



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica



“APLICACIONES DEL RAYO LASER Y PRUEBAS
EXPERIMENTALES CON UN LASER DE HELIO-NEON”

PROYECTO DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

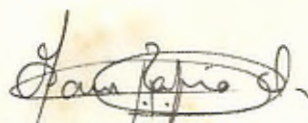
INGENIERA MECANICA

Presentado por:

Grace Margoth Villavicencio Almeida

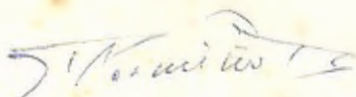
Guayaquil - Ecuador

1989



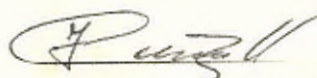
ING. MARCOS TAPIA Q.

SUB - DECANO
FAC. ING. MECANICA



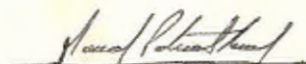
ING. MARCOS PAZMINO

DIRECTOR DE
PROYECTO DE GRADO



ING. FREDDY CEVALLOS

MIEMBRO PRINCIPAL DEL
TRIBUNAL

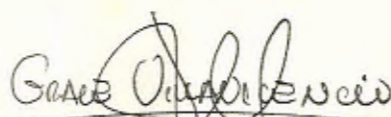


ING. MARIO PATINO

MIEMBRO PRINCIPAL DEL
TRIBUNAL

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas
expuestos en este Proyecto de grado, me corresponden
exclusivamente; y, el patrimonio intelectual del mismo a la
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Tópicos de graduación)



GRACE MARGOTH VILLAVICENCIO ALMEIDA

AGRADECIMIENTO:

Al Ing. MARCOS PAZMINO, por su magnífica guía y colaboración.

A mi abuelita, por su apoyo durante todos mis años de vida.

A mis padres, a quienes debo mi venida al mundo, y,

A JEHOVA DIOS, por todo lo maravilloso de mi vida.

DEDICATORIA:

A MI ABUELITA: Sra. Elvira León de Almeida.

A MIS PADRES: Sr. Jorge Villavicencio P.
Lcda. Rebeca Almeida de Morejón.

A MIS HERMANOS: Jorge Luis, María Leonor, Marjorie, Dianita
y Anita María.

A MIS QUERIDOS TIOS, y a todas las personas que me han
apoyado siempre y para quienes mi triunfo es su triunfo.

RESUMEN

Un proceso láser es aquel que amplifica las ondas de luz dándoles además características de coherencia y direccionamiento.

El objetivo de este tema es, principalmente, el de informar a la comunidad de las múltiples aplicaciones del rayo láser, el cual está revolucionando al mundo debido a la facilidad y seguridad de sus usos.

El tema se inicia con un breve relato de los orígenes del rayo láser y descripción del primer dispositivo láser.

A continuación se describe a la luz como una onda y se detallan las propiedades o características de la luz láser.

Luego se analiza el dispositivo láser como una fuente de luz y se dan las bases para que exista la acción láser.

Posteriormente se describen los tipos de salidas láser y los tipos de láseres en general, terminando la parte teórica con algunas de las consideraciones básicas para escoger un láser según los requerimientos de trabajo deseados y precauciones de seguridad a seguir cuando se trabaja con láser.

Para concluir este trabajo, se anotan resultados de algunos experimentos realizados con un láser de He-Ne que se pudo adquirir, los cuales son muy útiles en este momento en que se está aprovechando la energía solar ya que nos revelan

datos de transmisividad, absorptividad y reflectividad de materiales que se utilizan en la construcción de colectores y destiladores solares.

Hay que resaltar que la primera fase del trabajo en sí fue la de ensamblar el emisor y el receptor láser luego de haber realizado las debidas gestiones de adquisición y compra de sus componentes.

INDICE GENERAL

RESUMEN	6
INDICE GENERAL	8
INDICE DE FIGURAS	10
INDICE DE TABLAS	13
INTRODUCCION	14
I. GENERALIDADES	16
1.1 El láser ayer y hoy	16
1.2 Aplicaciones del láser	18
1.2.1 El láser en la Ingeniería Mecánica	25
II. INTRODUCCION AL LASER	33
2.1 Características de la luz láser	33
2.1.1 La luz como una onda	33
2.1.2 Propiedades de la luz láser	38
2.1.3 Mediciones radiométricas de la luz	43
2.2 El láser como una fuente de luz	49
2.2.1 Mecánica cuántica. Física de la generación de la luz	49
2.2.2 Componentes esenciales del láser	62
III. AMPLIFICACION DE LA LUZ POR EMISION ESTIMULADA DE RADIACION	70
3.1 Bases para la acción láser	70
3.1.1 El proceso láser	70
3.1.2 Población Invertida	74
3.1.3 Ganancia del amplificador	79
3.1.4 Pérdidas del amplificador	81

3.2 Salidas del láser como una función del tiempo ..	83
3.2.1 Salida continua	84
3.2.2 Onda continua modulada	86
3.2.3 Salida normal pulsada	87
3.2.4 Conmutación "Q"	89
3.2.5 Modo bloqueado	92
IV CLASIFICACION DE LOS LASERES	94
4.1 Láseres de gas	94
4.1.1 El láser de Helio-Neón	98
4.2 Láseres de estado sólido	100
4.3 Láseres de tintes (líquidos)	102
4.4 Láseres de semiconductores	102
4.5 Láseres químicos	105
V. ESCOGITAMIENTO DE UN LASER	107
5.1 Consideraciones básicas	107
5.2 Precauciones de seguridad	110
VI. PRUEBAS EXPERIMENTALES Y ANALISIS DE RESULTADOS	115
EXPERIMENTO # 1: Irradiancia	115
EXPERIMENTO # 2: Transmisión de la luz	124
EXPERIMENTO # 3: Reflexión de la luz	133
EXPERIMENTO # 4: Transmisión de datos	139
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	142
BIBLIOGRAFIA	145

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 Alineamiento de tuberías	21
FIGURA 1.2 Alineamiento de paredes, pisos y cielos	22
FIGURA 1.3 Nivelación de una superficie	23
FIGURA 1.4 Sistema agrimensur láser	24
FIGURA 1.5 Pulso ideal	26
FIGURA 1.6 Patrón del flujo de calor	28
FIGURA 2.1 Naturaleza ondulante de la luz	33
FIGURA 2.2 Relación entre longitudes de onda comunes	35
FIGURA 2.3 Difracción de las ondas de luz	36
FIGURA 2.4 Interferencia	37
FIGURA 2.5 Descomposición de la luz blanca	39
FIGURA 2.6 Rayo láser pasando através de un prisma	40
FIGURA 2.7 Rayo de un láser de Argón pasando através de un prisma	40
FIGURA 2.8 Divergencia (Ley de los cuadrados de los inver- sos)	41
FIGURA 2.9 Coherencia	42
FIGURA 2.10 Respuesta del ojo normal	44
FIGURA 2.11 El Esteroradián	47
FIGURA 2.12 Intensidad	48
FIGURA 2.13 Atomo de Boro	51
FIGURA 2.14 Atomo de Hidrógeno	54
FIGURA 2.15 Diagrama de niveles de energía para el modelo de Bohr del átomo de hidrógeno	58
FIGURA 2.16 Emisión Expontánea	61

FIGURA 2.17 Emisión Estimulada	62
FIGURA 2.18 Bombeo óptico	65
FIGURA 2.19 Excitación eléctrica	66
FIGURA 3.1 Proceso LASER	73
FIGURA 3.2 Distribución normal de población	74
FIGURA 3.3 Inversión de población entre E_2 y E_3	76
FIGURA 3.4 Atenuación del rayo de luz	77
FIGURA 3.5 Amplificación de la onda de luz	78
FIGURA 3.6 Ganancia del amplificador	80
FIGURA 3.7 Pérdidas del amplificador	83
FIGURA 3.8 Salida continua	85
FIGURA 3.9 La onda continua modulada	86
FIGURA 3.10 Láser normal pulsado	87
FIGURA 3.11 Curva de energía para un láser normal pul- sado	88
FIGURA 3.12 Láser con Conmutador de "Q"	90
FIGURA 3.13 Secuencia de eventos durante una conmutación de Q	91
FIGURA 3.14 Salida de un laser con modo bloqueado	93
FIGURA 4.1 Láser típico de gas	96
FIGURA 4.2 Relación Corriente VS. Voltaje en un laser de He-Ne	97
FIGURA 4.3 Partes principales de un laser de He-Ne	99
FIGURA 4.4 Láser de semiconductores	105
FIGURA 5.1 Curva de funcionamiento de un láser de He-Ne usado con y sin colimador	109
FIGURA 5.2 Tamaño de Imagen en la retina	110

FIGURA 5.3 Espesores de las capas de la piel	111
FIGURA E1.1 Posiciones de la mancha láser con relación al orificio detector del receptor laser	119
FIGURA E2.1	127
FIGURA E2.2 Filtro	128
FIGURA E3.1 Angulo de 20°	135
FIGURA E3.2 Posición 1	135
FIGURA E3.3 Trazado de la trayectoria del rayo de luz ..	136
FIGURA E3.4 Posición 2	137
FIGURA E3.5	137

INDICE DE TABLAS

I. Características de ciertos láseres típicos	144
---	-----

INTRODUCCION

El rayo láser es uno de los avances más importantes de la ciencia moderna debido a la versatilidad de sus usos y aplicaciones tales como en medicina, en las fuerzas armadas y en todas las facetas de la industria donde se necesitan mediciones de alta precisión.

Existen cientos de otras aplicaciones que están siendo propuestas y desarrolladas por ingenieros y científicos con un número ilimitado de nuevos usos en mira y es precisamente ésto lo que nos impulsa a desarrollar este tema que aportará al avance de nuestro país al incorporarlo a la nueva era tecnológica.

Este trabajo da énfasis a las aplicaciones del láser en el campo de la ingeniería mecánica y además presenta pruebas experimentales con sus debidos análisis de resultados realizadas con un rayo láser de gas que utiliza como medio activo una mezcla de Helio y Neón y cuyo mecanismo de excitación es el bombeo eléctrico. A continuación se dan otras especificaciones de este dispositivo:

Potencia de salida:	(0.4 -0.9) milivatios.
Longitud de onda:	632.8 nanómetros.
Diámetro del rayo:	0.49 milímetros.
Divergencia del rayo:	1.64 miliradianes.

Polarización:	al azar
Ancho de banda de modulación:	(300 - 40) Hertz (+/- 3dB.)
Entrada auxiliar:	1 voltio.
Microfono:	100 milivatios diseñado para microfono de 50 K.
Requerimientos de Potencia:	120 VAC, 60 Hz, 15 Vatios
Dimensiones:	alto = 8.25 centímetros. ancho = 9.50 centímetros. longitud = 3.50 centímetros.
Peso neto	2.6 libras.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 EL LASER AYER Y HOY

La teoría básica de los láseres tiene su origen en las teorías atómicas de Einstein (1917) quien indicó que se podía obtener radiación a partir de átomos bajo unas ciertas condiciones.

La historia del láser comienza con el máser (amplificación de microondas por emisión estimulada de radiación).

El máser fue inventado en 1951 por el Dr. Charles H. Townes. Este invento le ocasionó aspirar al premio Nobel en 1964. El máser es un dispositivo para la amplificación de microondas muy débiles y para la transmisión de ondas en una manera más eficaz.

Uno de los primeros máseres de estado sólido empleó cristal de safiro sintético combinado con óxido de cromo como dopante y fue creado en 1956 con la idea de generar ondas coherentes, monocromáticas y colimadas, pero como se usaba microondas y no luz, el generador se denominó máser. En 1958, el Dr. Charles H. Townes y el Dr. Arthur L. Schawlow descubrieron que los máseres podían

amplificar luz, así como microondas, aunque el hecho de que los principios de los máseres permitían su operación en el espectro de luz, fue sugerida en 1953. Townes y Schawlow teorizaban que las mismas propiedades de la física aplicable a un máser de microondas podían ser ciertas para longitudes de onda de la luz. Sin embargo, sus trabajos en construcción de un máser óptico (como ellos se referían a éste) fueron infructuosos.

HISTORIA DEL LASER

En 1960, el Dr. Theodore Maiman quien trabajaba en la Hughes Aircraft Company en Malibú, California, utilizando la física explicada por Townes y Schawlow, colocó los componentes correctos en el arreglo correcto para lograr los primeros trabajos láser. El fue recompensado al lograr, a partir de un rubí sintético, un muy diminuto rayo de roja luz coherente. Este fue el primero semejante al rayo de luz láser a ser propagado por el proceso láser.

Este láser primitivo fue sólo una pequeña varilla de rubí hecha por él de alrededor de 1.27 centímetros de diámetro y aproximadamente 5.08 centímetros de longitud con cada extremo plateado para servir como una cámara de resonancia.

Un extremo fue hecho ligeramente menos reflectivo y semi-transparente para permitir la salida del rayo de luz.

Alrededor de esta cavidad se colocó un tubo flash conteniendo gas Xenón, parecido al que se usa en fotografía de alta velocidad, en forma de arrollamiento.

Aunque este tubo flash fue hecho para destellar, no toda pero sí una cantidad substancial de luz, fue absorbida dentro de la varilla de rubí. La energía absorbida actúa sobre los átomos de Cromo adhiriéndolos al material del rubí dándole características de amplificación. Esta adhesión fue llamada dopación. Los átomos de Cromo, una vez energizados por la luz bombeada desde una fuente de 1000 Voltios adoptan un nivel de energía más alto. Se sabía por adelantado que los átomos de Cromo no podían permanecer por mucho tiempo en este estado no natural de valor energético más alto antes de que decaigan cediendo su energía brevemente almacenada. Esta energía es absorbida por los átomos del rubí de los alrededores activando el rubí y provocando la acción láser.

La acción emitida por este láser era de una longitud de onda de 6943 Angstroms.

1.2 APLICACIONES DEL LASER

Las puertas que en la actualidad están abiertas para el láser son incontables y cada día son más las que se abren.

EN MEDICINA.- Para realizar operaciones quirúrgicas sin sangre, puede ser usado como un bisturí. Puede también acoplarse a un microscopio y volatilizar un punto preciso de una célula, gracias a que se puede regular tanto la intensidad de su radiación como su focalización. Debido a ésto se lo utiliza con preferencia en neurocirugía y en otorrinolaringología.

También se emplea en el tratamiento de tumores, puesto que parece haberse demostrado que las células malignas absorben con mayor intensidad las radiaciones del láser que las sanas.

EN CIRUGIA OPTICA.- Es donde mayores aplicaciones ha encontrado. Un rayo láser controlado es usado para llevar a cabo operaciones que sólo unos pocos años atrás hubiesen sido consideradas casi imposibles. El dispositivo láser usado por cirujanos oculista es llamado fotocoagulador. Este puede literalmente soldar la parte posterior de la retina del ojo en su sitio, evitando que muchas personas sufran de ceguera a causa de los desprendimientos de retina. Esta operación es muy segura y se la realiza con buen éxito gracias al láser.

