en cuenta:

1. Un sistema está formado por un conjunto de elementos en interacción.
2. El comportamiento del sistema se puede mostrar a través de diagramas causales.
3. Hay varios tipos de variables: variables exógenas (son aquellas que afectan al sistema sin que éste las provoque) y las variables endógenas (afectan al sistema pero éste sí las provoca).

Siendo un poco más formal, se podría decir que un sistema dinámico es un modo de describir el recorrido a lo largo del tiempo de todos los puntos de un espacio S dado. El espacio S puede imaginarse, por ejemplo, como el espacio de estados de cierto sistema físico.

Un sistema dinámico puede ser definido como un modelo matemático que describe la evolución del estado de un sistema en el correr del tiempo, el tiempo puede ser una variable continua o discreta. Para sistemas dinámicos simples, el conocer la trayectoria puede ser suficiente; pero, muchos sistemas dinámicos son muy complicados para ser entendidos en términos de trayectorias individuales. Los sistemas dinámicos pueden ser lineales y no lineales.

2.8.1 SISTEMAS DINÁMICOS LINEALES

Los sistemas dinámicos lineales pueden ser solucionados en términos de simples funciones y el comportamiento de todas las orbitas clasificadas. En un sistema lineal el espacio de fase es el espacio Euclidiano de N -Dimensiones, así cualquier punto en el espacio de fase puede ser representado por un vector con N números. El análisis de los sistemas lineales es posible porque satisfacen el principio de superposición: si $u(t)$ y $w(t)$ satisfacen la ecuación diferencial para el

campo de vectores (pero no necesariamente la condición inicial), entonces también lo será $u(t)+w(t)$.

2.8.2 SISTEMAS DINÁMICOS NO LINEALES

Un sistema no lineal es un sistema cuyas ecuaciones de evolución en el tiempo son no lineales, esto es, las variables dinámicas describen las propiedades del sistema (por ejemplo, posición, velocidad, aceleración, presión, etc.) aparecen en la ecuaciones en una forma no lineal.

Los sistemas dinámicos no lineales simples pueden mostrar un comportamiento totalmente impredecible, el cual puede parecer aleatorio. Este comportamiento aparentemente impredecible ha sido llamado caos. La palabra caos es una parte de la jerga usada para describir un tipo de comportamiento particularmente complejo. El caos en sí es realmente solo un tipo de comportamiento exhibido por los sistemas no lineales. El campo de estudio es llamado *dinámica no lineal*, el estudio del comportamiento dinámico (esto es, el comportamiento en el tiempo) de un sistema no lineal. La dinámica no lineal tiene que ver con el estudio de sistemas cuyas ecuaciones de evolución en el tiempo son no lineales. En este tipo de sistemas, un pequeño cambio en el parámetro puede conducir al repentino y dramático cambio en el comportamiento, tanto cuantitativo como cualitativo, del sistema. Para un valor el comportamiento podría ser periódico, para otro valor solo ligeramente diferente del primero, el comportamiento podría ser completamente aperiódico.

2.9 SISTEMA DINÁMICO CAÓTICO

Un sistema dinámico presenta comportamiento caótico cuando sus trayectorias en el espacio de fases permanecen dentro de una cierta región, llenándola sin un orden geométrico definido y presenta sensibilidad a las condiciones iniciales. El nombre de caos y el adjetivo de caótico son usados para describir el comportamiento temporal de un sistema cuando dicho comportamiento es aperiódico y aparentemente aleatorio o ruidoso.

Propiedades del caos:

- **Espacio de fase.** Una secuencia de valores de datos medido en el tiempo puede ser transformado en un objeto en el espacio. Este objeto es llamado el “grupo de espacio de fase” (ver figura 2.7). Algunas propiedades son más fáciles de determinar analizando el grupo de espacio de fase que analizando el dato original directamente.

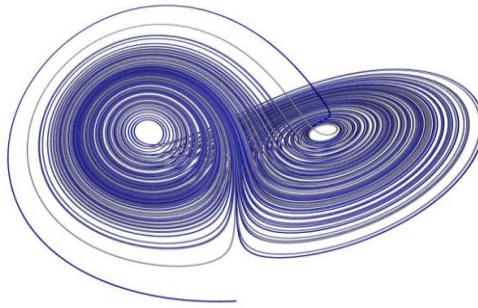


Figura 2.7 ejemplo de espacio de fase

- **Sensibilidad en las condiciones iniciales.** Si tenemos un sistema caótico con casi los mismos valores iniciales, se consiguen diferentes valores de las variables al final después de haber transcurrido cierto tiempo (ver figura 2.8). A esto, se le conoce como sensibilidad en las condiciones iniciales.

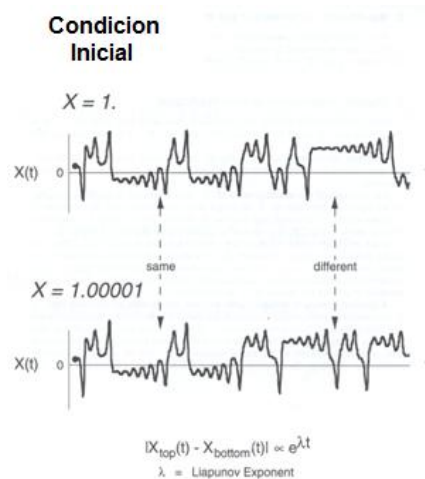


Figura 2.8 Sensibilidad a las condiciones iniciales

Un sistema caótico amplifica pequeñas diferencias en condiciones iniciales en grandes diferencias.

Bifurcaciones. El comportamiento de un sistema puede cambiar abruptamente con un pequeño cambio en los valores de un parámetro. Esto, se conoce como “bifurcación” (ver figura 2.9).

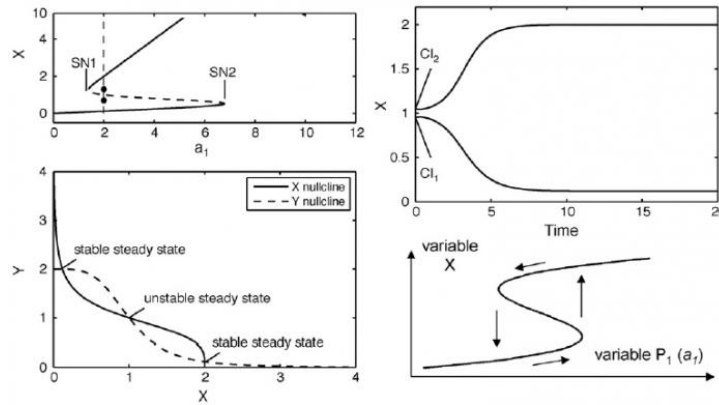
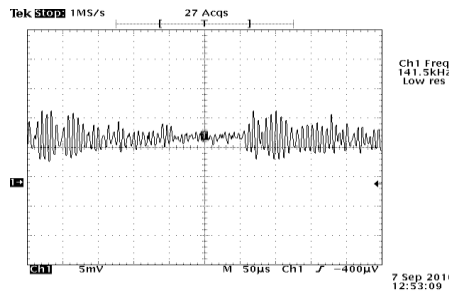


Figura 2.9 Ejemplo de Bifurcación

- **Control del caos.** Si el análisis muestra que los datos fueron producidos por un mecanismo determinista, puede ser capaz de entender y tal vez controlar dicho sistema. En la figura 2.10 se representa un ejemplo de una señal sin control así como una señal controlada.

Señal sin control



Señal controlada

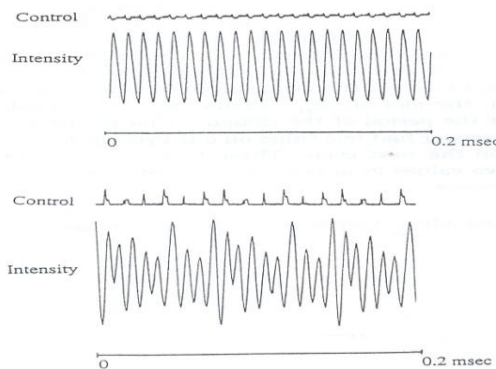


Figura 2.10 Control de Caos

CAPÍTULO 3. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL Y DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA DINÁMICA DE EMISIÓN DE LÁSERES QUE SE PROPONE.

El proyecto consiste en hacer incidir un haz de un láser de bombeo a través del cristal Nd:YVO₄, obtener esa señal por medio de un detector cuya salida sea transmitida por una bocina y receptada por un micrófono con su respectiva amplificación, con la finalidad de que al acercarlos uno del otro, se pueda observar una variación en fase con respecto al haz inicial, tal retardo en forma de sonido será la alimentación de un modulador acústico óptico el cual está colocado especialmente para retroalimentar nuestro sistema y nos permita controlar el haz incidente.