EN ODONTOLOGIA.- También se encuentra lugar para un rayo láser. Los dientes que han perdido el pulido esmalte de su corona son irradiados por un láser recobrándose la salud del diente. Se ha comprobado que los dientes

tratados en esta manera, definitivamente retardan la formación de caries.

LA HOLOGRAFIA.- Es una práctica que utiliza un rayo láser para proyectar figuras en 3 dimensiones que parecen vivas, nacidas como resultado de exponer un objeto a la aplicación de un rayo láser.

LA MICROPUEBA.- Es otra aplicación que se asemeja mucho a la holografía. Aquí un rayo láser es usado astutamente en museos para detectar falsificaciones de retratos y esculturas. En esta aplicación el láser produce un diminuto rayo de luz controlado el cual vaporiza una partícula diminuta del artículo que se está examinando.

Este gas vaporizado es luego inspeccionado por un espectrógrafo donde se examina las propiedades elementales del mismo.

Entre las muchas aplicaciones presentes del láser mencionaremos también su uso en comunicaciones donde el rayo de luz láser actúa como conductor de la señal, como radar, en giroscopía, en la industria, en el comercio, en las fuerzas armadas, etc.

Otras de las aplicaciones de mucha utilización son las que se relacionan con alineamiento, sistemas de proyección de línea recta y agrimensura.

ALINEAMIENTO Y SISTEMAS DE PROYECCION DE LINEA RECTA.-

El alineamiento de tuberías de aguas servidas y potable y en general, conductos bajo tierra siempre han presentado problemas a la industria de la construcción.

Durante muchos años esta tarea fue acompañada de alambres extensores y niveles. Sin embargo esto consume mucho tiempo además de no ser siempre exacta. Ahora un láser puede ser usado para realizar esta tarea con un sistema de proyección de línea recta parecido al que se muestra en la figura 1.1 para posicionar las secciones de tubería a medida que son colocadas. Como la sección adicional puede incapacitar la observancia de la mancha del rayo, se coloca un blanco en el extremo de cada sección y cuando el rayo 'choca' el centro del blanco, el trabajador de la construcción sabe que la tubería está correctamente alineada.

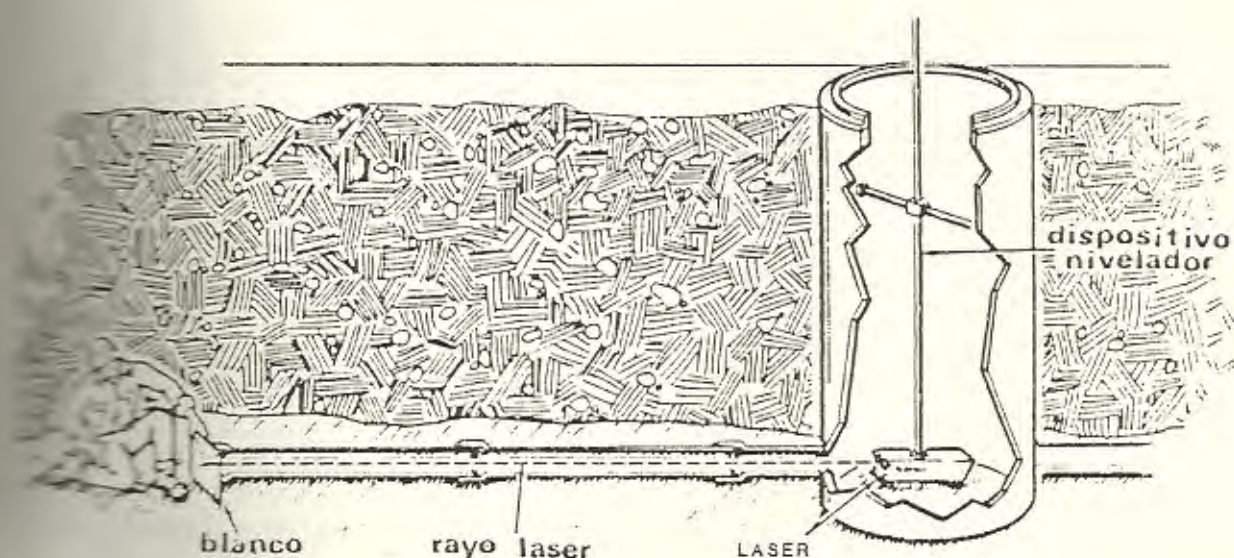


Figura 1-1

Alineamiento de tuberías

Esta idea también se aplica en la construcción de edificios para alinear paredes, cielos, pisos, etc. con la única variación de que el rayo rota con la ayuda de un prisma.

La figura 1.2 esquematiza esta aplicación.

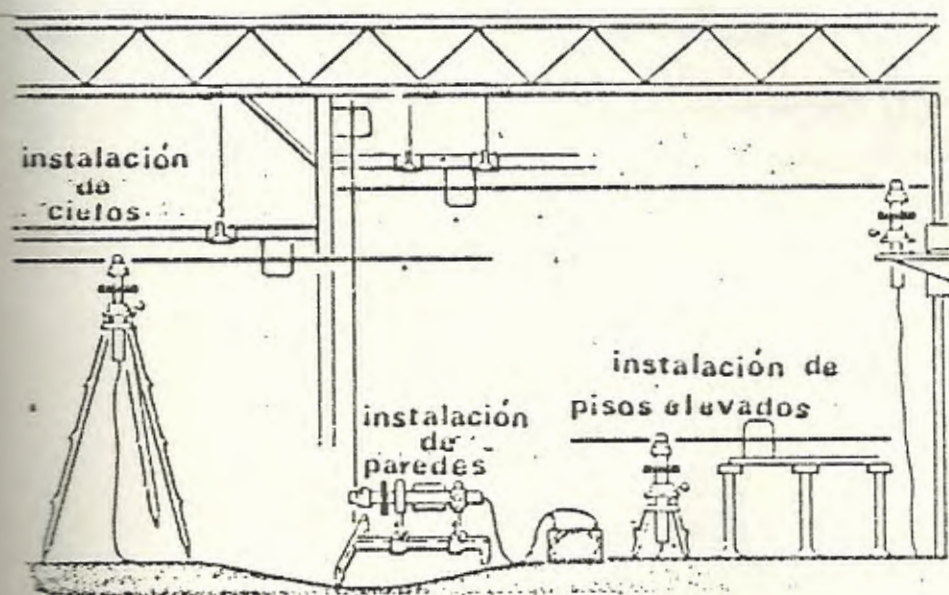


FIGURA 1.2

Alineamiento de paredes, pisos y cielos.

Sirve además para nivelar cualquier tipo de superficie o terreno acoplando un sensor a la máquina que está realizando el trabajo (figura 1.3).

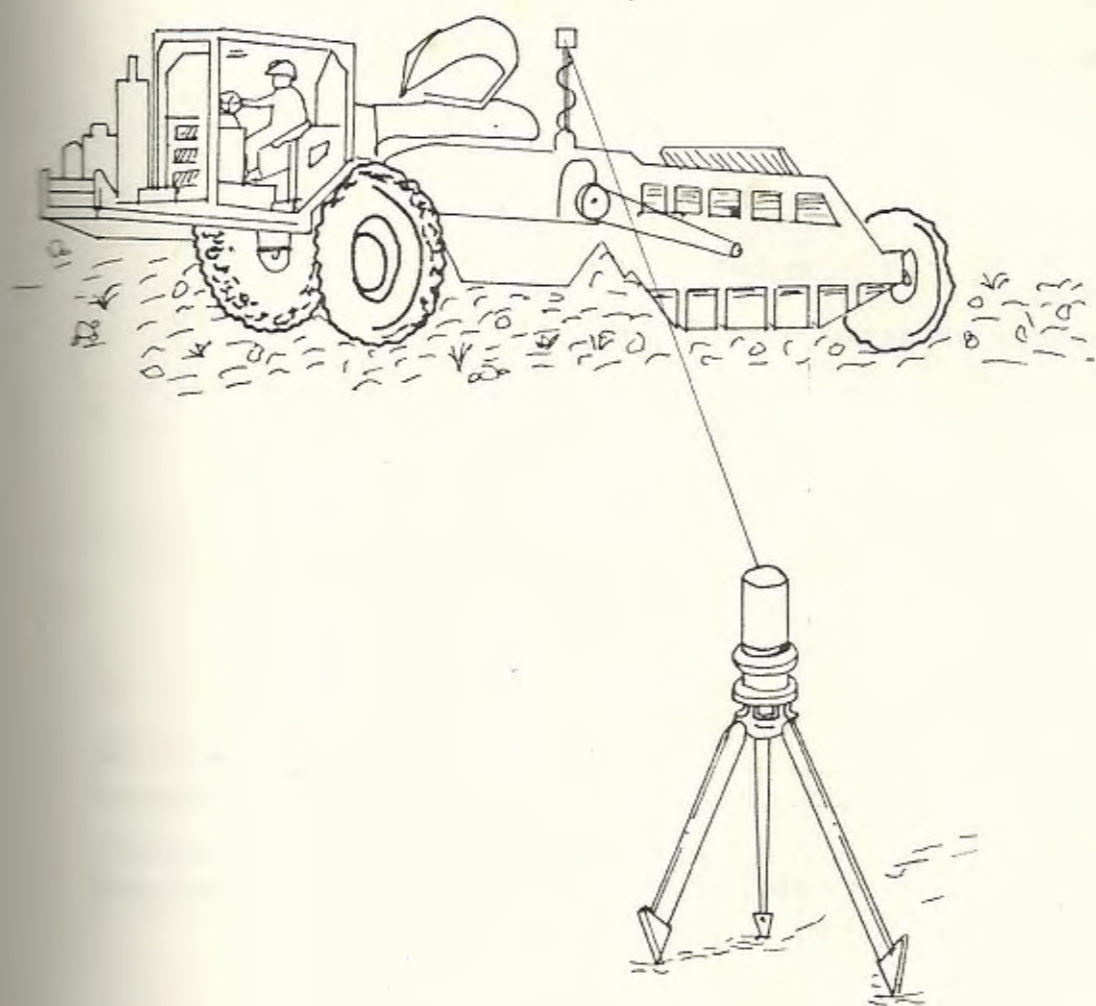


FIGURA 1.3

Nivelación de una Superficie

En MEDICION DE DISTANCIAS Y AGRIMENSURA se proyecta un rayo láser y se permite que éste viaje hasta un espejo reflector colocado en la localización deseada. De esta manera se puede calcular la distancia desconocida que se requiere.

El rayo láser reflejado por el espejo regresa al láser y es recibido por un detector domiciliado en la misma posición que el láser. Un circuito computador de tiempo determina el tiempo que el rayo tomó en viajar la distancia desconocida y volver.

Como se conoce la velocidad de la luz, es fácil determinar la distancia. Este proceso se ilustra en la figura 1.4.

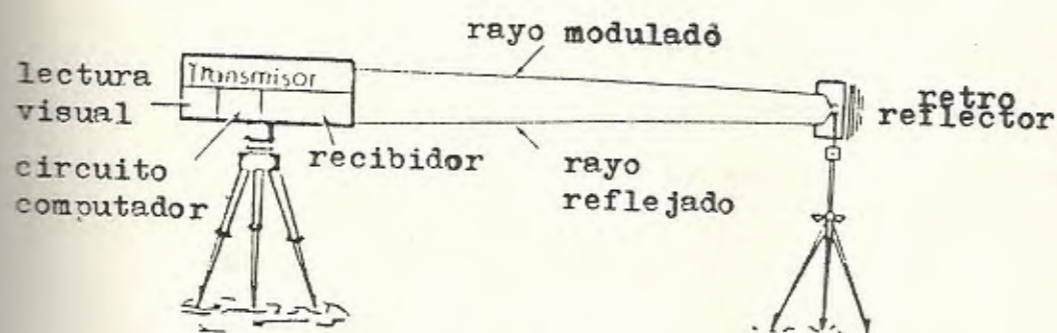


Figura 1-4

Sistema Agrimensur Laser

1.2.1 EL LASER EN LA INGENIERIA MECANICA

En esta rama de la ingeniería, el láser encuentra sus mayores aplicaciones en maquinado, soldadura, operaciones de corte y alineamiento de máquinas.

Para escoger entre los métodos convencionales de procesamiento de materiales y la aplicación de la máquina láser, ésta debe tener ventajas tales como en comparación de costos de operación, y requerimientos operacionales.

SOLDADURA.- La soldadura láser de metales es un proceso de fusión donde dos partes son pegadas simultáneamente con un rayo enfocado. El rayo derrite el metal en la unión de las dos piezas y luego se da lugar a que el metal líquido se solidifique formando la soldadura. En esta soldadura, contrariamente a la soldadura convencional, no es necesario poner material extra de relleno, aunque esto es posible si se desea.

Ambos tipos de láseres, el pulsado y el de onda continua, pueden ser usados para producir la soldadura. Láseres de onda continua de dióxido de carbono de alto poder son comúnmente usados para producir capas de soldadura, es decir cordones

continuos de soldadura, mientras que láseres pulsados como el de Neodimio: Itrio-Aluminio-Granate (Nd.YAG) o el láser de Neodimio en vidrio, son usados para soldaduras de punto. Se puede conseguir un cordón de soldadura con un láser pulsante si los puntos de impactos consecutivos se hacen sobrepuestos.

Cuando un láser pulsante es usado como soldador, se utilizan pulsos de aproximadamente 1.5 a 10 milisegundos.

Cada pulso se mide por su semejanza al pulso de soldadura ideal de los graficados en la red formadora de pulsos como el de la figura 1.5.

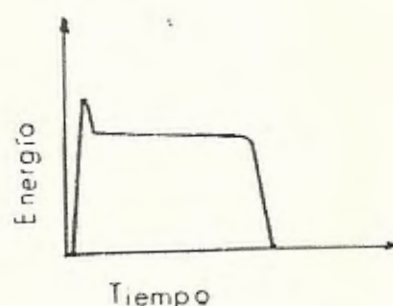


Figura 1-5. PulSo Ideal

La sección sobresaliente del eje sobre el pulso suministra la potencia pico máxima necesaria para vencer la reflectividad del metal. Después de que el metal se funde y es más absorbente, la potencia en el pulso se reduce a un nivel más bajo para prevenir entradas de energía excesivas las cuales podrían vaporizar la superficie fundida.

El calor total que entra a una parte es menor con un láser pulsado que con un láser de onda continua.

El calor más bajo que se introduce puede ser una ventaja porque el material y los componentes adyacentes a la junta soldada son menos expuestos a daños por el exceso de calor que fluye a los lados de la soldadura. La soldadura con láser pulsado es comúnmente usada para sellar pequeños contenedores de metal de alto costo y para soldar delicados circuitos electrónicos que de otro modo requerirían de reemplazo. De hecho, generalmente se utilizan láseres para sellar marcapazos para pacientes que sufren de afección al corazón.

La transferencia de energía térmica através del material es una consideración muy importante dentro de la soldadura láser. Como el calor del

rayo calienta la superficie del metal, la energía calorífica comienza a fluir através del punto de enfoque dentro de un razonable patrón simétrico como el mostrado en la figura 1.6.

La profundidad de penetración depende de la cantidad de energía láser, el tiempo que el rayo está sobre la superficie y la conductividad térmica del material.

Si la energía liberada por el láser es tan rápida como la conducción de calor por el material, la temperatura en el punto de impacto puede incrementarse, y podría alcanzarse el punto de vaporización del metal sobre la superficie permitiendo una penetración en la soldadura terminada.

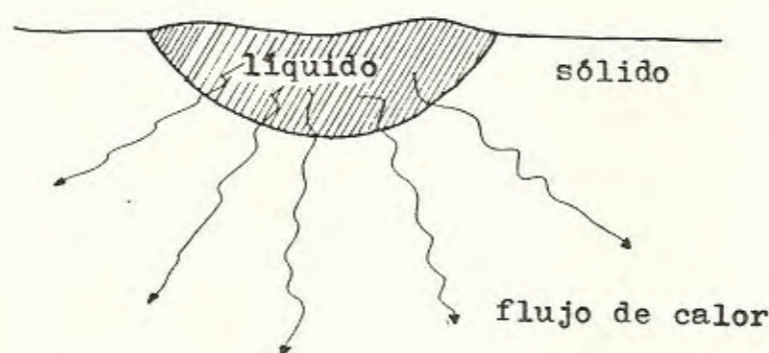


FIGURA 1.6 Patrón del flujo de calor

CORTADO.- Los láseres de dióxido de carbono de onda continua pueden cortar económicamente hojas de metal de espesores hasta 0.635 centímetros.

Este no es precisamente un espesor límite, pero otros procesos para cortar materiales de espesores superiores, generalmente son menos caros.

El cortado con un láser de onda continua o con un láser pulsado es un proceso de vaporización donde el metal focalizado por un punto de la lente es calentado por encima de la temperatura de vaporización del material. Sin embargo, queda metal fundido alrededor del área vaporizada.

Este es removido con un chorro de gas antes de que se solidifique. Adicionalmente, existe una ventaja si se utiliza un gas químicamente activado como el oxígeno, porque las velocidades de quemado del oxígeno en el proceso de cortado improvisan la calidad del corte. Hay que recordar que para procesamientos láser se requiere la absorción del rayo.

Los metales reflejan un gran porcentaje del rayo, especialmente en la región infraroja del espectro donde operan los láseres Nd:YAG y de CO₂.

No metales como el plástico, caucho, fibra de

vidrio, madera, materiales compuestos y vidrio no pueden ser cortados si el rayo no es absorbido.

El vidrio, por ejemplo, no puede ser cortado con un láser Nd: YAG porque su rayo emitido en la región cercana a la infraroja del espectro (1.06 micrones) es transmitido por el vidrio. Sin embargo, el rayo de un láser de CO₂ (10.6 micrones) alejado de la región infraroja no es transmitido por el vidrio y por tanto puede cortarlo. La mayoría de los no metales pueden ser cortados con un láser de CO₂ porque éstos pueden absorber su longitud de onda.

TALADRADO.- El láser de Nd:YAG es comúnmente usado cuando se taladran agujeros en metales. Estos láseres producen pulsos con picos de extremada potencia por lo que pueden vaporizar muy fácilmente los metales.

Como en cortado, se utiliza un chorro de gas para remover el material fundido de los alrededores del agujero.

Para taladrar no metales se prefiere un láser de CO₂.

Es interesante anotar que en el cortado, así como en el taladrado, no existe contacto físico entre

la pieza y la herramienta de corte evitándose la contaminación de la pieza.

MARCACION.- Otra de las aplicaciones muy útiles hoy es la de marcación láser que está reemplazando rápidamente otras técnicas para marcar en forma permanente partes o componentes.

Uno de los sistemas utiliza la potencia pico del láser de CO₂ y una carátula con la cual se desea marcar la pieza. La carátula es puesta en medio de los espejos del láser y se permite que el rayo pase através de ella antes de ser enfocado. El rayo toma la forma de la imagen que va a ser marcada sobre la parte. Este sistema es extremadamente útil para escribir o marcar números sobre componentes tales como circuitos electrónicos.

Pasan
↓

ALINEAMIENTO DE MAQUINAS.- Para alinear y ajustar máquinas se requiere de mayor exactitud que en los trabajos de alineamiento de superficies.

Principalmente en el ajuste de máquinas tales como las usadas para producir partes para la industria aeroespacial o de computadoras.

Para satisfacer esta necesidad de mayor exactitud, los diseñadores han desarrollado un sistema

especializado que usa los principios de interferencia constructiva y destructiva de la luz coherente suministrando mediciones de exactitud del orden de 0.00000254 centímetros (una millonésima de pulgada) en mediciones de distancia superiores a los 182 metros.

Este dispositivo se conoce como el interferómetro láser.

MEDICION DE ABSORTIVIDAD, TRANSMISIVIDAD Y REFLECTIVIDAD DE MATERIALES.- En la actualidad, en nuestro país se estan desarrollando trabajos de aprovechamiento de la energía solar y para éstos se necesita de datos tales como la absorptividad, transmisividad y reflectividad de ciertos materiales tales como vidrios, plásticos y películas que se van a utilizar en colectores y destiladores solares. Estos datos son de difícil acceso pues no existen tablas completas con este tipo de información.

Con la utilización de un rayo láser, las mediciones de estas propiedades son un trabajo sencillo de resultados bastante exactos.

CAPITULO II

INTRODUCCION AL LASER

2.1 CARACTERISTICAS DE LA LUZ LASER

2.1.1 LA LUZ COMO UNA ONDA

La naturaleza ondulante de la luz es ilustrada en la figura 2.1. Existen algunas características muy importantes de esta onda que deben ser definidas.

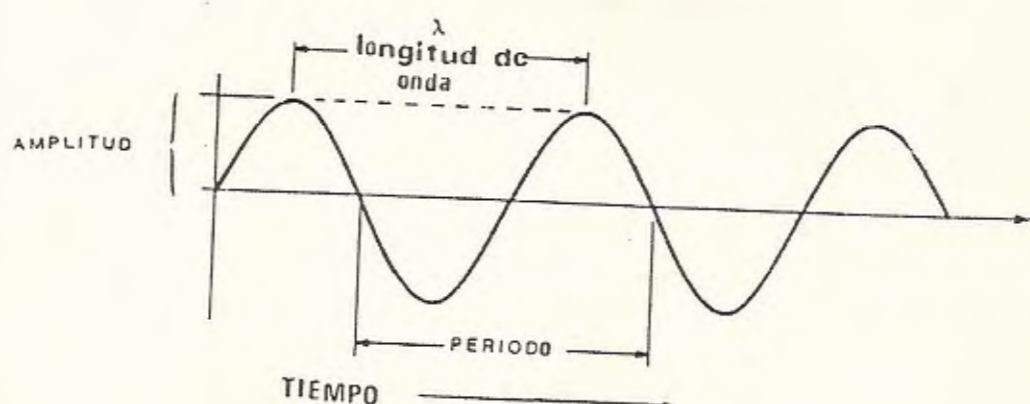


Figura 2-1

Primero, la elevación desde la línea central o pico en dirección positiva y negativa, se denomina amplitud de la onda. La amplitud se relaciona con la intensidad de la luz en forma directamente proporcional, esto es, a mayor amplitud de onda, mayor intensidad de la luz. Esta amplitud o

intensidad es generalmente medida en Voltios por metro (V/m).

Ahora la luz es un campo de fuerzas electromagnéticas oscilantes. El número de oscilaciones por segundo se denomina frecuencia de la luz.

El color de la luz o porción del espectro electromagnético al que corresponde la luz, depende de la frecuencia o razón a la cual ella oscila. La luz en algún lugar particular del espectro, oscila a una razón fija pero rápida.

El período es la cantidad de tiempo requerido para completar una oscilación o ciclo de la longitud de onda específica. El período es el recíproco de la frecuencia.

La distancia que la luz viaja durante un período de la onda de luz se denomina longitud de onda.

La velocidad de una onda se la obtiene de la relación:

$$c = f\lambda$$

donde: c = velocidad de la luz

f = frecuencia de la onda de luz

λ = longitud de onda.

Nuestro ojo responde en un estrecho rango de longitudes de onda.

El espectro óptico incluye todas las longitudes de onda que muestran las mismas propiedades ópticas, y éste contiene las longitudes de onda visibles.

El entero espectro electromagnético corre desde longitudes de onda muy grandes hasta las estrechamente cortas.

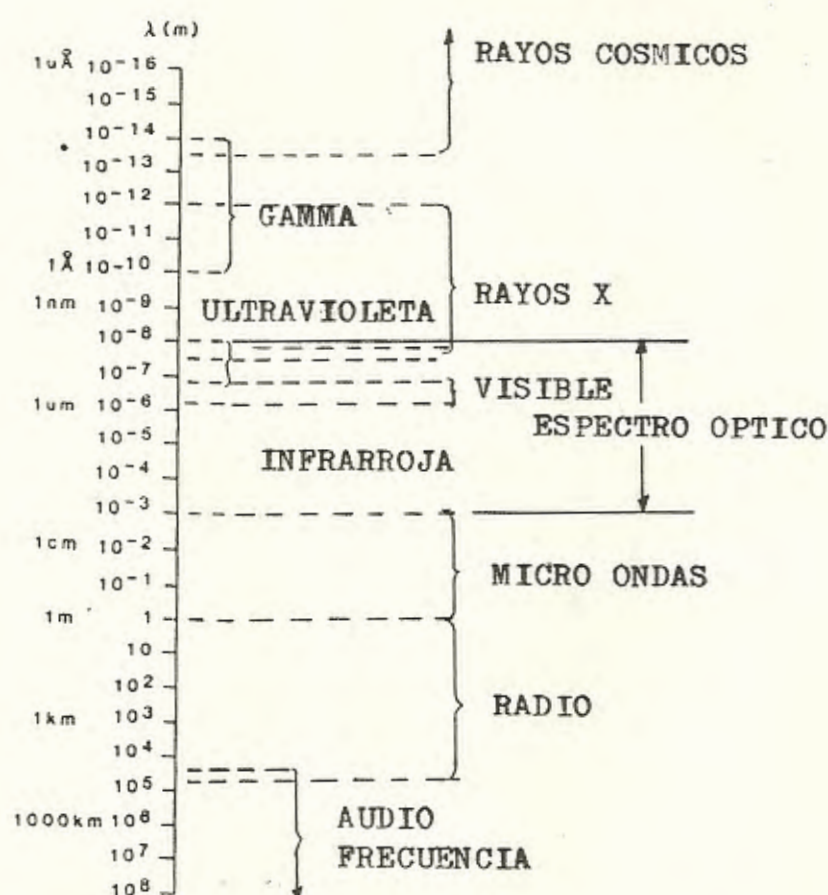


FIGURA 2.2 Relación entre longitudes de onda comunes

La figura 2.2 muestra la relación entre las longitudes de onda más comunes del espectro electromagnético.

DIFRACCION E INTERFERENCIA.- cuando la luz pasa através de una apertura pequeña, ésta tiende a difundirla como si la apertura misma fuera una pequeña fuente de luz. Las ondas que salen de la apertura ahora son curvas. La curvatura de una onda que pasa através de una estrecha apertura a lo largo del eje de una barrera es conocida como difracción y se esquematiza en la figura 2.3.

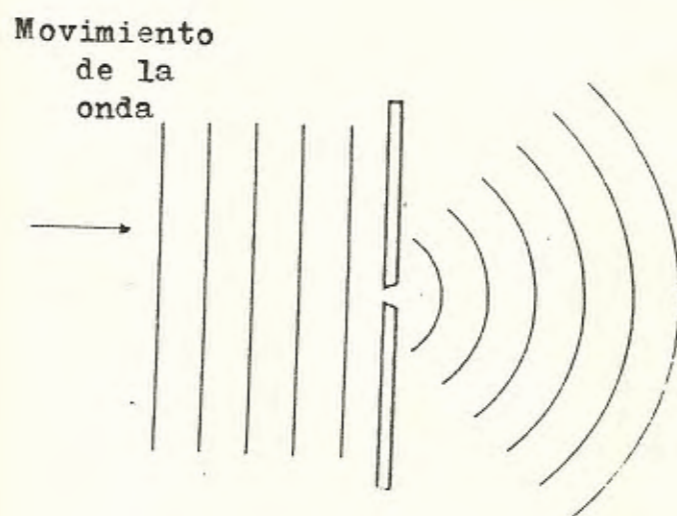
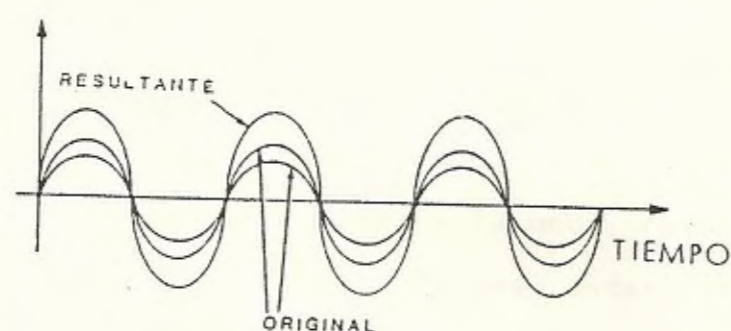


FIGURA 2.3

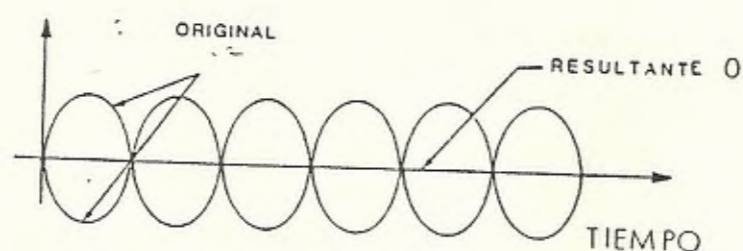
Difracción de la onda de luz

INTERFERENCIA DE LA LUZ.- Cuando dos o más ondas se encuentran en el mismo lugar y al mismo tiempo, sus amplitudes se suman. Este efecto es llamado superposición y se ilustra en la figura 2.4.



A.

Interferencia constructiva



B.

Interferencia Destructiva

FIGURA 2.4

Interferencia

Si una cresta de una onda se encuentra con la cresta de otra onda, sus amplitudes se sumando como resultado una onda de amplitud mayor; esto se ilustra en la figura 2.4A y se denomina interferencia constructiva.

Lo mismo es cierto si son las crestas negativas o valles los que se encuentran.

Cuando la cresta de una onda se encuentra con el valle o seno de otra onda la disturbancia tiende a cancelar el efecto y la onda resultante es la diferencia entre las dos ondas originales. Un ejemplo de este fenómeno se observa en la figura 2.4B y se la denomina interferencia destructiva.

2.1.2 PROPIEDADES DE LA LUZ LASER

Aquí empieza
SAY
↓

Los láseres generan luz que tiene todas las características de la luz generada por otras fuentes de luz. Sin embargo la luz láser tiene tres características muy distintas que la hacen diferente de alguna otra fuente de luz.