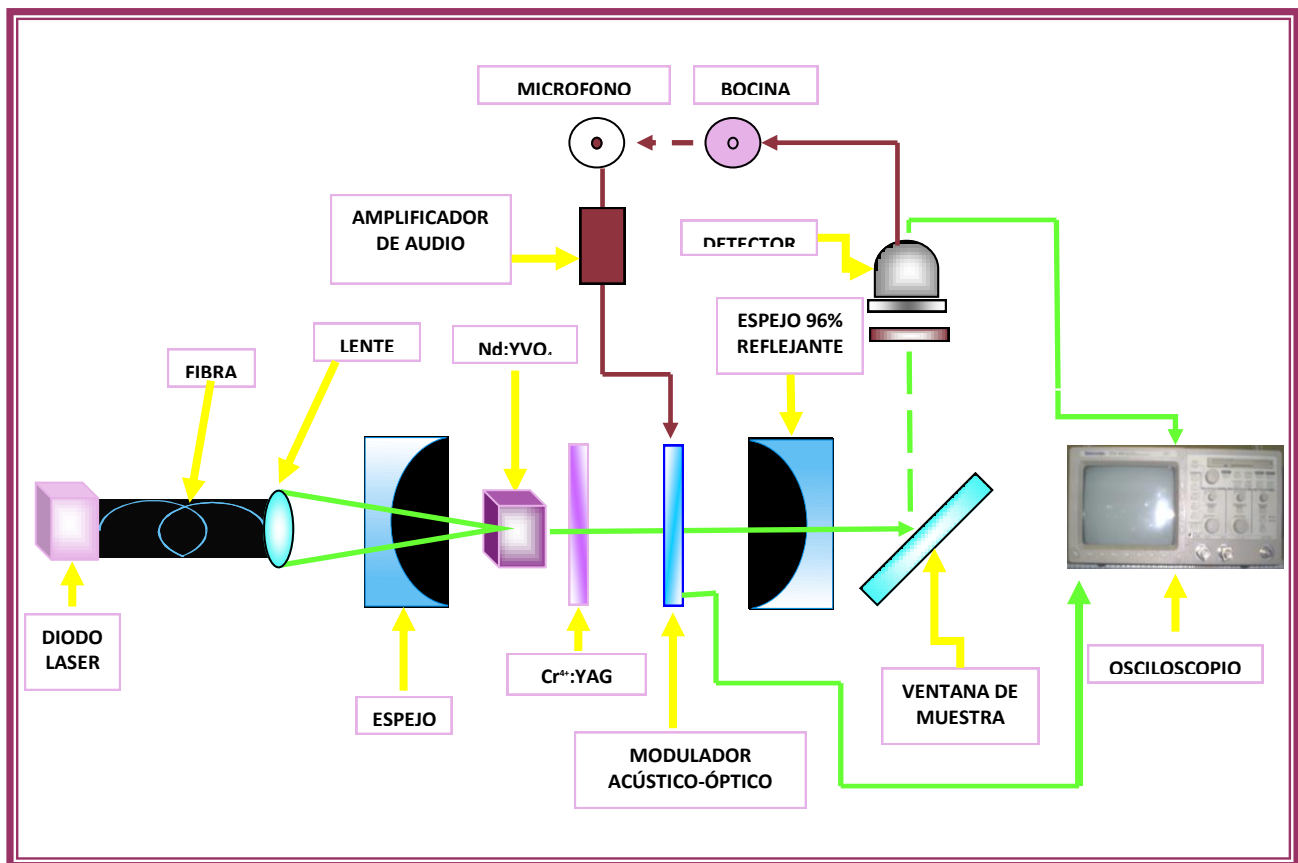


Figura 3.1 Esquema de los componentes del experimento

En la figura 1.1, se presenta el esquema de los componentes utilizados para realizar la dinámica del láser Nd:YOV4. (VER ANEXO B).

3.2 DESCRIPCIÓN Y JUSTIFICACIÓN TÉCNICA DE CADA UNA DE LAS PARTES (O DISPOSITIVOS) QUE CONFORMAR EL PROYECTO.

- Diodo láser de alta potencia

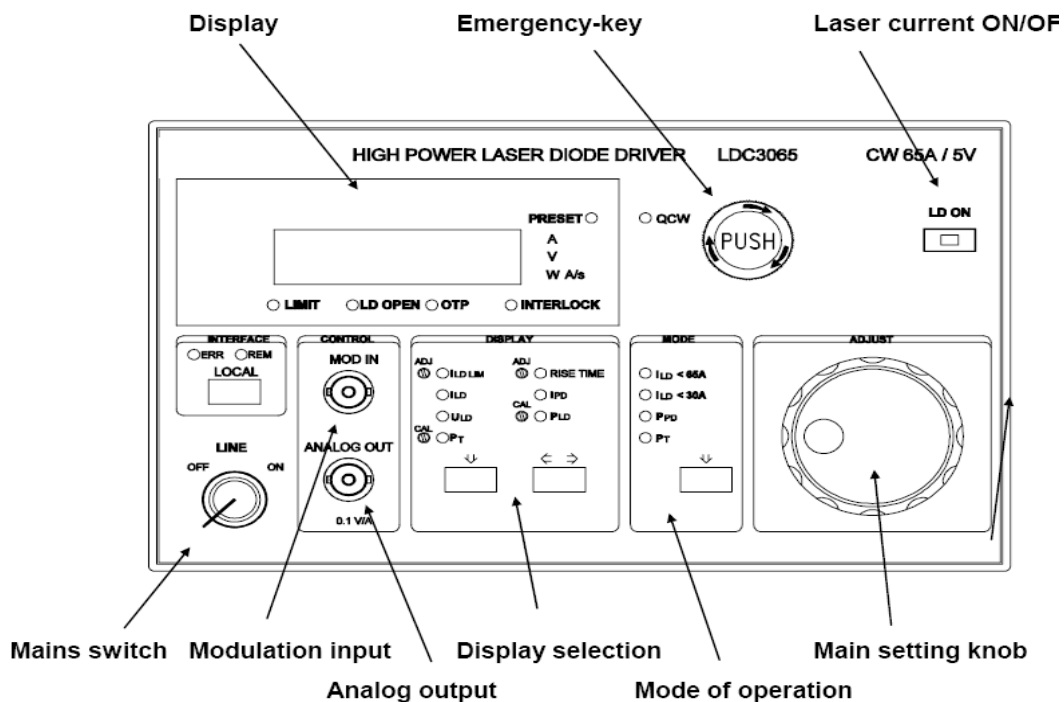


Figura 3.2 Controlador de potencia del diodo láser.

(MODEL LDC 3065, fabricado por THORLabs).

El diodo láser de alta potencia unipolar es operado con respecto a tierra (ánodo del suelo). Esta es la ventaja de la estabilidad respecto de la corriente del láser, el ruido y las interferencias de RF.

Un límite fijado de hardware ajustable limita la corriente láser máxima obtenible que se alcanza en cada fase de funcionamiento. La entrada de diodo del monitor es un amplificador de transimpedancia (impedancia de entrada 0Ω), por lo que es posible utilizar cualquier fotodiodo como diodo del monitor. Ambas polaridades del monitor de diodo se admiten.

En la figura 3.2 observamos al controlador de potencia del diodo láser cuyas especificaciones son las siguientes:

Datos generales:

Voltaje De Tensión: 90 -254 V

Frecuencia de línea: 50-60 Hz

Temperatura de funcionamiento : 0 .. + 40 °C

Temperatura de almacenamiento: - 40 °C ... + 70 ° C

Tiempo de calentamiento de precisión nominal: ≤ 10 min

Control de corriente:

La gama de láser corriente I LD: 0 ... 30A y 65 A

Cumplimiento de tensión: > 5 V

Tiempos de subida / caída (QCW) : ≤ 50 μ s

Resolución: 10 mA

Precisión de ajuste : ± 100 mA

Ruido sin ondulación (10 Hz ... 10 MHz, RMS) : <100 mA

Transitorios: ≤ 500 mA

Deriva (30 min. 0 ... 10 Hz): <20 mA

Coefficiente de temperatura: ≤ 50 ppm / ° C

- ***Colimación y transmisión por fibra óptica.***

La colimación consiste en agrupar la luz dispersas en una misma trayectoria, la cual debe ser paralela al eje óptico. En el experimento juega un papel muy importante pues uno de los colimadores tiene la tarea de colimar el haz de luz que es emitido del diodo láser que se propaga en el vacío para que llegue a otro colimador el cual está enfocado a la fibra óptica. A través de la fibra se transmite la luz, aunque una pequeña parte del haz de luz se pierde por el fenómeno de refracción, el resto de haz de luz se transmite hacia otro colimador colocado de forma inversa, el cual en vez de agrupar a las partículas en una sola dirección, las dispersa para que lleguen a los espejos polarizadores.

- ***Resonadores (espejos) y elemento de ganancia.***

Esta es la parte más importante de nuestro experimento pues estos dos elementos, como ya se ha mencionado antes, son los elementos que constituyen a nuestro laser. En el experimento, al incidir el haz del bombeo en uno de los cristales del resonador.

- ***Medio activo.***

Elemento de ganancia que es el Nd:YVO4. Se sabe que al incidir el haz del bombeo en uno de los cristales del resonador, este choca contra el elemento de ganancia (Nd:YVO4), provocando la llamada inversión de población, el haz cruza y choca contra el otro espejo del resonador y este lo refleja provocando que el haz rebote de un lado a otro dentro del resonador provocando la excitación del

elemento de ganancia y produciendo a su vez la amplificación por emisión estimulada. En la Fig.3.3, se observa también el Cr⁴⁺:YAG, el cual se usó como absorvedor saturable en el Q-switch del Nd:YVO₄, en este tipo de materiales el coeficiente de absorción disminuye con el incremento de la intensidad de luz, produciendo con esto auto modulación de la luz y Q-Switch.



Figura 3.3 Cristales de Cr⁴⁺:YAG.

- **Modulador acústico-óptico.**



Figura 3.4 modulador acústico-óptico.

(Modelo ME AOM 405AF1, fabricado por IntraAction).