MONOCROMATICIDAD.- La luz láser es monocromática, en otras palabras, el láser genera luz de solamente un color.

La luz blanca común consiste de todos los colores

del espectro y puede ser descompuesta en sus colores componentes cuando pasa a través de un prisma común como se muestra en la figura 2.5.

El prisma de vidrio separa las longitudes de onda mediante dirigir cada longitud de onda a un diferente ángulo.

FIG. 3

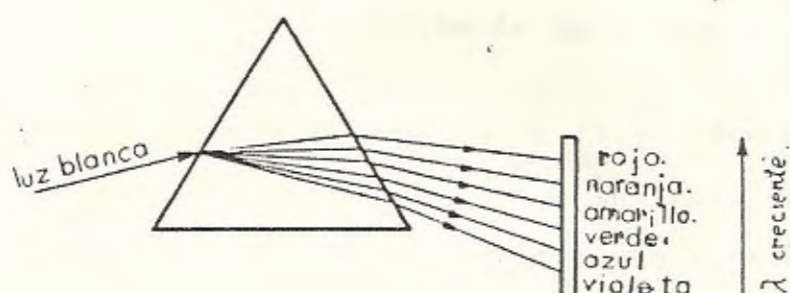


Figura 2-5

Descomposición de la luz blanca

La figura 2.6 muestra un rayo emergiendo de un láser y pasando a través de un prisma. El rayo cambia su dirección pero no se descompone en diferentes colores.

Esto indica que la luz de un láser contiene solamente una longitud de onda, es decir que es monocromática.

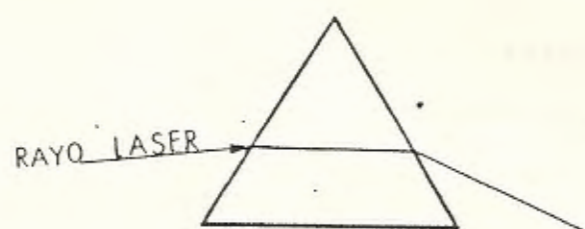


Figura 2-6

Rayo laser pasando através de un prisma

A pesar de que la mayoría de los láseres son monocromáticos, algunos generan más de una longitud de onda. Como por ejemplo el láser de Argón, pero cada longitud de onda es monocromática.

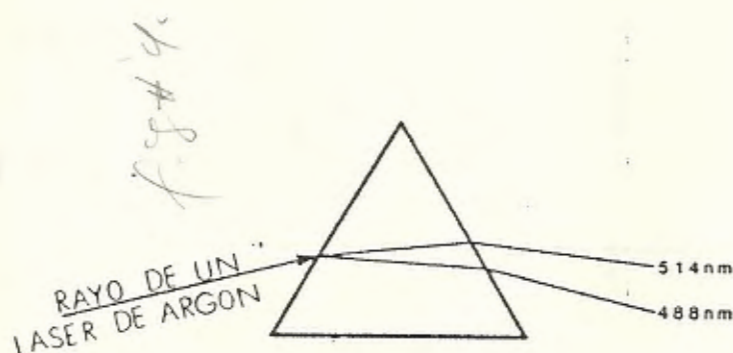


Figura 2-7

Rayo de un laser de Argón pasando através de un prisma

DIVERGENCIA.- Según la ley de los cuadrados de los inversos, se conoce que la luz que emerge de una fuente incrementa su área a medida que se aleja de ella.

La figura 2.8 muestra la relación entre la distancia desde una fuente de luz puntual y el área cubierta por el rayo. El ángulo al cual la luz se extiende se denomina divergencia.

FIG. 4

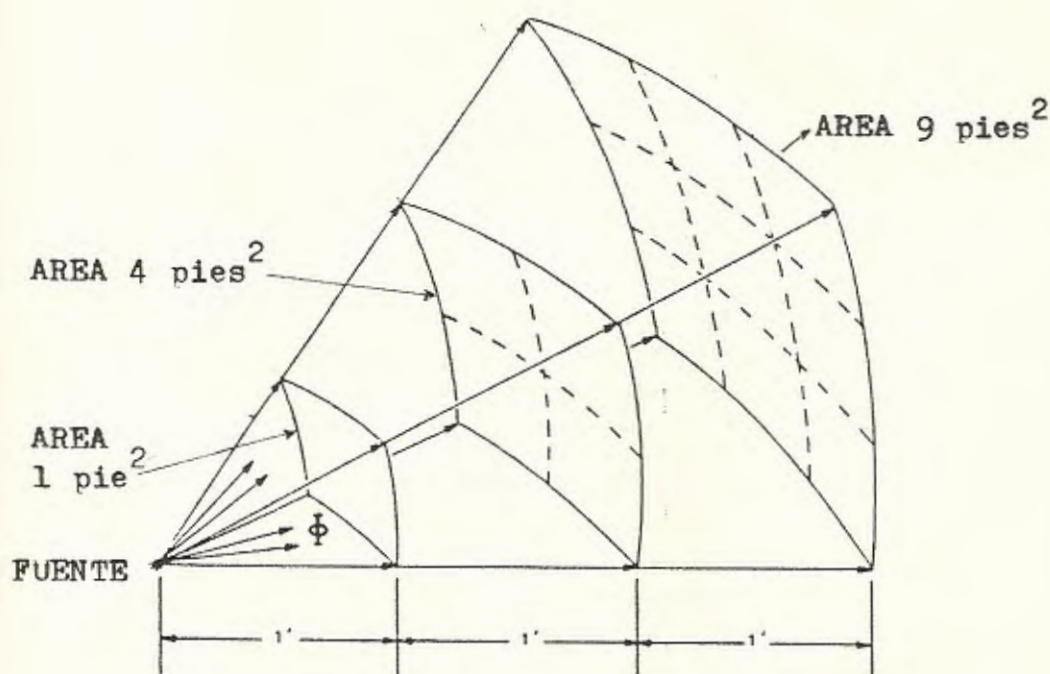


FIGURA 2.8

Divergencia. (Ley de los cuadrados de los inversos)

COHERENCIA.- La tercera característica que hace única a la luz láser es llamada coherencia y es posible detectar esta propiedad con nuestros ojos.

La coherencia es análoga a la propiedad eléctrica llamada fase.

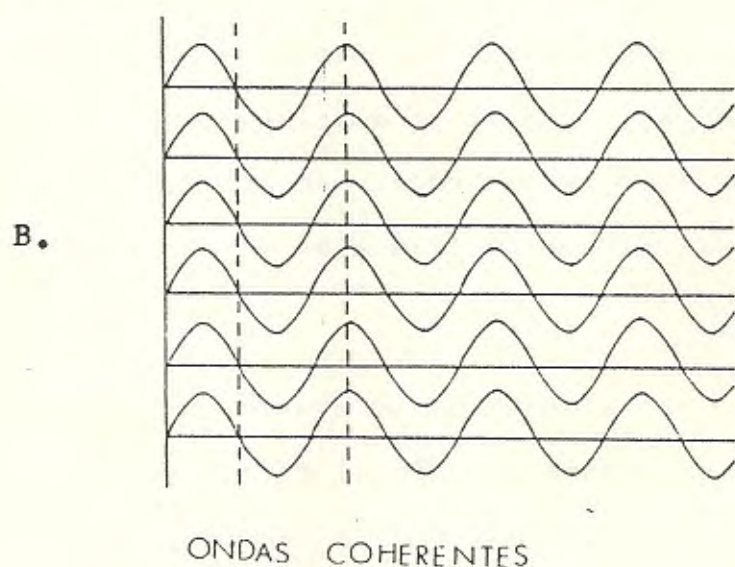
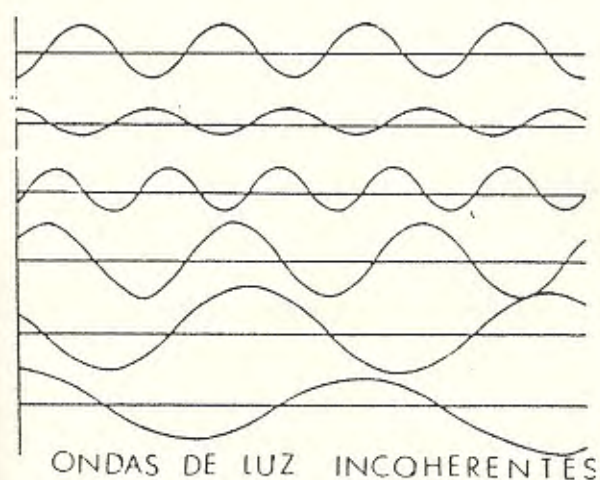


FIGURA 2.9 COHERENCIA

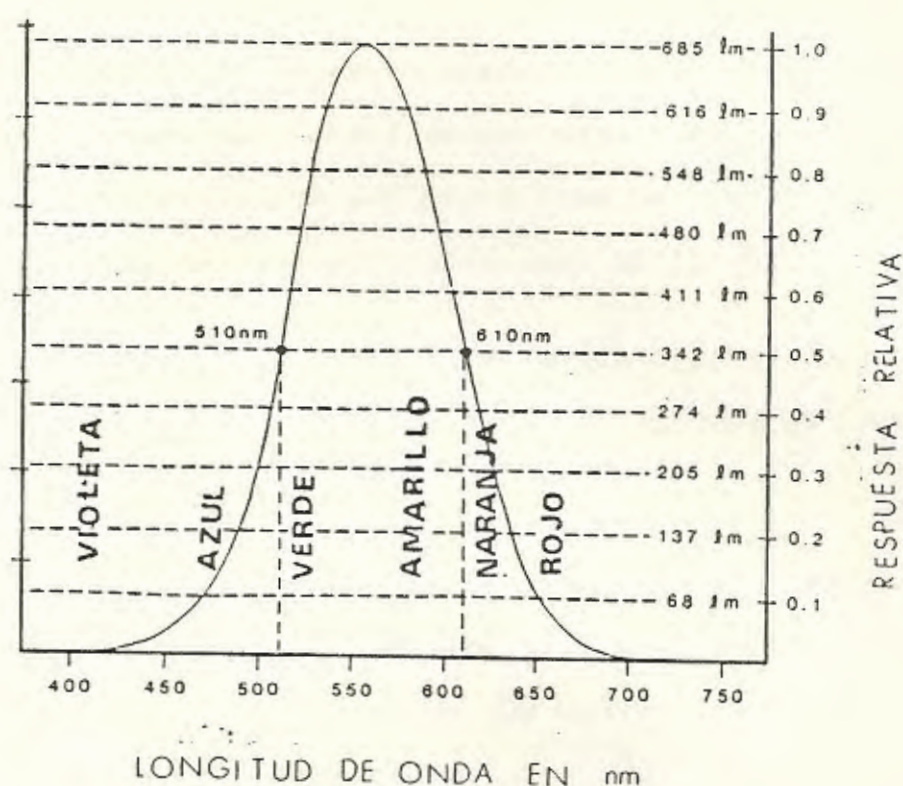
Cuando dos ondas están en fase, si aquí hay una cresta, entonces precisamente debajo de ella existe la cresta de la otra onda, y si aquí hay un valle, debajo de él existe un valle de la otra onda. Pero además, para que las ondas estén perfectamente en fase, las ondas deben ser iguales en longitudes de onda y frecuencia. La figura 2.9A muestra las ondas incoherentes de la luz generada en un bulbo de luz ordinario. En contraste, la figura 2.9B muestra las ondas de luz coherentes como las que son emitidas por un rayo láser.

2.1.3 MEDICIONES RADIOMETRICAS DE LA LUZ

Existen dos sistemas primarios para efectuar las mediciones de la luz. El primero de éstos es el sistema de medición fotométrica. Este método es el más antiguo para la medición de la luz y se basa en las características de visión normal del ojo humano. Las unidades de este sistema son la candelilla y la luminosidad.

El ojo responde de manera muy diferente a cada longitud de onda que la llega. La forma de la respuesta del ojo normal se muestra en la figura 2.10.

De lo mostrado en la figura se nota que el ojo



Figur 2-10

Respuesta del ojo normal

humano responde mejor a una longitud de onda de 555 nanómetros y disminuye a medida que esta longitud de onda aumenta o disminuye, por lo que no detecta longitudes de onda menores que 400 nanómetros o mayores que 700 nanómetros. Además se ilustra que la luz se percibe como teniendo diferentes intensidades dependiendo de la longitud de onda de la luz.

El segundo sistema de medición, la medición radiométrica, está basada en la respuesta de un detector que es sensitivo a cualquier longitud de

onda y por lo tanto puede dar una respuesta igual a todas las longitudes de onda. Así un Vatio de potencia puede ser medio como un Vatio prescindiendo de la longitud de onda de la luz.

ENERGÍA.- la energía por definición es la habilidad para hacer un trabajo. Una unidad de energía es el Joule.

El Joule es equivalente a la energía necesitada para levantar 0.738 libras, 1 pie. En realidad, un simple bulbo de luz de 100 Vatios emite 100 Joules de energía por segundo.

Algunos láseres pulsados pueden producir solamente microjoules por pulso, pero otros pueden producir cientos de Joules en un simple pulso.

En muchos casos, la energía producida por un láser se convierte en energía calorífica cuando ésta choca una superficie. La unidad de medición del calor es la caloría.

Cuando un Joule de energía luminosa se convierte enteramente en calor puede producir aproximadamente 0.239 calorías.

POTENCIA.- La potencia es la razón a la cual la energía se libera y es medida en Vatios. Para determinar la potencia simplemente se divide la

cantidad de energía liberada por la cantidad de tiempo que toma el liberarla.

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Energía}}{\text{Tiempo}}$$

Note que el tiempo es un factor importante en la ecuación para hallar la potencia. Dos láseres pueden liberar la misma cantidad de energía, pero el más rápido es el más potente.

IRRADIANCIA.- La irradiancia es definida como la potencia por unidad de área. Muchas veces se refiere a la irradiancia como la densidad de potencia y en otras ocasiones como la concentración de la potencia en la luz.

La fórmula para irradiancia es:

$$\text{Irradiancia} = \frac{\text{Potencia}}{\text{Área}}$$

Para calcular la irradiancia, primero se debe conocer el área que cubre el rayo. Como la mayoría de los rayos emitidos por un láser son circulares, ellos pueden producir una mancha circular cuando chocan una superficie en forma perpendicular y de aquí que se puede medir el diámetro del rayo para calcular su área. En las experimentaciones se

tendrá oportunidad de detallar el procedimiento para realizar estos cálculos.

EXITANCIA.- La exitancia es la medida de potencia por unidad de área que puede ser hecha en la apertura de salida del rayo en la fuente láser (sólamente en este punto).