En el campo de la óptica y de la electrónica a veces es necesario desplazar frecuencialmente un haz de luz. Un modulador acústico-óptico (AOM), también conocido como célula de Bragg, utiliza el efecto acústico-óptico para difractar y mover la frecuencia de la luz por medio de la propagación de ondas de sonido, usualmente en radio frecuencia, en un material cristalino.

CARACTERÍSTICAS:

- Alta capacidad de potencia óptica
- Intensidad de la modulación
- Cambio de frecuencia óptica
- Laser de desviación de viga
- Alta fiabilidad
- Excelente estabilidad de temperatura

ESPECIFICACIONES:

- Rango de longitud de onda óptica: 440 a 700 nm
- Material Acústico: Densa de vidrio Flint
- velocidad Acústica: 3630 m / seg
- altura de la apertura: 1-2 mm
- Modulación de ancho de banda (-3dB) : 2.7 MHz (1,0 mm de diámetro del haz)
1.8 MHz (1,5 mm de diámetro del haz)
- Tiempo de subida Óptica: 177 nanosegundos (1,0 mm de diámetro)

265 nanosegundos (1,5 mm de diámetro)

- Pérdida de inserción estática óptico: 2% (633nm)
- Óptica de polarización: Cualquier
- Impedancia de entrada RF : 50 ohmios (ROE <1,25:1 en CF)

Conector de RF: BNC

Tamaño (menos el conector) : 0.88 x 2.94 x 2.46 pulgadas

22,4 x 74,7 x 62,5 mm W

- **Ventana de muestra.**

Es un cristal que se utilizó para tomar una muestra del haz del laser reflejándola hacia el detector. Dicha reflexion es del 4% de la luz láser, esto es para evitar que se dañe el detector de fluorescencia debido a la potencia que presenta dicho láser.

- **Filtro de Atenuación variable**



Figura 3.5 filtros de atenuación.

Este filtro elimina todas las señales que corresponden a la frecuencia de la luz ambiente y tiene la opción de ir atenuando gradualmente.

- **Mesa holográfica**

(MODEL RS100, fabricado por NEWPORT). Los montajes ópticos se realizaron sobre una mesa especialmente dispuesta para ello que debe poseer aislamiento antivibratorio y alto amortiguamiento. Se puede observar en la figura 3.6.



Figura 3.6 Mesa Holográfica

- **Osciloscopio**

(MODELO TDS 360, fabricado por TEKTRONIX). En este dispositivo se puede visualizar la señal del láser. Ayuda a poder monitorear la señal deseada dependiendo la frecuencia aplicada.



Figura 3.7 Osciloscopio

3.3 DISEÑO DEL FOTODETECTOR

Fotodetector para la luz láser utilizando amplificadores operaciones. La primera parte corresponde a un convertidor de corriente a voltaje, tomando en cuenta que la corriente que entrega el fotodiodo es muy pequeña, el voltaje de salida es el producto de la corriente del fotodiodo por la resistencia R , como se observa en la figura 3.8:

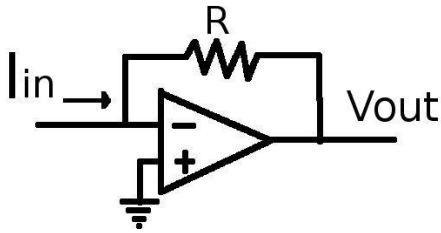


Figura 3.8 convertidor AV

El conversor de corriente a voltaje, se conoce también como Amplificador de transimpedancia, llegada a este una corriente (I_{in}), la transforma en un voltaje proporcional a esta, con una impedancia de entrada muy baja, ya que está diseñado para trabajar con una fuente de corriente.

Con el resistor R como factor de proporcionalidad, la relación resultante entre la corriente de entrada y el voltaje de salida es:

$$V_{out} = -R \cdot I_{in}$$

La siguiente parte corresponde a una configuración amplificador inversor (fig. 3.9), ya que el convertidor corriente a voltaje produce una señal en antifases, con el amplificador inversor se pretende, aparte de amplificar la señal de voltaje, ponerlas en fase de nuevo.

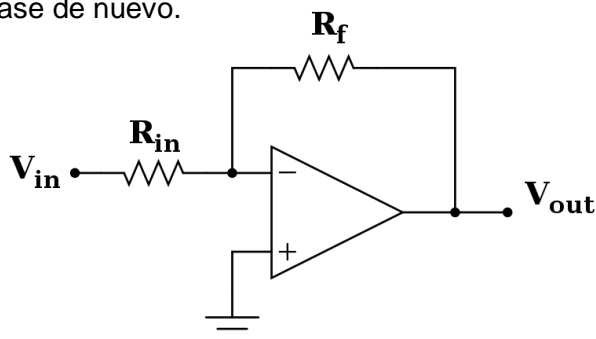


Figura 3.9 configuración amplificador inversor

Se denomina inversor ya que la señal de salida es igual a la señal de entrada (en forma) pero con la fase invertida 180 grados.

- El análisis de este circuito es el siguiente:

- $V_+ = V_- = 0$

- Definiendo corrientes: $\frac{V_{in} - 0}{R_{in}} = -\frac{V_{out} - 0}{R_f}$ y de aquí se despeja

- $V_{out} = -V_{in} \frac{R_f}{R_{in}}$

- Para el resto de circuitos el análisis es similar.

- $Z_{in} = R_{in}$

Por lo cual podemos controlar la impedancia de entrada mediante la elección de R_{in} .

En la figura 3.10 tenemos al convertidor corriente-voltaje en conjunto al amplificador, colocamos un potenciómetro en lugar de R_f con la intención de obtener una ganancia variable.