Matemáticamente es representada con la ecuación:

$$\text{Exitancia} = \frac{\text{Potencia}}{\text{Área del orificio de salida del rayo}}$$

ÁNGULO SÓLIDO.- La ecuación que determina el ángulo sólido generalmente viene dada como:

$$W = A/r^2.$$



FIGURA 2.11

El Esteroradián

donde:

A es el área de la superficie curva

r es el radio de la esfera y,

W es el ángulo sólido en Esteronadianes

INTENSIDAD.- Es la medida de la potencia saliendo de la fuente láser por unidad de ángulo sólido o Esteronadián.

Matemáticamente se representa con la ecuación:

$$\text{Intensidad} = \frac{\text{Potencia}}{\text{Angulo sólido}}$$

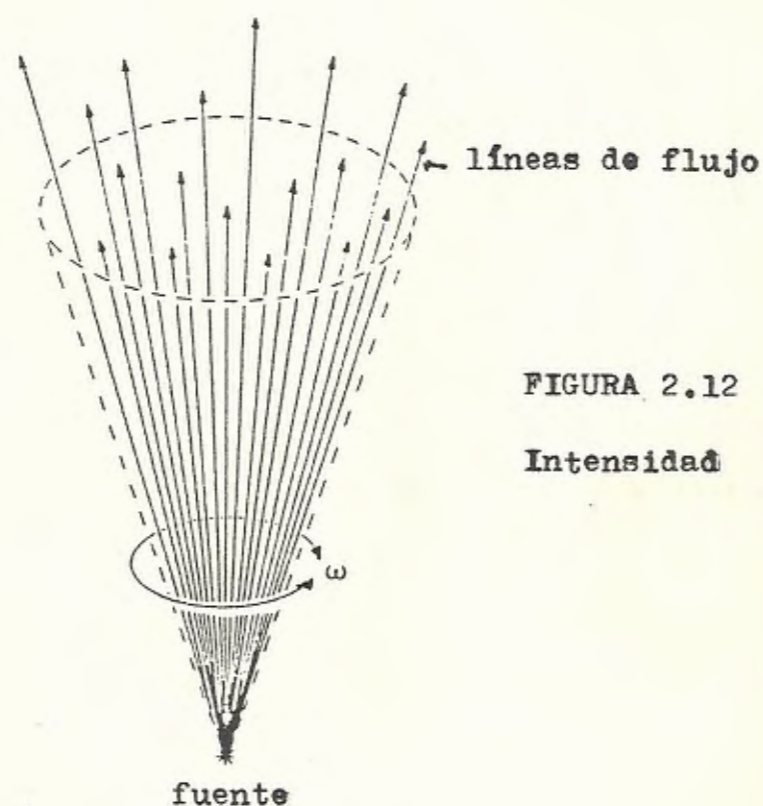


FIGURA 2.12

Intensidad

RADIANCIA.- La radiancia es la medición radiométrica que está estrechamente relacionada con nuestra sensación visual de brillo. Esta es una medición de la fuente de luz y al igual que la intensidad, no depende de la localización del blanco al cual apunta.

La radiancia es la medición más entendible de la fuente de luz porque combina las cantidades de potencia, ángulo sólido y área del rayo emitido.

Matemáticamente se define por la ecuación:

$$\text{Radiancia} = \frac{\text{Potencia}}{(\text{Ángulo sólido})(\text{Área de la apertura})}$$

La unidad asociada a la radiancia es el $\text{W}/(\text{sr})(\text{cm}^2)$.

2.2 EL LASER COMO UNA FUENTE DE LUZ

Como hemos visto, el láser es una fuente de luz coherente, monocromática y colimada. Veamos entonces como se genera la luz láser.

2.2.1 MECANICA CUANTICA. FISICA DE LA GENERACION DE LA LUZ

Para comprender los principios de operación del láser, es esencial una breve revisión de la teoría atómica.

/EL ATOMO.- El átomo es definido como la partícula más pequeña de un elemento que retiene todas las propiedades del mismo al entrar en un cambio químico, lo cual no sucede con las partículas cargadas. Estas partículas cargadas son llamadas iones, y pueden ser de dos tipos: positivos y negativos. Este hecho, al igual que las fuerzas de repulsión o atracción entre partículas, es muy conocido por nosotros a partir de cursos básicos de magnetismo y electricidad.

/Los átomos se han podido subdividir en partículas más fundamentales llamadas electrones, protones y neutrones.

No El electrón primeramente fue descubierto como la unidad básica de electricidad. Este es una partícula pequeña y negativamente cargada. El protón es una partícula positivamente cargada con la misma magnitud de carga que el electrón pero de mucho más tamaño. El neutrón es formado cuando un protón y un electrón son combinados y es de carga neutral.

/El núcleo del átomo consiste de un grupo de

partículas positivas y neutras, rodeado por una o más partículas negativas en órbitas.

La figura 2.13 muestra el arreglo de éstas partículas para un átomo de Boro.

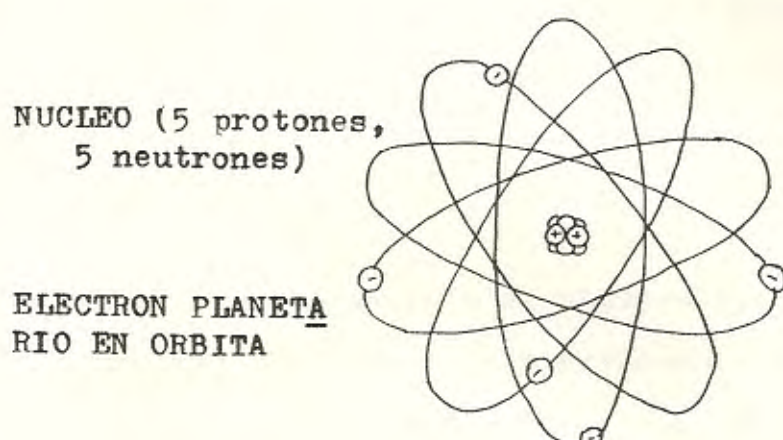


FIGURA 2.13

Átomo de Boro

Este concepto del átomo puede ser asemejado al sistema solar en el cual el sol es el cuerpo central alrededor del cual giran los planetas en sus órbitas.

En un átomo normal, el número de electrones planetarios es exactamente igual al número de protones en el núcleo, por tanto, la carga neta de un átomo es cero.

algunos conceptos importantes de física moderna o cuántica, los cuales aplican directamente al láser.

Max Planck era un profesor común cuando propuso la teoría de que si las moléculas de un material son excitadas, ellas podrían vibrar u oscilar multiplicando su cantidad unitaria de energía.

Esta cantidad unitaria de energía él la designó como un cuanto y la definió con una fórmula muy simple:

$$E = h f$$

donde:

E es la cantidad de energía (cuanto)

h es una constante (constante de Planck)

f es la frecuencia de vibración u oscilación producida por la molécula.

La cantidad de energía que se podía "generar" podía ser E, 2E, 3E, etc., pero nunca una cantidad fraccional de un cuanto.

La hipótesis de Planck que la energía del electrón oscilador responsable de la radiación era cuantizada o restringida en cierto múltiplo integral de una constante la cual ahora lleva su nombre, fue consistente con los resultados experimentales

encontrados posteriormente.

La hipótesis de Planck sobre el cuanto fue posteriormente explicada por Albert Einstein junto con otro fenómeno, el efecto fotoeléctrico. Al explicar este fenómeno, Einstein extendió el concepto del cuanto a la radiación. Él asumió que la luz interactúa con los electrones en un metal como si la luz fuera compuesta de cantidades discretas de energía.

NIVELES DE ENERGIA.- El átomo más simple es el del hidrógeno. El átomo de hidrógeno está compuesto de un núcleo que contiene un protón y un simple electrón planetario.

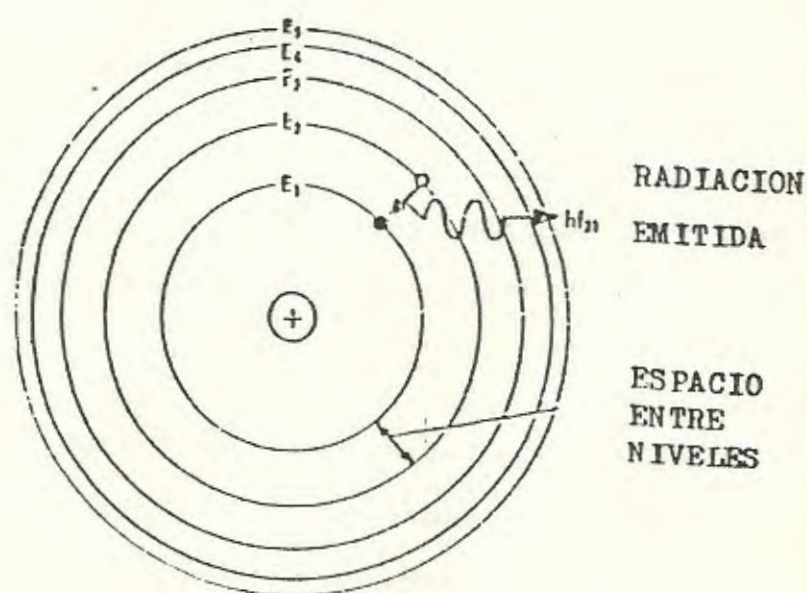


FIGURA 2.14 Átomo de hidrógeno

El electrón en el átomo de hidrógeno tiene masa y movimiento, y además, contiene dos tipos de energía.

En virtud de su movimiento, el electrón contiene energía cinética y por su posición posee también energía potencial. La energía total contenida por el electrón (cinética más potencial), es el factor que determina el radio de la órbita del electrón.

La órbita ¹E mostrada en la figura 2.14 es la más pequeña posible que el electrón del hidrógeno puede tener. Para que el electrón se mantenga en esta órbita, éste no debe ni ganar ni perder energía.

La energía luminosa existe en diminutos paquetes de energía llamados fotones.

Cada fotón contiene una cantidad definida de energía que depende del color de la luz que representa.

Si un fotón de suficiente energía chocara el electrón orbital de un átomo de hidrógeno, el electrón absorbería la energía del fotón. El electrón, el cual ahora tiene una cantidad de energía mayor que la normal, salta a una nueva órbita más alejada del núcleo. La primera nueva

órbita a la cual el electrón puede saltar tiene un radio 4 veces más grande que el de la órbita original.

Cada órbita puede ser considerada para representar un nivel de energía. Cabe anotar que el electrón solo no puede saltar a otra órbita. El electrón permanece en su órbita de energía más baja hasta que una cantidad suficiente de energía le sea disponible, en este momento, el electrón acepta la energía y salta a una órbita de las más alejadas de la serie.

Un electrón no puede existir en el espacio entre dos órbitas o niveles de energía. Esto indica que el electrón no acepta un fotón de energía a menos que éste contenga la energía suficiente para elevarlo hasta uno de los niveles de energía permisibles. La adición de calor, o el choque con otras partículas puede también causar el salto del electrón.

Una vez que el electrón ha elevado su nivel de energía a uno más alto, el átomo se denomina en estado excitado.

El electrón no puede permanecer en esta condición por más de una fracción de segundo antes de que irradie el exceso de energía y regrese a su órbita

de energía más baja.

Este regreso puede ser de un solo salto, o por etapas que dependen de la diferencia de niveles entre el estado excitado y el nivel de energía original.

Este modelo cuantizado para el átomo de hidrógeno fue propuesto por Niels Bohr en 1913 dando un nuevo estímulo a la teoría cuántica.

En los años siguientes a la introducción del modelo de Bohr, la teoría cuántica creció en significado y extensión.

Algunos de los rasgos distintivos del átomo de Bohr suministran una introducción muy útil a los conceptos importantes y necesarios para la descripción de la operación láser.

En la figura 2.15 se suministra un modelo de Bohr en términos de energía.

En éste, la energía es graficada sobre la escala vertical. Las líneas horizontales representan los niveles de energía, y las verticales conectantes representan ejemplos de saltos de electrones o transiciones.

La longitud de onda de la radiación emitida es

dada a lo largo de las líneas de transición, en Angstroms.

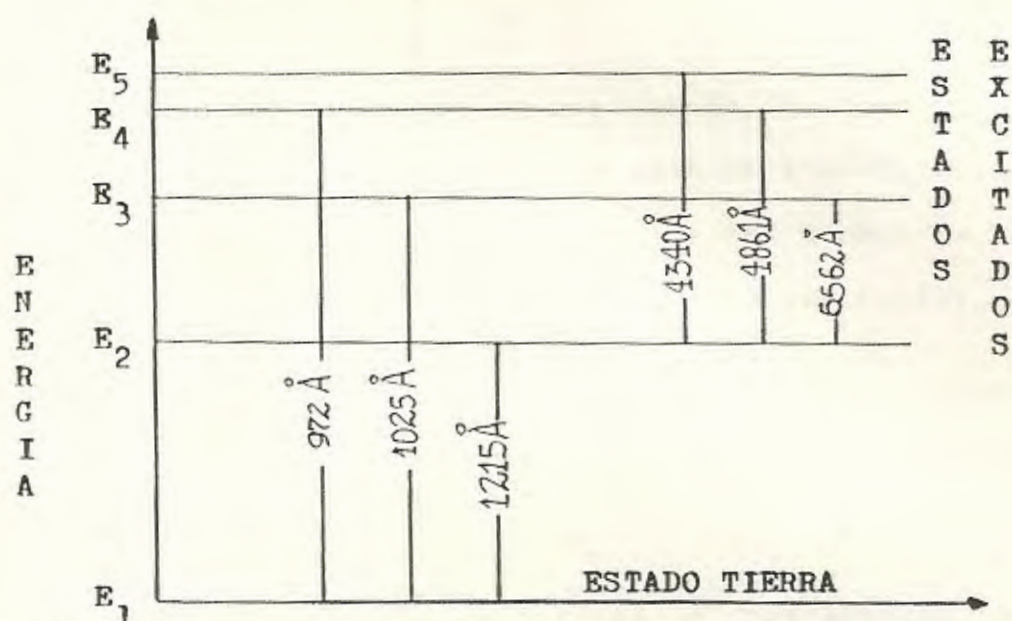


FIGURA 2.15 Diagrama de niveles de energía para el modelo de Bohr del átomo de hidrógeno

El nivel de energía E denota el nivel de energía más bajo, o estado tierra para un átomo. Los otros niveles (E_2, E_3 , etc.) representan estados excitados, esta representación se denomina diagrama de niveles de energía.

Para completar la figura se da un grupo de números que representan los principales tiempos de vida del electrón en cada uno de sus posibles estados, antes de que espontáneamente decaigan a su nivel tierra. En general, estos tiempos de vida en un cierto estado de energía son muy cortos, menos de 10^{-8} segundos. Sin embargo, existen niveles para

los cuales el tiempo de vida es considerablemente mayor. Estos niveles son conocidos como estados metastables.

Puede darse el caso de que cuando un átomo no se da por enterado de que otro está emitiendo, exista una falta de cooperación entre los átomos y la emisión resultante producida no sea coherente.

CAPAS Y SUBCAPAS.- En general, los electrones dentro de un átomo residen en grupos de órbitas llamadas capas.

Estas capas son elípticas y representan un intervalo fijo como en el concepto de Bohr que ya se estudió.