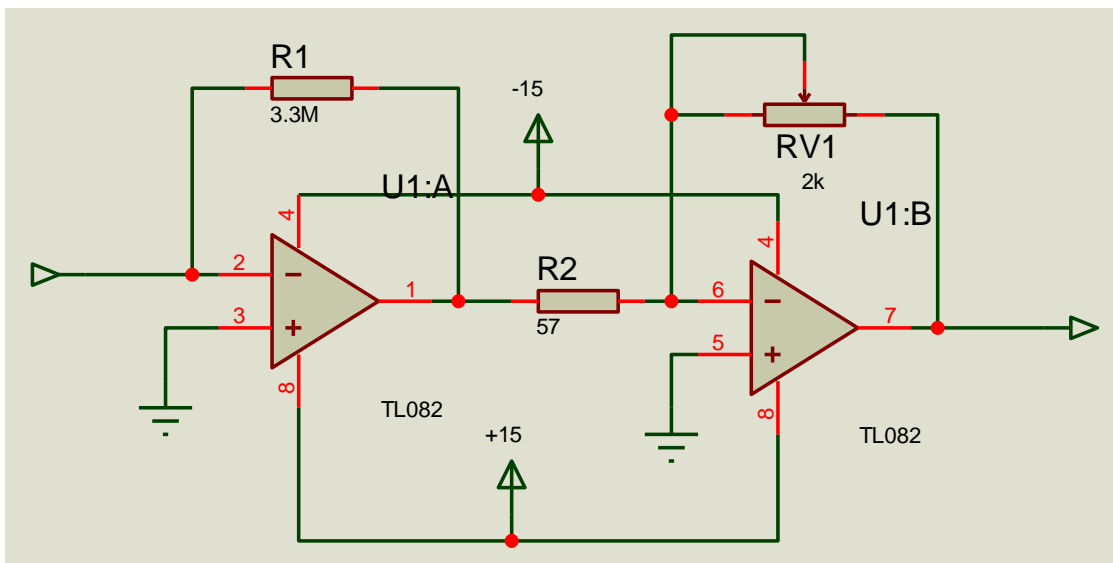


Figura 3.10 fotodetector

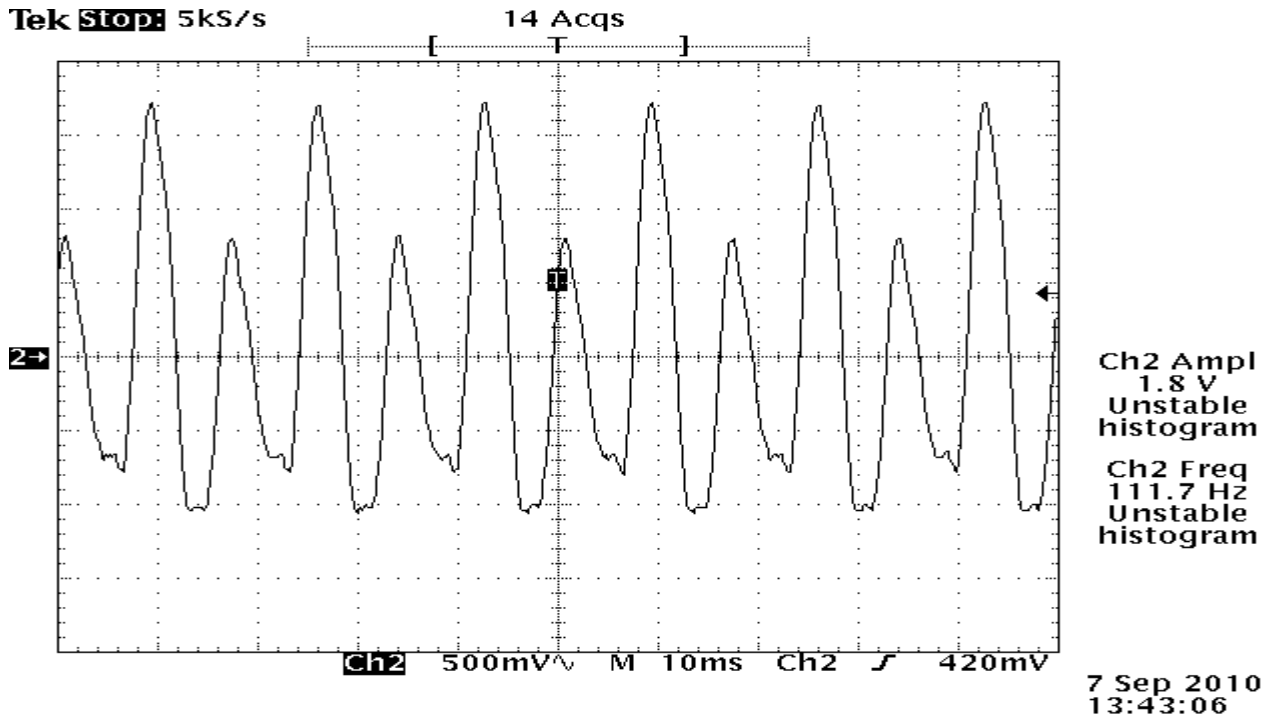


Figura 3.11 Grafica de salida

En la figura 3.11 ponemos observar la salida del detector, esto es cuando es sometido a la acción de una lámpara que oscila a 120 HZ y se obtiene una ganancia de hasta 5 V.

3.4 DISEÑO DEL PREAMPLIFICADOR

La mayoría de los amplificadores de audio de potencia precisan de una etapa previa para adaptar las características de la señal de entrada con dicha etapa de potencia. Este circuito tiene una ganancia aproximada de 50dB y puede funcionar con fuentes de señales de impedancia alta y mediana (Figura 3.12).

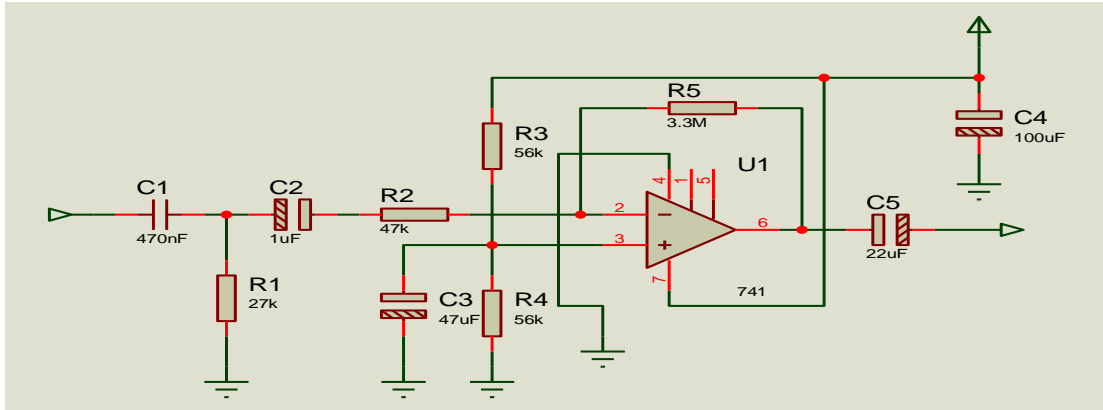


Figura 3.12 preamplificador

3.5 DISEÑO DEL AMPLIFICADOR

Se utilizó un amplificador de 20 Watts a 16 Volt que tiene como entrada un micrófono dinámico de 300 Ohms de impedancia y como salida una bocina de 8 Ohms. El diagrama eléctrico es el siguiente:

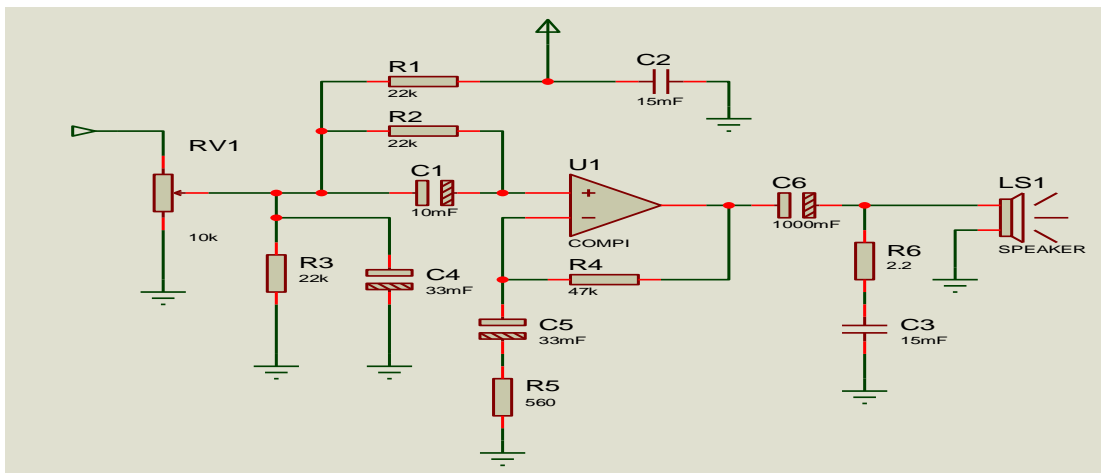


Figura3.13 amplificador de audio

3.6 DISEÑO DEL FILTRO PASA BANDA

Para eliminar el ruido de alta y baja frecuencia se realizó un filtro pasa banda, que comprende un ancho de 100 a 300 kHz a 40 dB/década, banda emitida por la señal láser

- Para el filtro pasa bajas -40dB/década (figura 3.14)

-

Si, $C_2=2\text{nF}$ y $F_c=300\text{kHz}$, entonces:

-

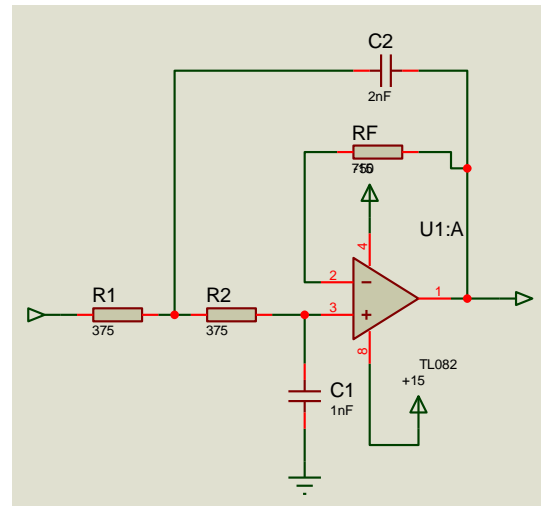


Figura 3.14 Filtro pasa bajas

- Para el filtro pasa altas 40dB/década (figura 3.15)

-

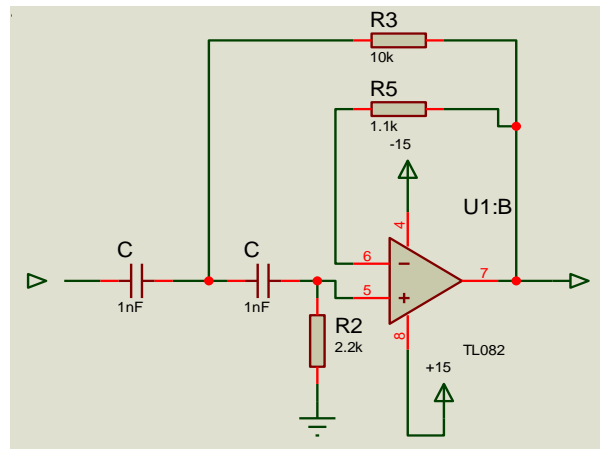


Figura 3.15 Filtro pasa altas

Si, $C=1\text{nF}$ y $F_c=100\text{kHz}$, entonces:

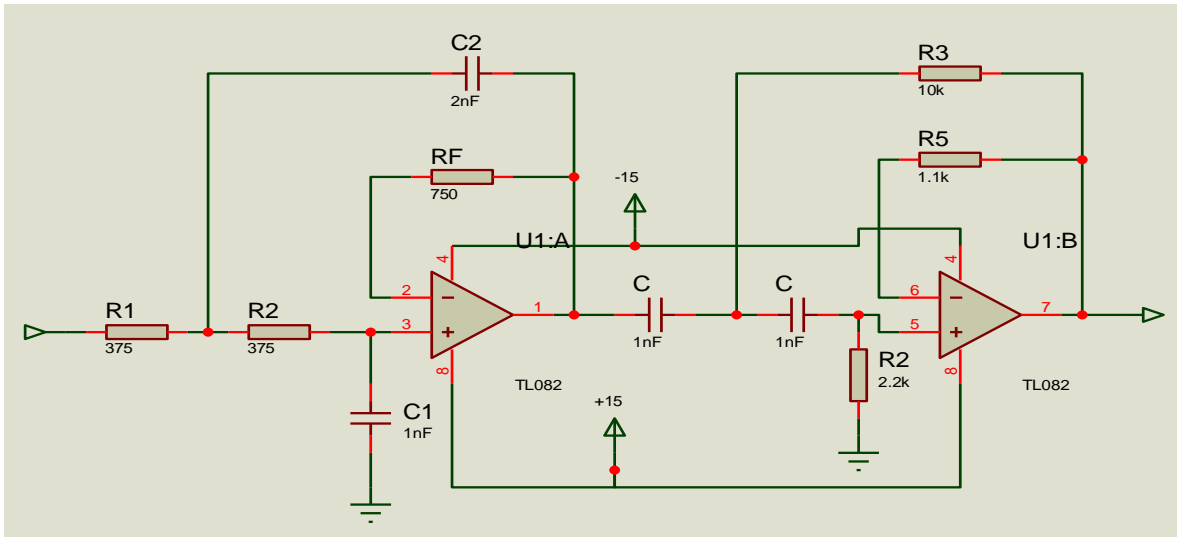


Figura 3.17 Filtro pasa-banda 100kHz-300kHz

3.7 PRUEBAS

3.7.1 PRUEBAS PRELIMINARES

Para el retardo por medio de sonido se utilizaron una bocina y un micrófono, la salida del fotodetector corresponde a la entrada de una bocina, la cual interactúa con un micrófono a través de distancias entre 0-20mm. El micrófono va conectado a un preamplificador de ganancia aproximada a 50 dB y a un amplificador de 20W a 16V.

La figura 3.18 muestra en el canal 2 la señal óptica obtenida del detector cuando es sometido a la acción de una lámpara electrónica a luz neón que oscila a 33 kHz y el canal 1 muestra la señal audible obtenida del micrófono a una distancia de 2.5 mm de la bocina.

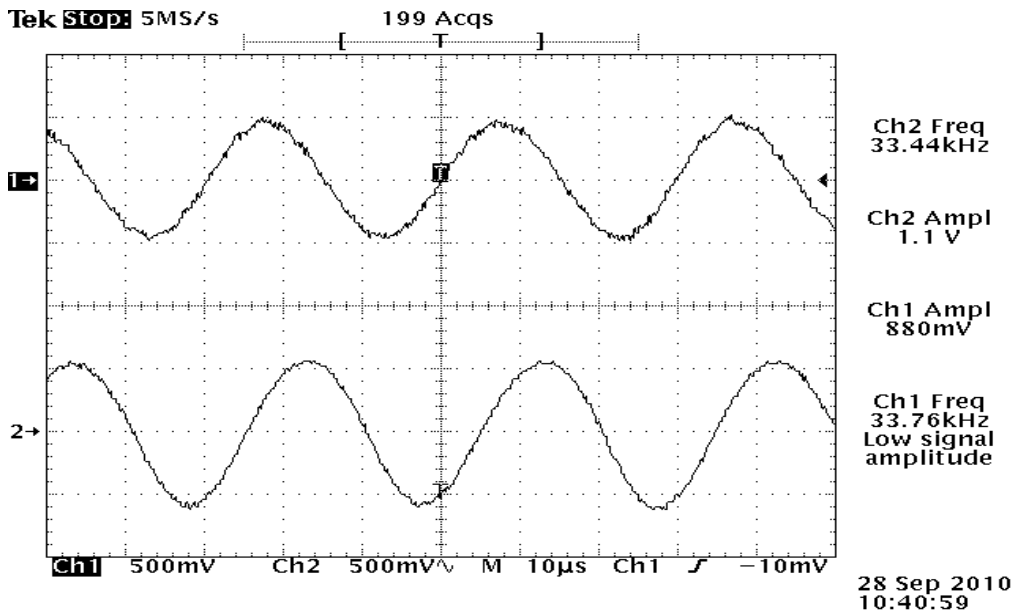


Fig. 3.18 Señal óptica y sonora de las lámparas de neón.

En la figura 3.19 observamos en el canal 2 la señal láser cuando es sometida a una interrupción física, en el canal 1 podemos ver la fidelidad a la cual es seguida dicha señal por la parte receptora (micrófono y amplificador).

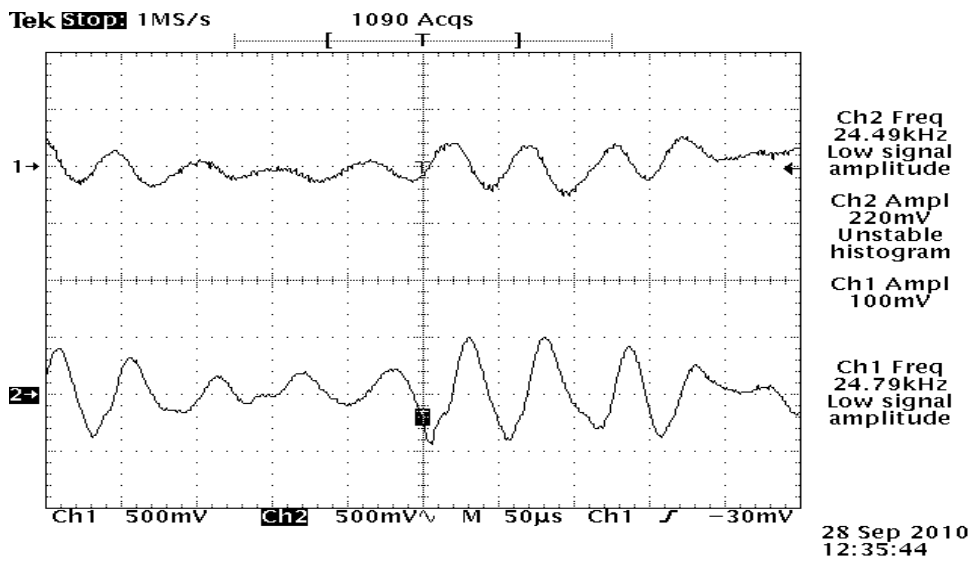


Figura 3.19 Señal óptica y sonora del láser con cristal Nd:YOV4

En la figura 3.20 observamos a la señal láser a alta amplitud y podemos ver que existe una saturación.

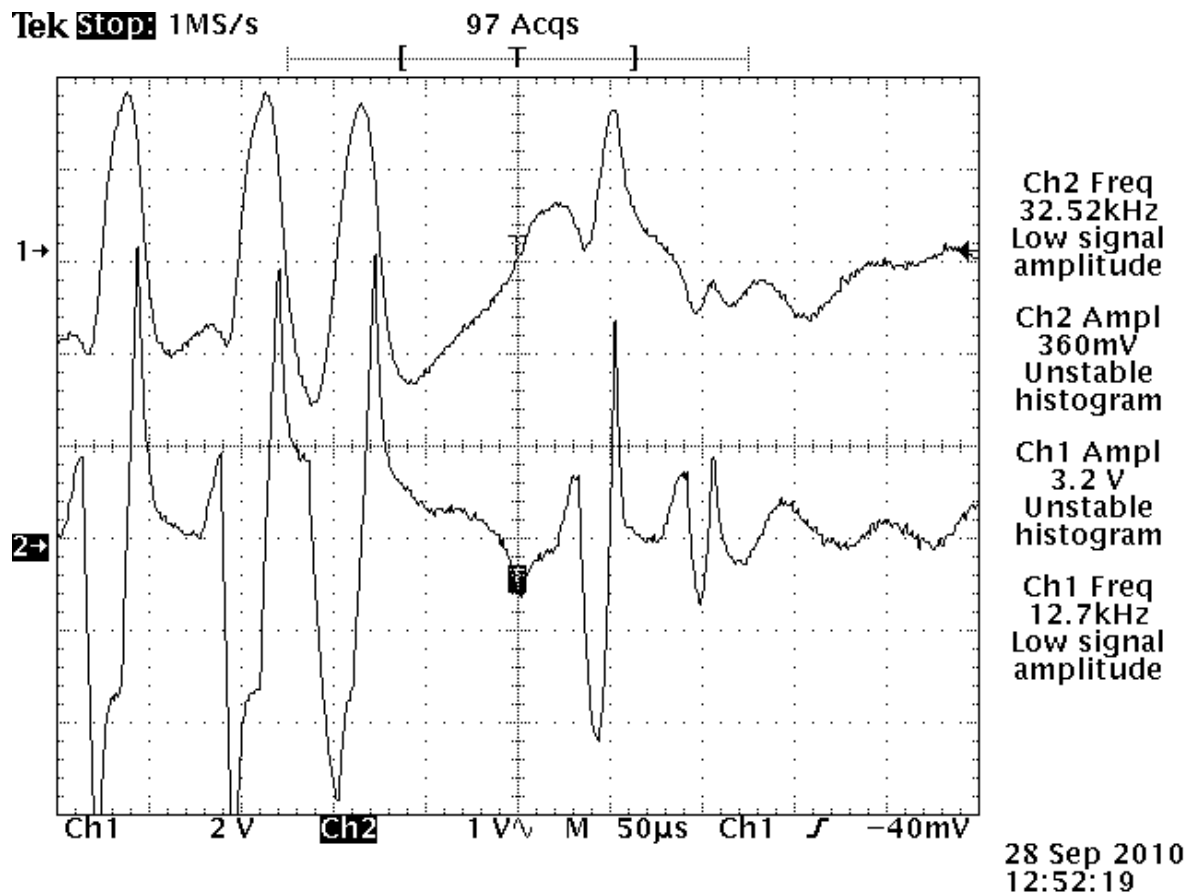


Figura 3.20 saturación del fotodetector cuando es sometido a una ráfaga del láser Nd:YOV4

3.7.2 GRAFICAS UTILIZANDO MODULACION PARA EL LASER CON CRISTAL Nd:YOV4

Para realizar estas pruebas se utilizó el modulador y se fueron tomando muestras poniendo distancias entre la bocina del detector y el micrófono para observar si había alguna variación en fase. La señal láser fue excitada por un medio externo. En la figura 3.21 observamos la gráfica con separación cero, en la 3.22 con separación de 1 mm y en la 3.23 con separación de 2mm. En las cuales se observa una variación muy pequeña en cuanto al retardo esperado.