Así, estas capas son arregladas en pasos que corresponden a niveles de energía fijos.

Las capas y el número de electrones que se requieren para llenarlas, pueden ser determinados mediante el PRINCIPIO DE EXCLUSION DE PAULI. Este principio especifica que cada capa puede contener un máximo de $2n^2$ electrones, donde n corresponde al número de la capa, comenzando con la más próxima al núcleo. Por este principio, la segunda capa puede contener $2(2^2)$ u 8 electrones cuando está llena.

Ahora, para explicar la interacción de los fotones de energía con la materia, estudiaremos los fenómenos de absorción y emisión de radiación y luz.

ABSORCION.- Los átomos o agregados atómicos pueden contener solamente una cierta discreta cantidad de energía interna, pudiendo existir solamente en ciertos niveles de energía o estados.

Un átomo normalmente reside en su nivel más bajo posible llamado nivel tierra, a menos que se le ceda energía desde una fuente externa. De esta manera, un átomo puede ser excitado por la absorción de un fotón de energía. Sin embargo, la absorción puede tener lugar solamente cuando el fotón entrante tiene una energía E exactamente igual a la energía de separación de los niveles de aquel átomo.

EMISION EXPONTANEA.- Un átomo que ha absorbido energía extra, emite un fotón en un tiempo no determinado. Esto es, una colección de átomos excitados tienen un tiempo de vida predecible estadísticamente, pero el tiempo de vida de un átomo individual es no predecible. Este desprendimiento no predecible de fotones de energía por parte de un átomo es denominado

emisión espontánea. Esta ocurre al azar y la emisión de un átomo no se relaciona con la de otro. Este tipo de emisión ocurre en una fuente incoherente tal como un foco común.

La onda patrón de la luz de una fuente incoherente es análoga a las olas completamente irregulares producidas por la caída de agua de lluvia.

La emisión espontánea se ilustra en la figura 2.16

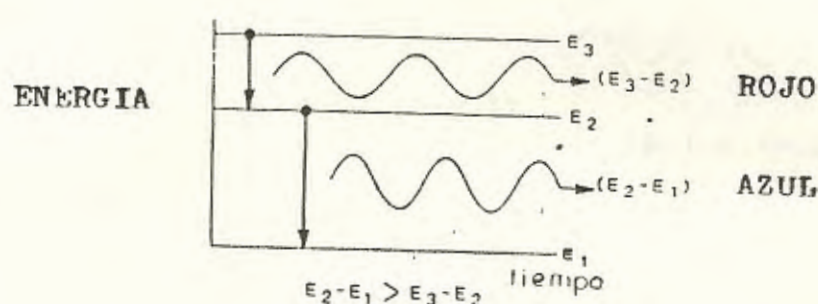


FIGURA 2.16

Emisión Espontánea

EMISION ESTIMULADA.- La emisión estimulada ocurre cuando un fotón con la longitud de onda correcta se acerca a un átomo excitado. Si el átomo excitado tiene una estructura energética semejante a la del fotón que se acerca, puede caer a un nivel más bajo liberando una cantidad de energía igual en todo aspecto.

Este tipo de emisión se observa en una fuente coherente tal como un láser. En contraste a la onda patrón en la emisión espontánea, la onda patrón en la emisión estimulada es parecida a las ondas en el agua, paralelas y regularmente espaciadas generadas y empujadas por un viento uniforme.

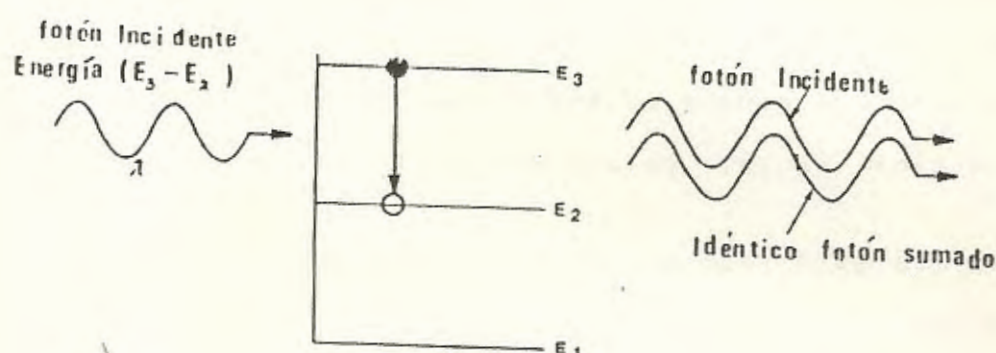


FIGURA 2.17

Emisión Estimulada

2.2.2 COMPONENTES ESENCIALES DEL LASER

Los componentes esenciales de cualquier láser son cuatro, a saber: el medio activo, el mecanismo de excitación, el mecanismo de retroalimentación y el ajustador de salida del rayo.

EL MEDIO ACTIVO.- El medio activo es la colección de átomos, iones o moléculas en el cual ocurre la

emisión estimulada. En este medio es donde se produce la luz láser.

El medio activo puede ser un material sólido, líquido, gaseoso o semiconductor. Generalmente, el láser toma su nombre desde el tipo de medio activo, por ejemplo, el láser de cristal de rubí tiene un cristal de rubí como medio activo.

La longitud de onda emitida por un láser es una función del medio activo. Esto es porque los átomos dentro del medio activo tienen sus propios niveles de energía a los cuales liberan fotones.

Ya que existen solamente ciertos niveles de energía dentro del átomo que pueden ser usados para mejorar la emisión estimulada, un medio activo puede producir un número limitado de longitudes de onda láser, y dos medios activos diferentes no pueden producir las mismas longitudes de onda.

La tabla I contiene una lista de los materiales más comúnmente utilizados en láseres y las correspondientes longitudes de onda que pueden producir.

MECANISMO DE EXCITACION.- El mecanismo de excitación es el dispositivo usado para energizar

el medio activo.

Existen tres tipos primarios de mecanismos de excitación. Estos son: óptico, eléctrico y químico.

Los tres suministran la energía necesaria al láser para aumentar el estado energético de un átomo, ión o molécula de su medio activo.

El proceso de impartir energía al medio activo es llamado "bombeo del láser".

a) EXCITACION OPTICA

Un mecanismo de excitación óptica utiliza energía luminosa de la misma longitud de onda para poder excitar al medio activo. La luz puede provenir de una gran variedad de fuentes que incluyen una lámpara flash, lámpara de arco continuo, otro láser y el sol.

Aunque la mayoría de éstos utilizan suministro de energía eléctrica para producir la luz, la energía eléctrica no es usada directamente para excitar los átomos del medio activo sino más bien para producir la luz o energía luminosa que se necesita para la excitación de los átomos del medio activo.

La excitación óptica es generalmente usada con

medios activos que no conducen la electricidad.

Este tipo de excitación es usada exclusivamente con láseres sólidos como el de rubí. La figura 2.18 muestra en forma esquemática un láser de sólido con una fuente de bombeo.

Cabe resaltar que el bombeo óptico con luz proveniente del sol es una alternativa muy interesante. La energía solar se puede focalizar mediante espejos curvados.

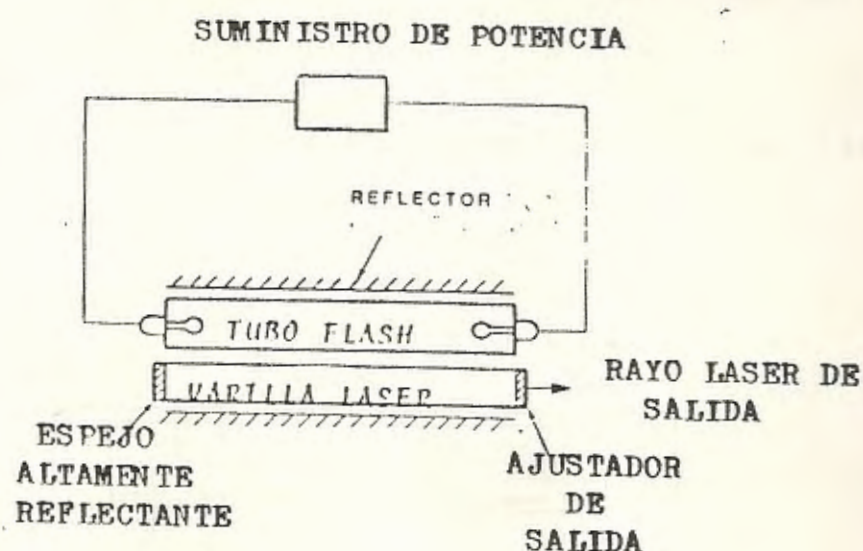


FIGURA 2.18

Bombeo Optico

b) EXCITACION ELECTRICA

La excitación eléctrica es el mecanismo de bombeo más utilizado cuando el medio activo puede acarrear una corriente eléctrica. Este es el caso de los materiales gaseosos y semiconductores.

Cuando un voltaje alto es aplicado a un gas, através del medio activo se mueve una corriente que acarrea electrones junto con energía. Los electrones al chocar los iones o moléculas del medio activo, ceden su energía dando como resultado la excitación del medio. El conjunto de átomos, iones y electrones dentro del medio activo se denomina plasma.

La figura 2.19 muestra esquemáticamente un láser de gas con excitación eléctrica.

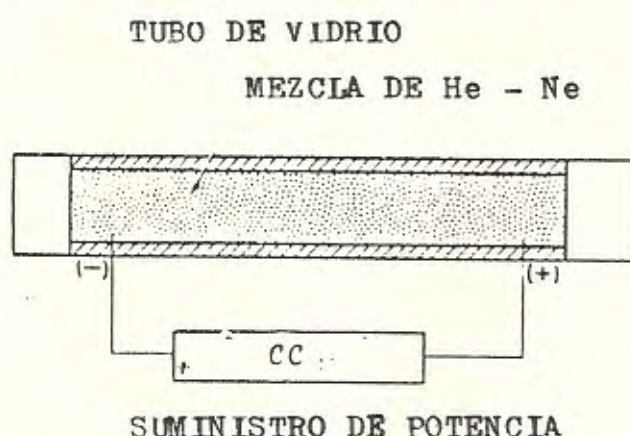


FIGURA 2.19

Excitación Eléctrica

c) EXCITACION QUIMICA

La excitación química se usa en un número limitado de láseres. Cuando se mezclan ciertos químicos se desprende energía a medida que se realizan los enlaces (reacciones exhotérmicas). Esta energía puede ser usada como fuente de bombeo o excitación. Este tipo de excitación es más comúnmente usada en láseres de fluoruro de hidrógeno, los cuales son dispositivos extremadamente potentes utilizados en un principio para medios de defensa militar e investigación. La atracción de su uso en operaciones militares se debe a su alta relación potencia/peso.

EL MECANISMO DE RETROALIMENTACION.- El mecanismo de retroalimentación en un láser está constituido por espejos a cada extremo del medio activo. Estos espejos reflektan la luz producida en el medio activo de un lado a otro a lo largo de su longitud axial.

Cuando los espejos son alineados en forma paralela uno al otro, ellos forman una cavidad resonante para las ondas de luz que se producen dentro del láser.

La amplificación de la luz ocurre a medida que las ondas avanzan y regresan chocando los espejos o

mecanismo de retroalimentación. En otras palabras, para obtener el máximo de amplificación, hay que mantener la Emisión Estimulada en un máximo, lo cual se logra al "mantener" la luz dentro del medio amplificador por la distancia más grande posible. En efecto, los espejos incrementan la distancia que viaja la luz através del medio activo.

EL AJUSTADOR DE SALIDA.- El mecanismo de retroalimentación describió cómo mantener toda la luz dentro del resonador o cavidad láser, pero para producir un rayo de salida, se debe permitir que una porción de la luz escape de la cavidad, sin embargo, este escape debe ser controlado.

Este control es más/comúnmente realizado mediante el uso de un espejo parcialmente reflectivo, en el mecanismo de retroalimentación. La cantidad de paso de luz requerida varía con el tipo de láser. g

Los láseres de alta potencia pueden usar como poco una reflectancia del 35% y el restante 65% se transmite através del espejo, convirtiéndose en el rayo láser que se emite.

Un láser de baja potencia puede requerir una reflectividad a la salida del espejo tan grande como 98%, permitiendo que se transmita sólo el 2%

restante.

El espejo de salida que se diseña para transmitir un porcentaje dado de luz láser de la cavidad entre los espejos de retroalimentación se denomina ajustador de salida. X

CAPITULO III

AMPLIFICACION DE LA LUZ POR EMISION ESTIMULADA DE RADIACION

3.1 BASES PARA LA ACCION LASER

Ya que tenemos introducidos los componentes de un láser, veamos lo que ocurre durante la producción de un rayo de luz láser.

3.1.1 EL PROCESO LASER



La acción que genera la luz láser tiene lugar en el interior de un láser en unos pocos nanosegundos, es decir, ocurre tan rápidamente que aparece como instantánea.

Para ayudar a visualizar lo que sucede en el láser, la figura 3.1 explica el mecanismo de excitación y Emisión Estimulada en un láser de estado sólido tipo varilla.

La figura 3.1A muestra un medio activo después de que tomó lugar la excitación. Note que, virtualmente, todos los átomos en el medio activo están en el nivel tierra. Sin embargo, un

porcentaje muy pequeño de átomos en cualquier material pueden estar excitados una vez que el material esté a una temperatura por encima del cero absoluto.

Cuando se bombea energía dentro del medio activo por un mecanismo de excitación mucho de ésta es absorbida en el medio activo, como se muestra en la figura 3.1B.

La energía bombeada que se almacenó en los electrones es liberada y el electrón decae espontáneamente al nivel de energía más bajo y estable. Algunos de los fotones liberados por la emisión espontánea abandonan el medio activo por los lados (no por los espejos), mientras que otros actúan como excitadores para seguir produciendo emisión estimulada.

La figura 3.1C muestra este proceso ocurriendo en dos diferentes localidades marcadas como "X" y "Y". En la posición X, el fotón original es emitido hacia el lado del medio activo pasando cerca de otro átomo. Resultado de esto es la Emisión Estimulada del átomo. Después de la Emisión Estimulada, ambos fotones viajan en la misma dirección pero pronto dejan el medio activo debido a su direccionamiento. Sin embargo, el fotón emitido en

la posición Y, viaja paralelamente al eje del medio activo. Esto permite que el fotón viaje la mayor distancia através del medio y así dispare un mayor número de emisiones estimuladas.

Es importante notar que el espejo de salida debe estar perfectamente perpendicular al eje del medio activo. De no ser así, el rayo reflejado no estaría en el eje y podría "caminar" hacia afuera del medio activo.

Cuando los espejos están alineados la luz reflejada sirve para disparar más emisión estimulada dentro del medio activo amplificando la onda reflejada.

Los fotones liberados por la Emisión Estimulada son coherentes, monocromáticos y viajan en la misma dirección. La avalancha continúa a medida que las ondas de energía siguen adelante através del medio activo. Un espejo altamente reflectivo regresa el rayo hacia el medio activo con poca o nada de pérdidas.

Como se muestra en la figura 3.1E, la avalancha de fotones se incrementa rápidamente a medida que éstos viajan através del medio activo. La onda con energía incrementada sale del medio amplificante y choca el espejo de salida.

Este espejo permite que un determinado porcentaje de la luz salga como el útil rayo láser. El remanente de la luz es reflejado al interior del medio activo.

Todos los pasos en este proceso ocurren simultáneamente y así la luz de salida a través del ajustador es continua, más bien que pulsada como se indicaba en las superficiales explicaciones anteriores.

A medida que la energía es bombeada dentro del láser y los átomos permanecen en un estado excitado, el proceso puede continuar.

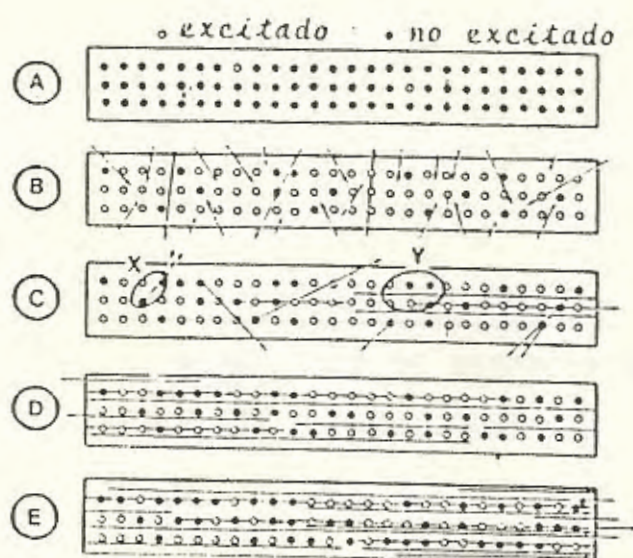


FIGURA 3.1 PROCESO LASER

3.1.2 POPULACION INVERTIDA

En la sección anterior mencionamos que unos pocos átomos de cualquier material pueden estar en niveles de energía excitados si la temperatura del material es superior al cero absoluto. Sin embargo, la mayoría de los átomos se encontrarán en el nivel de energía más bajo o más estable llamado nivel tierra. Un gráfico representativo de la distribución normal de población se muestra en la figura 3.2

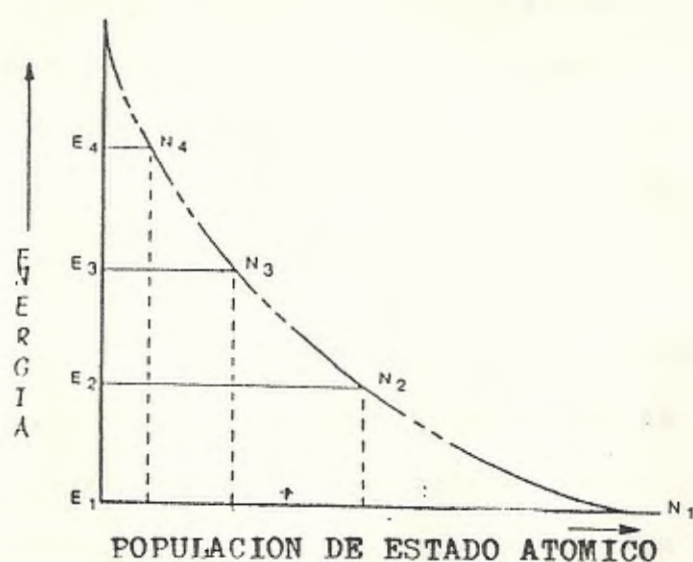


FIGURA 3.2

Distribución normal de Población

El eje vertical de este gráfico muestra los niveles de energía en forma creciente y el horizontal muestra el número de átomos que normalmente existen en los estados de energía.

Puede verse que los estados excitados de mayor energía contienen más pocos átomos que los estados de menor energía. Un átomo con una distribución como la mostrada en la figura anterior no podría ser usado como un medio activo para láser.

El gráfico en la figura 3.3 representa la distribución de población de un átomo que puede ser usado como un medio activo para láser. Existe un nivel de energía excitado el cual tiene una población más grande que la del nivel de energía debajo de él. Esta condición es considerada no normal aunque ocurre en muchos átomos.

Esta condición es conocida como población invertida y el nivel en que ésta ocurre es llamado estado metastable. Esto quiere decir que es semiestable. Este es más estable que los niveles de energía que tienen menos población pero no es tan estable como el estado tierra.

Los átomos permanecen en un estado de energía metastable por mucho más tiempo que en cualquier otro nivel de energía excepto el nivel tierra.

Este tiempo adicional permite que la población invertida se maximice cuando se aplica energía.

La importancia de la población invertida puede explicarse si consideramos otra vez la figura 3.10.

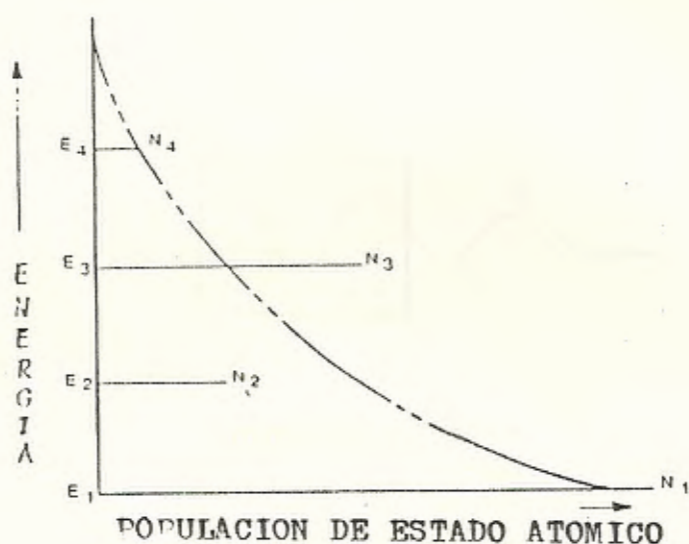


FIGURA 3.3

Inversión de población entre E_2 y E_3

Si un fotón se pone en movimiento através del medio activo antes de que halla sido elevado al estado de energía excitado, el fotón es absorbido.

Además, la onda de energía viajando a través de un medio activo no excitado es absorbida y la intensidad de la energía es reducida como se muestra en la figura 3.4

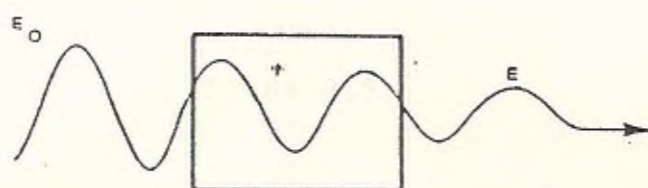


FIGURA 3.4

Atenuación del rayo de luz

La amplificación de la onda de luz es importante si los átomos no están en estado excitado porque la absorción del fotón de energía toma lugar. Sin embargo, como se muestra en la figura 3.5 con los átomos en su estado excitado, la onda de luz puede ser amplificada por la Emisión Estimulada.

Esta es necesaria para tener más átomos en el estado excitado que en el estado de energía más bajo, así que la amplificación de la luz es más probable que la absorción de la luz.

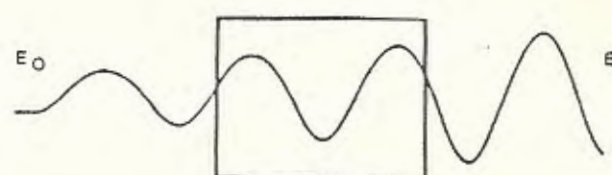


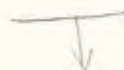
FIGURA 3.5

Amplificación de la onda de luz

En conclusión, para que un láser funcione, la emisión estimulada debe predominar sobre la absorción en todo el medio láser y para que esto ocurra, el número de átomos en estado excitado debe ser mayor que el de los dejados en el estado más bajo. Mediante bombeo de energía se puede producir una pequeña población invertida.

En pocas palabras se define a la población invertida como el inverso de la razón normal de átomos excitados a no excitados.

3.1.3 GANANCIA DEL AMPLIFICADOR



La amplificación de la luz ocurre a través de la emisión estimulada en el medio activo. Cuando los átomos han sido bombeados a un estado excitado, estos provocan la inversión de población y un simple fotón inicia la emisión estimulada que da como resultado la amplificación de la luz.

En este proceso, el medio activo es el agente amplificante. La cantidad de amplificación que ocurre depende de muchos factores incluyendo las características de los átomos tales como niveles de energía, la longitud del medio activo y la distancia que el fotón viaja dentro del medio activo. Puede decirse que la ganancia del amplificador láser es el porcentaje de incremento de energía del rayo a medida que éste hace un paso completo a través del medio activo. En otras palabras, la ganancia del amplificador es igual a la potencia de salida dividida para la potencia de entrada.

Cuando las potencias de entrada y salida son desconocidas, se puede calcular la ganancia a partir de la ecuación.

$$G_a = e \propto x$$

donde:

G_a = ganancia del amplificador

e = 2.718 (valor numérico constante)

α = coeficiente de ganancia y,

x = longitud del medio activo.

En esta ecuación el coeficiente de ganancia es un valor numérico que depende de las características de los átomos dentro del medio activo. Este valor es siempre menor que uno.

La longitud del medio activo es medida en centímetros y es la longitud del medio activo y no la distancia entre el espejo altamente reflectante y el ajustador de salida.

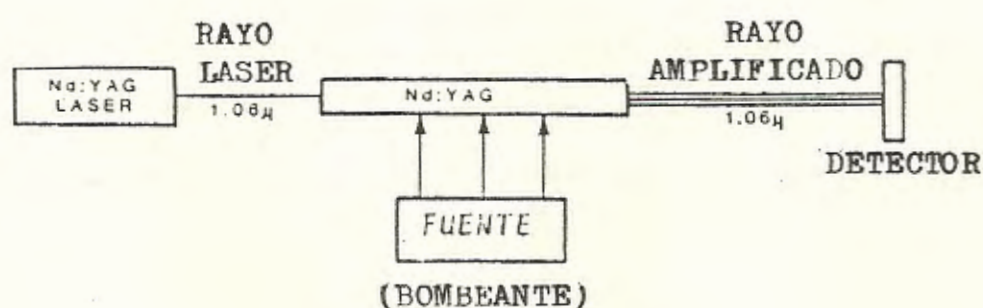


FIGURA 3.6

Ganancia del Amplificador

3.1.4 PERDIDAS DEL AMPLIFICADOR

Es verdad que un láser amplifica luz, pero también que ésta luz oscila entre el espejo altamente reflectante y el ajustador de salida.

Mientras que el medio activo es la única fuente para la amplificación de la luz en el interior del resonador, existen cinco fuentes de pérdidas del amplificador, éstas son:

1. DESALINEAMIENTO DE LOS ESPEJOS.- Los espejos pueden parecer alineados pero si ellos no están "perfectamente alineados" ocurre retroalimentación sólomente parcial. El desalineamiento causa pérdidas através de interferencia destructiva así como de "ida hacia afuera" del rayo.

2. COMPONENTES OPTICOS SUCIOS.- Las superficies ópticas que tienen material extraño sobre ellas causan que la luz sea absorbida o dispersada por éstos materiales.

3. PERDIDAS DE REFLEXION.- Cada vez que la luz pasa desde un material a otro, se refleja luz desde la interface de las dos superficies.

Los extremos del tubo sellado que contiene el gas y los extremos pulidos de un cristal Itrio-

aluminio-granate son ejemplos típicos de áreas e interfaces donde pueden ocurrir pérdidas. Estas superficies ópticas pueden ser colocadas en ángulo o cubiertas con coberturas antireflectoras para minimizar pérdidas.

4. PERDIDAS POR DIFRACCION.- Cuando la luz pasa através de una apertura pequeña, ésta se esparce.

Como el rayo disperso es reflejado, una porción de él no llega en la dirección correcta al amplificador en el siguiente paso. Esto resulta en pérdidas de algo de la luz.

5. EL RAYO DE LUZ LASER DE SALIDA.- Aunque es planeado y deseado, éste es todavía una porción de luz que es perdida desde la cavidad láser.

La ley de conservación de energía establece que la ganancia y pérdida de un amplificador deben ser iguales.

En otras palabras, la suma algebraica de todas las pérdidas y ganancias dentro del resonador láser debe ser igual a cero.

Dentro de cualquier oscilador láser, una cierta cantidad de energía debe ser bombeada dentro del sistema para vencer las pérdidas. Esta mínima cantidad de energía de entrada lleva al oscilador

al punto donde la ganancia producida por el medio activo es igual a las pérdidas, sin tener algún exceso para formar el rayo de salida.

Esta condición es conocida como la entrada de la acción láser o ganancia de entrada. Si se logra la salida de un rayo láser el sistema debe tener suficiente energía bombeada para vencer la ganancia de entrada.

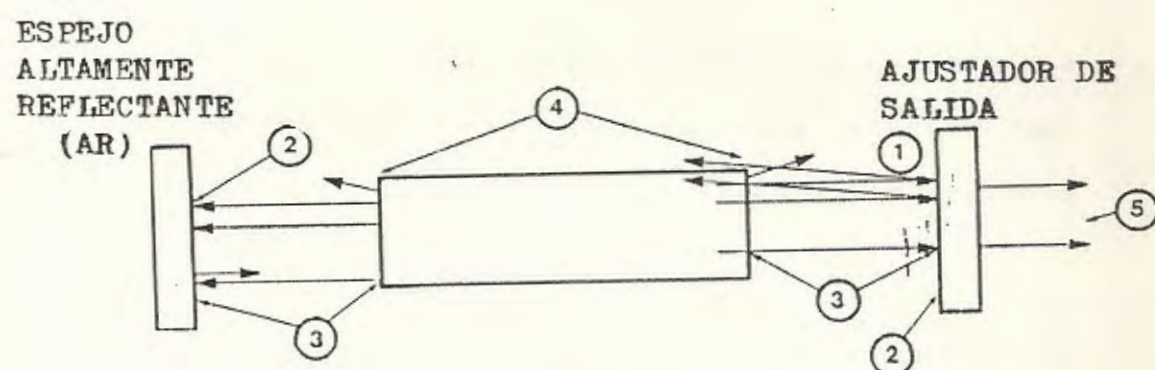


FIGURA 3.7

Pérdidas del Amplificador

3.2 SALIDAS DEL LASER COMO UNA FUNCION DEL TIEMPO

Por diseño, la salida de todos los láseres no es constante. Diferentes aplicaciones requieren diferentes tipos de salidas.

La salida desde un láser puede ser alterada mediante cambiar su amplitud sobre un período de tiempo. A continuación anotaremos los diferentes tipos de salida y sus relaciones con el tiempo.

3.2.1 SALIDA CONTINUA

Los láseres que están diseñados para producir un rayo de amplitud constante se denominan láseres de onda continua; emiten potencias de milivatios, Vatios o Kilovatios.

En la figura 3.8 se muestra un gráfico de potencia de salida desde un láser como una función del tiempo. La curva indica que la potencia es una línea recta.