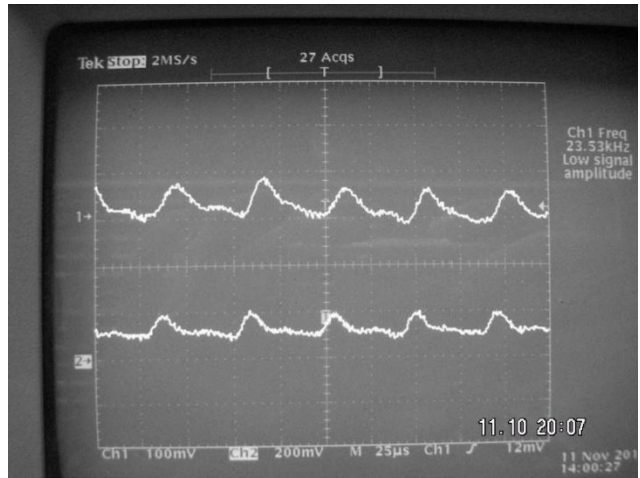


Figura 3.21 Distancia 0mm

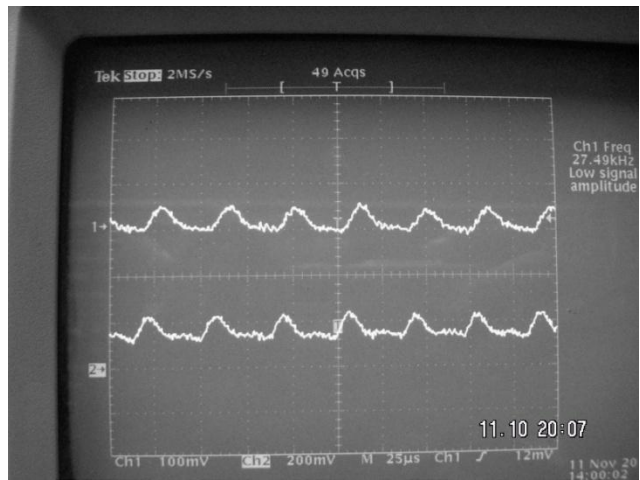


Figura 3.22 Distancia 1mm

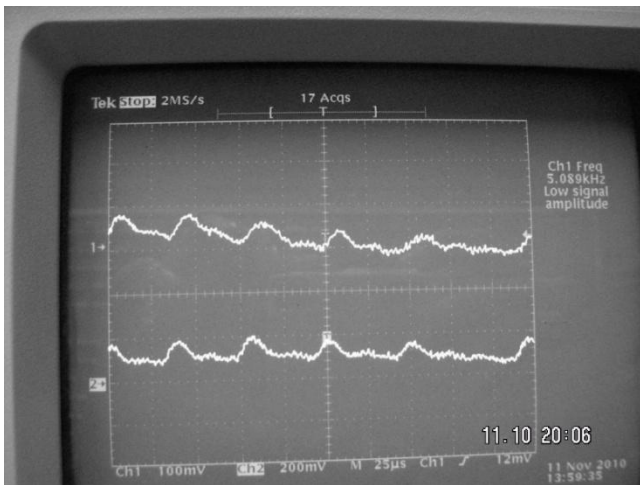


Figura 3.23 Distancia 2mm

3.7.3 GRAFICAS UTILIZANDO EL ABSORVEDOR SATURABLE Cr4:YAG

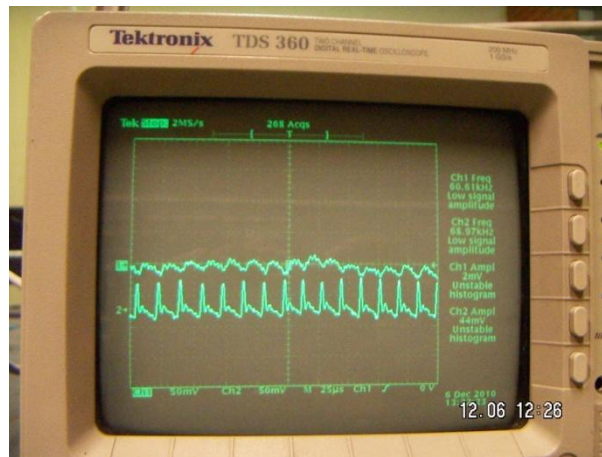


Figura 3.24 señal láser y sonora utilizando el cristal Cr4:YAG

En la figura 3.24 se muestra la señal láser y sonora, en el canal 2 y 1 respectivamente, la señal láser fue creada al utilizar el absorbedor saturable Cr4:YAG, cuya función es crear pulsos constantes, como su nombre lo dice, lo que hace es absorber una la señal láser hasta que se sature y deja pasar el haz incidente, esto lo hace cíclicamente.

3.7.4 GRAFICAS UTILIZANDO EL ABSORVEDOR SATURABLE Cr4:YAG CON MODULACION

Una vez obtenida una señal pulsante gracias al cristal Cr4:YAG, se pretende hacer lo contrario al intentar modular la señal con el cristal Nd:YOV4, es decir, teniendo una señal de pulso proveniente del láser y una señal pulsante en antifase en la salida del amplificador del micrófono, se pretende llegar al punto en el que se autoelimine la señal láser al aplicar modulación, como se observa en la figura 3.31 donde se utiliza modulación 7.

Las siguientes gráficas se obtuvieron con las siguientes características:

Corriente del láser: 3.88 A

Temperatura: 29 °C

Distancia bocina-microfono: 4mm

Nivel de modulación: Variable 0-7

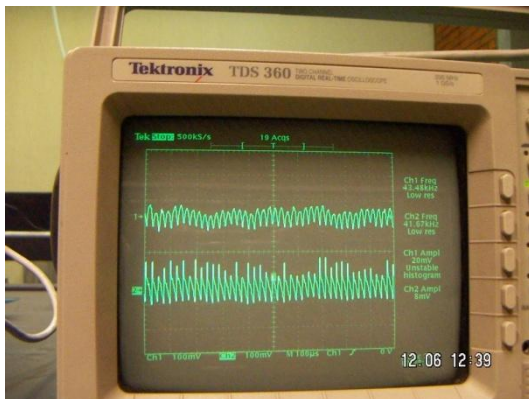


Figura 3.24 Señal con modulación 0

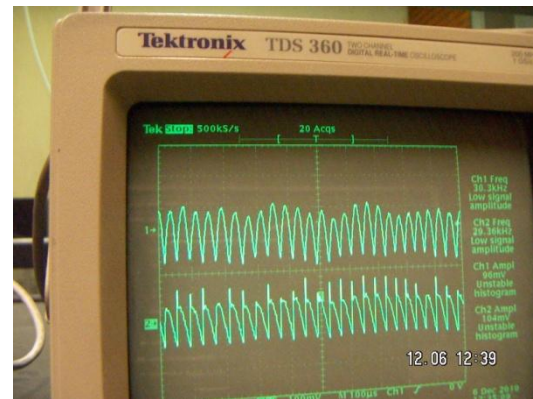


Figura 3.25 Señal con modulación 1

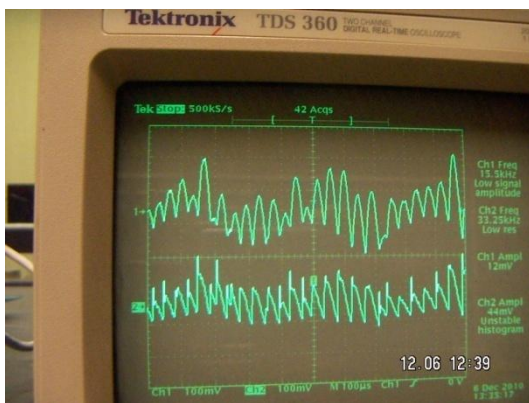


Figura 3.26 Señal con modulación 2

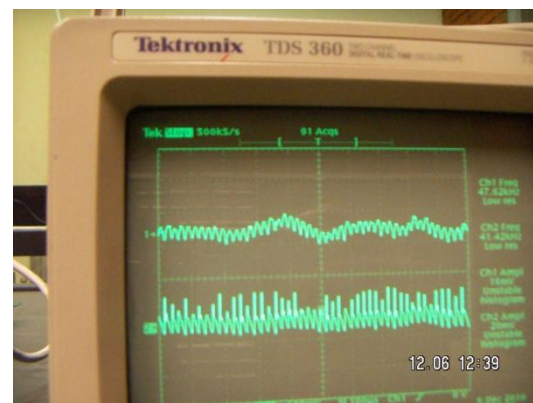


Figura 3.27 Señal con modulación 3

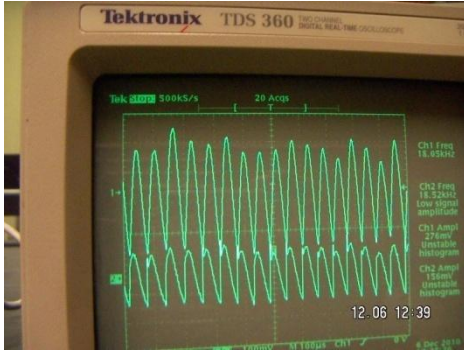


Figura 3.28 Señal con modulación 4

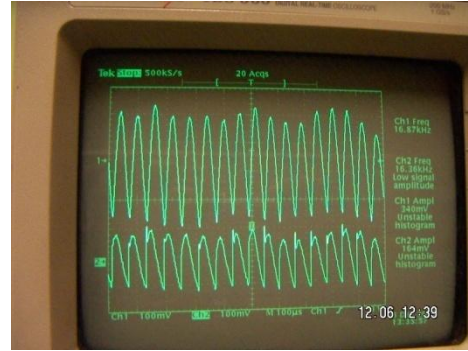


Figura 3.29 Señal con modulación 5

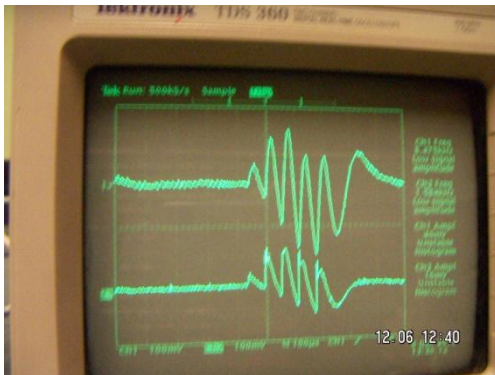


Figura 3.30 Señal con modulación 6

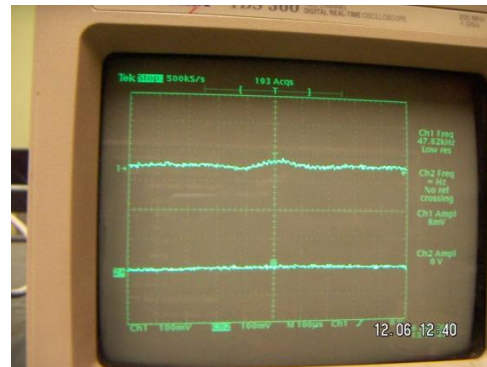


Figura 3.31 Señal con modulación 7

En la figura 3.29 observamos el nivel más alto de modulación aplicando modulación 5. En la figura 3.30, cuando se aplicó modulación 6 observamos trenes de pulsos irregulares, y así, cuando aplicamos modulación 7 en la figura 3.31 obtuvimos la extinción del láser.

De esta caracterización obtuvimos señales de la dinámica del láser, como son la señal caótica (figura 3.32), la señal periódica (figura 3.33), la señal intermitente (figura 3.34) y la señal de punto fijo (figura 3.35).

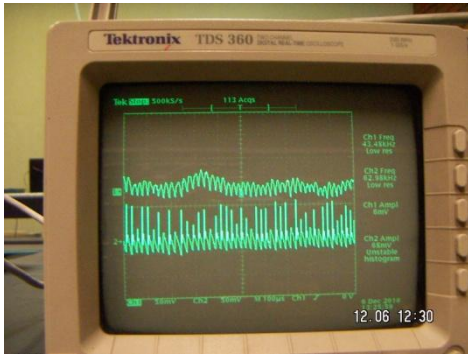


Figura 3.32 señal caótica

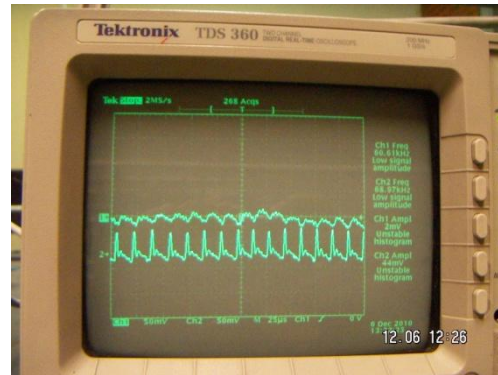


Figura 3.33 Señal periódica



Figura 3.34 Señal intermitente

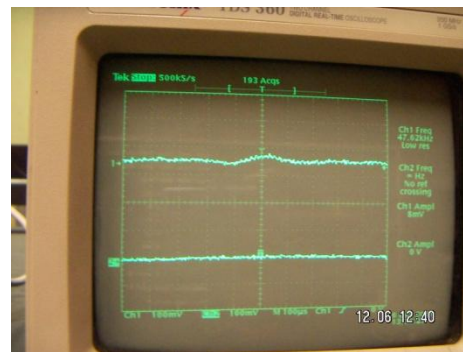


Figura 3.35 Señal de punto fijo

En la señal caótica observamos ruido de baja frecuencia tanto para la señal obtenida del detector como para la señal sonora. En la señal periódica observamos las señales en antifase, la señal intermitente con mayor amplificación para la señal sonora y cuando se extingue la señal láser.

OBSERVACIONES Y SUGERENCIAS

Es importante mencionar que con la actualización del equipo de trabajo, sería posible una mayor colección de datos y por ende mayor precisión en los resultados.

El trabajar con equipo de sonido de baja calidad produjo una baja fidelidad y, por ende, la mala recepción y observación del retardo de transmisión.

Sugerencias

- Usar otros absorbedores saturables.
- Complementar modelos matemáticos para simulación.
- Usar mejores detectores.
- Integrar todo el experimento para que sea controlado por LabVIEW (corriente del driver, colección de datos, análisis en tiempo real).
- Completar un diagrama de bifurcaciones en base a mediciones automatizadas (hechas en LabVIEW).

CONCLUSIÓN

Se caracterizó la emisión del láser a base del cristal Nd:YVO₄ con cristal de absorción saturable de Cr⁴⁺:YAG y retroalimentación con retardo. Se observó el efecto de la retroalimentación en la dinámica de láser.

Se controló la modulación y se registraron gráficas de diferente modulación hasta la extinción del láser, que por lo general fue con modulación 6. Se observaron ventanas de operación intermitente y ventanas de operación caótica para distintas modulaciones.

Aunque con el control del retardo por transmisión no se obtuvieron los resultados esperados, logramos observar la modulación, para casos de retroalimentación en fase y en antifase.

Se presentó un problema al trabajar altas frecuencias, ya que el micrófono utilizado era incapaz de seguir la señal fielmente. También se presentó el problema del ruido acústico del laboratorio, por lo que se tuvo que aislar el experimento en un cuarto separado del enfriador.

A través de este proyecto tuvimos la oportunidad de entender muchos aspectos de la dinámica caótica del láser, obtener parámetros para poder modularla y controlarla, así como aprender sobre distintos tipos de medios activos para el uso de láseres de bombeo.

REFERENCIAS

- GUERRA PÉREZ, José Manuel, *Física del Láser*. Libro abierto /serie apuntes, Aqua, 2004, p.145
- Jeff Hecht and Dick Teresi. "Laser, light of a million uses". Dover publications, Inc. New York. 1998.
- Oliver Lascar, "Laser", ficha del Science & Vie., pp 39-40, Tunisia, Túnez, marzo del 2000.
- HECHT, ZAJAC. *Optica*. Adaptado por Fernando Veas, Víctor Latorre. E.U.A: Fondo educativo interamericano, S.A. 1997, p. 85-86.
- TZONG-YOW, Tsai; YEN-CHENG, Fag. A saturable absorber Q-Switched all-fiber ring laser. *Opt. Express*, Vol. 17, N°3, p.1429-1434 (2009).
- WATSON, J. Optoelectrónica, Adaptado por Hugo Villagómez Velázquez, México: Limusa, 1993, p. 59, 60, 62, 63.
- Walter Koechner. "*Solid-State Laser Engineering*". Ed. Springer. E.U.A., 1999
- Richard Scheps. "Introduction to laser diode-pumped solid state lasers". Edit. Spie Press. Bellingham, Washington USA. 2002.
- E.E. Coherent. "Lasers, operación, equipo, uso y diseño". Edit. Limusa. Mexico. 1986.
- Liebovitch Larry S. "Fractals and Chaos, Simplified for the Life Sciences". Edit. Oxford. New York. 1998.
- <http://www.monografias.com/trabajos/laser/laser.shtml>
- Mouronte López, Mary Luz (2004). "*Caracterización y análisis de sistemas dinámicos no lineales mediante el estudio del mapa de frecuencias y espacio de fases*". Tesis (Doctoral), E.T.S.I. Agrónomos (UPM).
- www.andrew.cmu.edu/course/33-231/vector.pdf
- <http://www.sintecoptronics.com/aom.htm>

- http://www.scholarpedia.org/article/Chaos_in_lasers
- <http://www.monografias.com/trabajos/laser/laser.shtml>
- http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/084/htm/sec_7.htm
- http://www.usp.edu.pe/~jc.gutierrez/IA_/Hopfield.pdf.
- <http://www.cientec.or.cr/exploraciones/ponencias2006/LuisDiegoMarin.pdf>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Serie_temporal
- <http://www.seh-lelha.org/tseries.htm>
- http://en.wikipedia.org/wiki/Phase_space
- <http://www.u-oplaz.com/crystals/crystals20-1.htm>
- http://www.roditi.com/Laser/Cr4_Yag.html
- <http://www.thorlabs.com/Thorcat/5100/5190-D04.pdf>
- www.es-france.com/pdf/modulateur.pdf
- ESPINOSA SÁNCHEZ YULIANA MARIEM “Estudio de la dinámica compleja del láser de Nd:YVO4 con absorbedor saturable de Cr4+:YAG”. Tesis de licenciatura, ITTG 2010.
- LOPEZ MORALES GUADALUPE “Caracterización de la dinámica caótica del láser de Nd:YAG con modulación de parámetros”. Tesis de licenciatura, ITTG 2010.

ANEXOS

ANEXO A

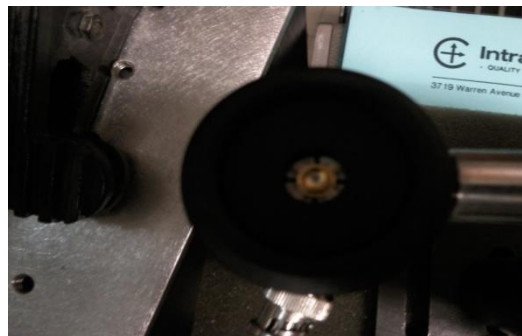
Diseño de circuitos

Fotodetector:

En la figura 1 se muestra el detector de luz láser, como entrada tiene al fotodiodo(fig. 1 b), la salida es una bocina de 32 ohms, como se explicó anteriormente, consta de un convertidor corriente-voltaje y un amplificador, ambos hechos con un operacional TL082 y es alimentado con pilas, con la finalidad de eliminar el mayor ruido posible.



a) fotodetector



b) fotodiodo

Figura. 1 fotodetector

El circuito final es montado en un TL082, ya que este circuito operacional contiene dos operacionales en un mismo encapsulado, y el circuito final es el de la figura 3 y su correspondiente circuito real es el de la figura 4.

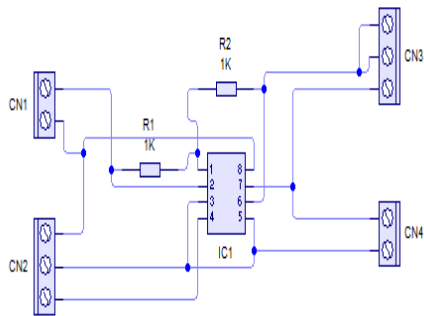


Figura 3. Cto. Eléctrico del fotodetector

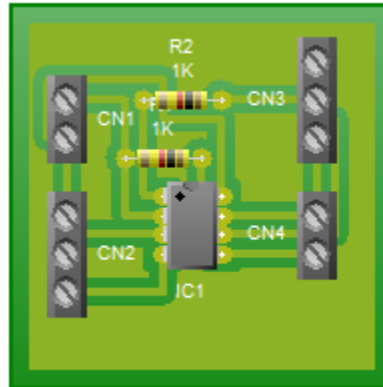


Figura 4. Diagrama Real del fotodetector.

Diseño del amplificador:

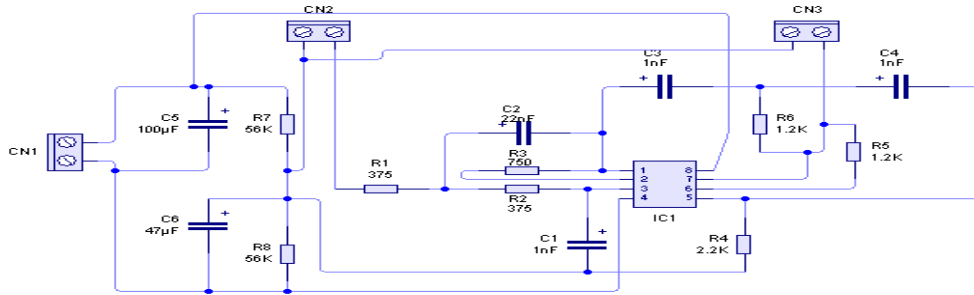
En la figura 5 observamos al amplificador de audio dentro de una caja metálica para eliminar el ruido magnético, con una entrada de audio para un micrófono y conectado a una bocina de 8 Ohms.



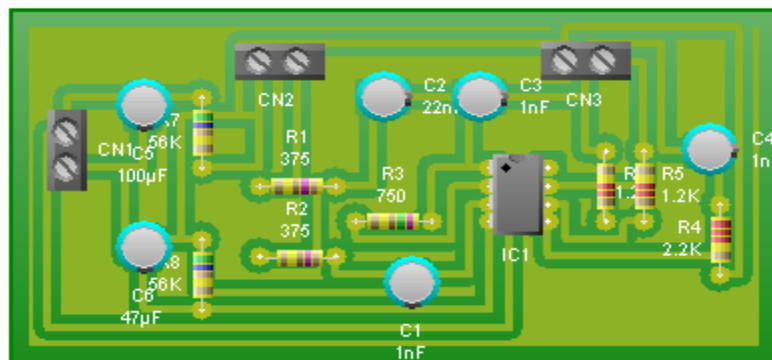
Figura 5. Amplificador de audio

Diseño del filtro pasabanda:

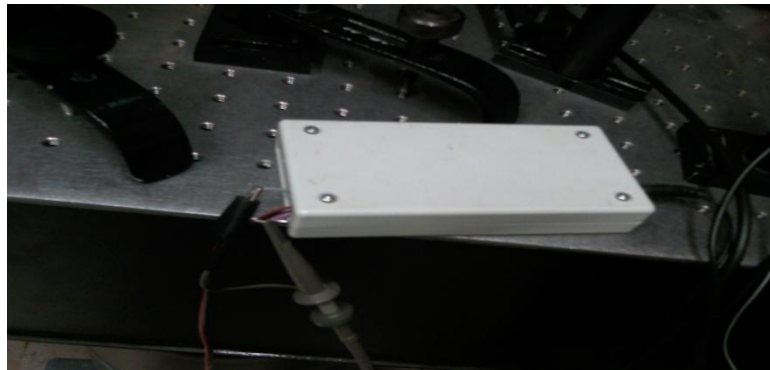
. En la figura 6 a) se observa el diagrama del filtro activo, en la figura 6 b) se muestra el ruteado del filtro y en la figura 6 c) el circuito implementado y montado en una caja plástica.



a) diagrama de filtro pasa banda 40 dB/década



b) Ruteado del filtro



c) filtro implementado

Figura 6. Filtro pasa banda

ANEXO B

Sistema láser

La señal del láser se crea a partir de un láser de bombeo, como se muestra en la figura 7, que sale a través de fibra óptica y es emitida al cristal de neodimio con orvanato de itrio (ND:YVO4) y se muestra en las figuras 8 y 9. La figura 10 corresponde al espejo 96% reflejante del cual se obtiene la salida final del láser y mediante cristales refractantes es dirigida hacia la entrada del fotodiodo (figura 11) para ser captada posteriormente por el foto detector que realizamos.

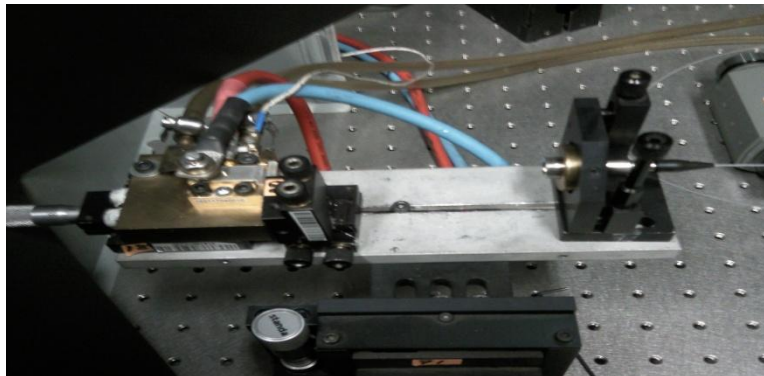


Figura. 7 Láser de bombeo



Figura. 8 fibra óptica

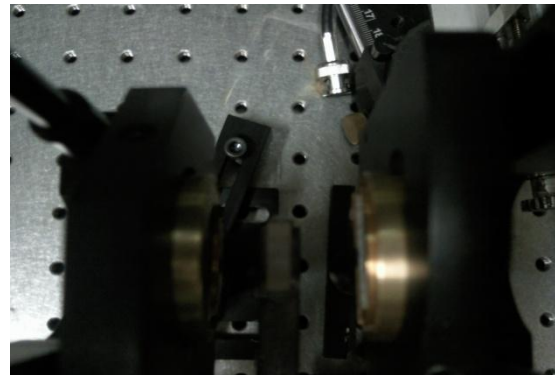


Figura. 9 Medio activo (cristal Nd:YVO4)



Figura 10 cristal 96% reflejante

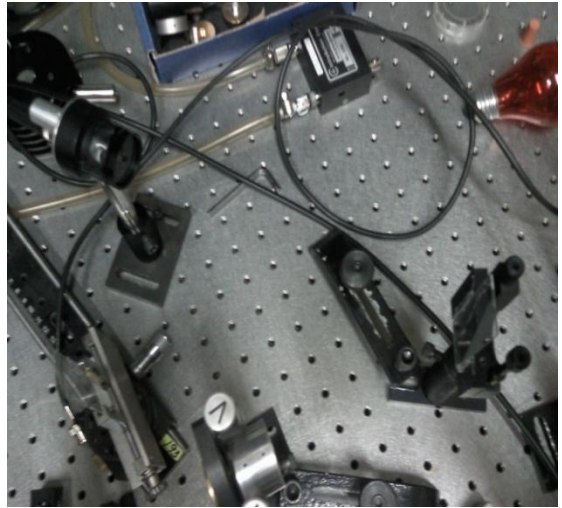


Figura 11 señal dirigida al fotodiodo