Variaciones en la línea recta indicarían que el láser no es estable. Este gráfico muestra la salida de un láser ideal. Todos los láseres tienen algún grado de variación aunque éste es usualmente muy pequeño.

La potencia se relaciona con la energía por la siguiente ecuación:

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Energía}}{\text{Tiempo}}$$

El área del rectángulo bajo la línea del gráfico Potencia VS. Tiempo representa la energía transmitida por el láser.

Este concepto puede ser extendido a las curvas de potencia las cuales no son líneas rectas como las de un láser de onda continua.

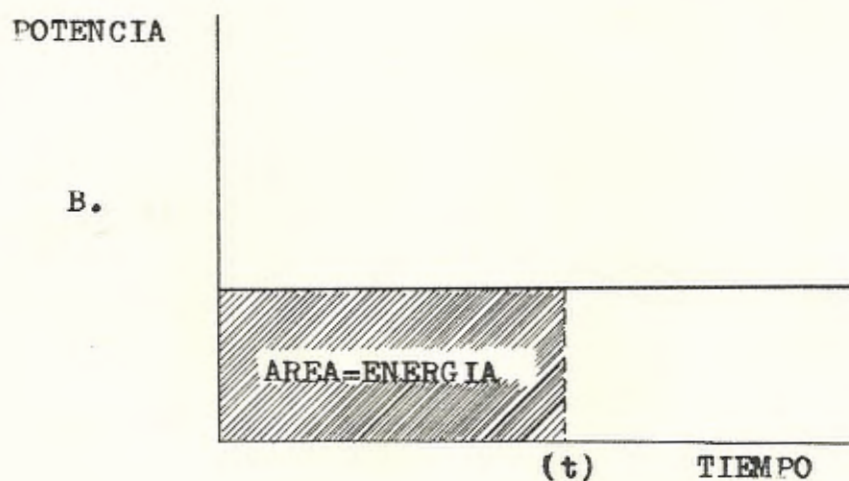
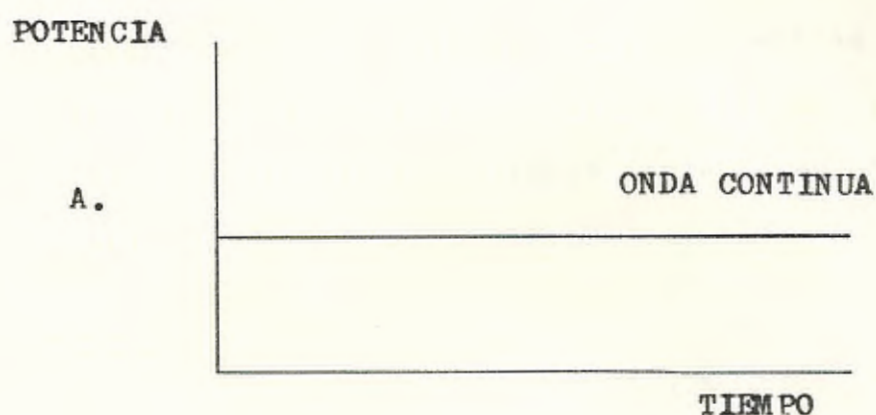


FIGURA 3.8

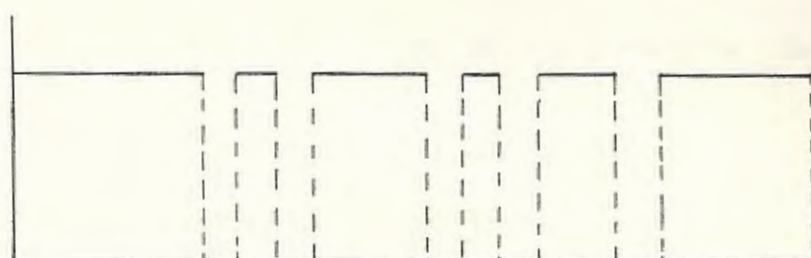
Salida Continua

3.2.2 ONDA CONTINUA MODULADA

En algunas aplicaciones, especialmente las que se relacionan con comunicaciones de datos, el láser es muchas veces modulado. Esto se hace encendiendo y apagando rápidamente el láser (modulación del pulso), o mediante variar la intensidad del rayo (modulación de la potencia). La figura 3.9A muestra la relación de potencia VS. Tiempo para un láser de onda continua modulada mientras que la figura 3.9B muestra la misma relación para un láser en el cual la potencia (intensidad) del rayo varía.

POTENCIA

A.



POTENCIA

B.

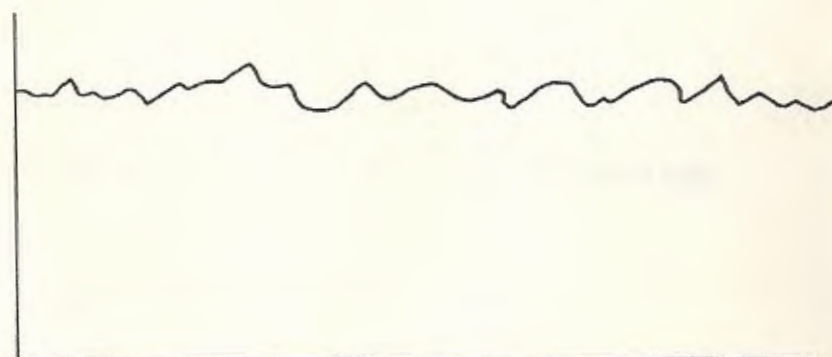


FIGURA 3.9 La onda continua modulada

3.2.3 SALIDA NORMAL PULSADA

Con ambas salidas, onda continua y potencia modulada, el mecanismo de excitación debe estar bombeando continuamente energía dentro del medio activo. Esto no es necesario en los láseres de pulso normal. La figura 3.10 es un diagrama de un láser de salida normal pulsada.

El mecanismo de excitación, en este caso, una lámpara flash, es pulsado y el rayo láser es producido para un corto tiempo mientras la energía bombeada es lo suficientemente grande para mantener el medio activo por encima de la ganancia de entrada.

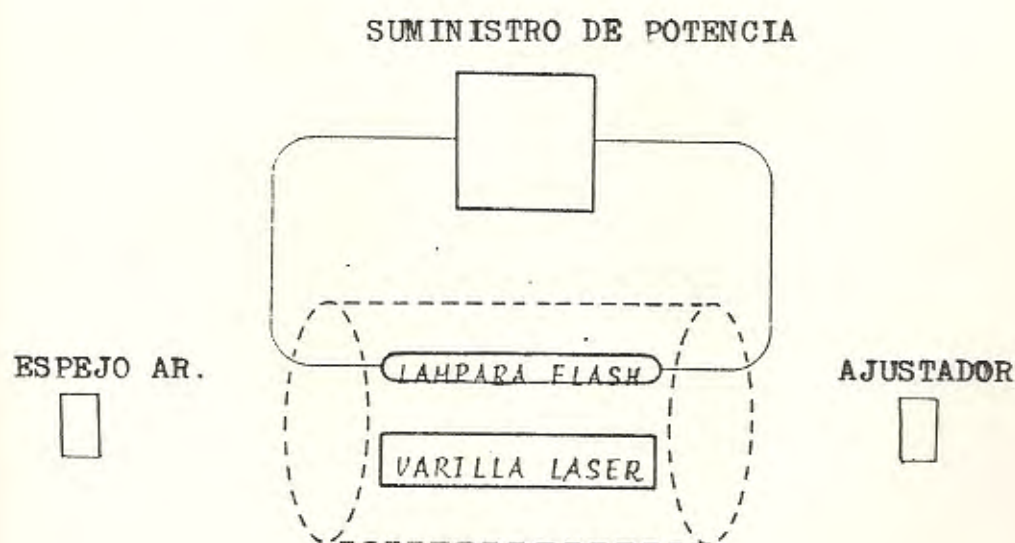


FIGURA 3.10

Laser normal pulsado

La figura 3.11 es un gráfico que muestra la relación potencia VS. Tiempo para un láser normal pulsado. El tiempo de duración del pulso se denomina duración del pulso o ancho de pulso, y es medido en los dos puntos de potencia media de la curva, es decir, en los puntos de la curva en los cuales la potencia es igual a la mitad de su potencia de salida pico. Para láseres normal pulsados, el ancho de pulso típicamente varía desde 0.1 a 10 milisegundos.

La forma del pulso puede ser cambiada para adaptar el láser a diferentes aplicaciones.

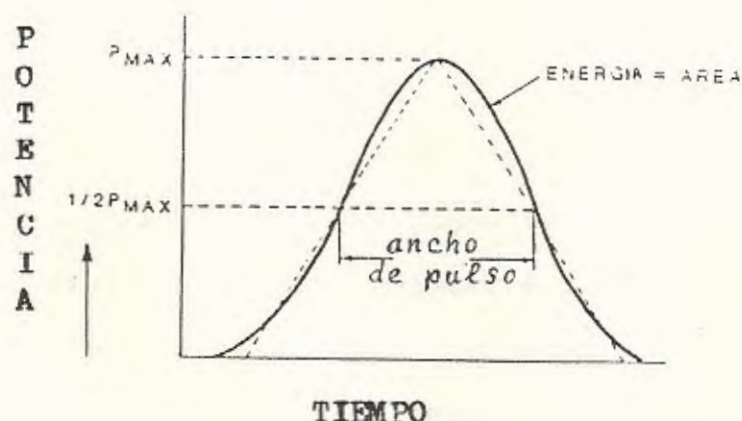


FIGURA 3.11

Curva de energía para un láser normal pulsado

3.2.4 CONMUTACION "Q"

El medio activo de un láser es contenido en una cavidad resonante dentro del láser. La figura de mérito de la cavidad resonante se denomina Q y se define como la energía promedio almacenada en el resonador dividida por la energía disipada por ciclo. Los láseres pueden ser hechos para producir pulsos de alta energía mediante la alteración del Q de la cavidad resonante.

Esto se hace usando un conmutador de Q .

El interruptor o conmutador Q es un dispositivo que permite que un medio activo sea bombeado hasta que contenga la máxima cantidad de energía. Esto se hace mediante conmutar la acción láser encendiéndolo y apagándolo.

Ambos mecanismos de excitación, el pulsado o el continuo, pueden ser Q -conmutados. Los conmutadores de Q fueron más comúnmente utilizados en un principio por los láseres de medio activo sólido, pero también pueden ser operados de ésta manera los láseres de gas. La figura 3.12 es un diagrama que esquematiza un láser con conmutador Q . Nótese que el conmutador Q se ha colocado entre los espejos.

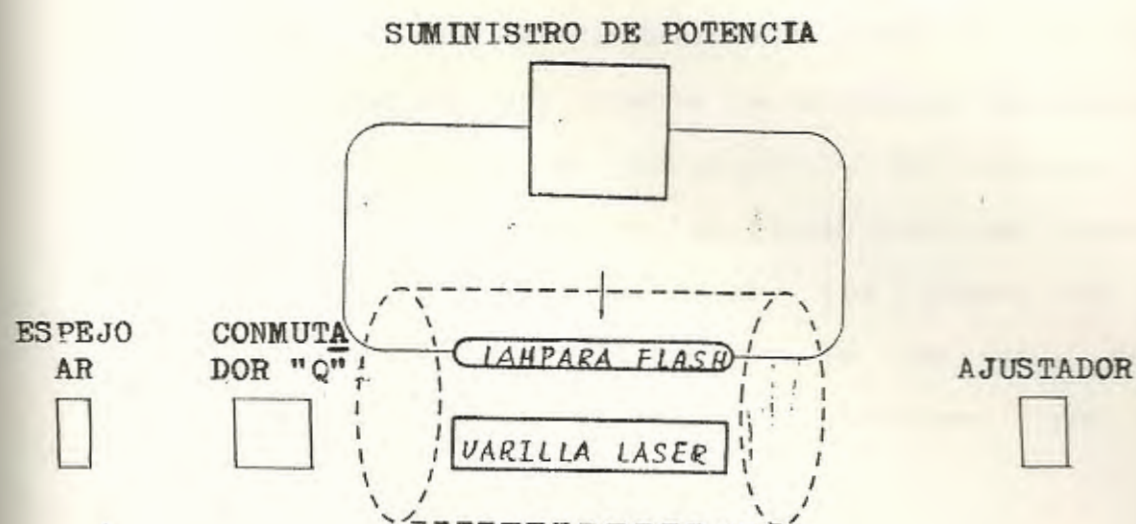


FIGURA 3.12

Láser con conmutador de "Q"

La conmutación Q es usada para producir pulsos láser muy cortos de alta potencia. Pulsos típicos de láseres Q-conmutados varían desde 10 nanosegundos a 100 microsegundos en duración.

El interruptor Q mismo, es un interruptor de alta velocidad óptica que se coloca en la cavidad resonante del láser, cerrando el conmutador Q se frustra el mecanismo de retroalimentación dentro del láser mediante parar la reflexión entre los espejos del láser. Esto, naturalmente, detiene la salida del láser.

Sin embargo, la energía de excitación aún puede

ser bombeada hacia el interior del medio activo mientras que el conmutador Q está cerrado. La continuación del bombeo causa una extremadamente alta inversión de población. En efecto, la energía se almacena en los átomos para uso futuro tal como en un capacitor. Los átomos en el interior del medio activo se excitan, pero la emisión estimulada se previene por el conmutador Q.

El conmutador Q se abre cuando la población invertida alcanza su máximo, esto es, cuando en los átomos del medio activo se ha almacenado la máxima cantidad de energía, tomando ahora lugar la emisión estimulada a una razón tremenda. Como resultado, la potencia del pulso de salida se incrementa rápidamente hasta un valor extremadamente alto.

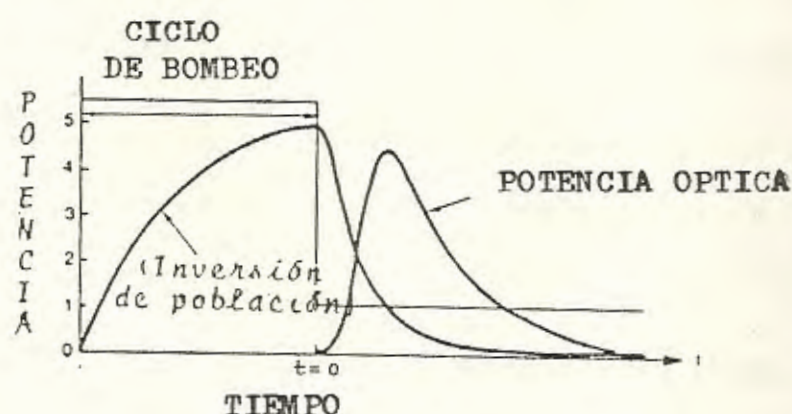


FIGURA 3.13

Secuencia de eventos durante una conmutación de "Q"

3.2.5 MODO BLOQUEADO

En algunos aspectos, el modo bloqueado en un láser es similar a la conmutación Q (entre los espejos del láser se coloca un componente adicional).

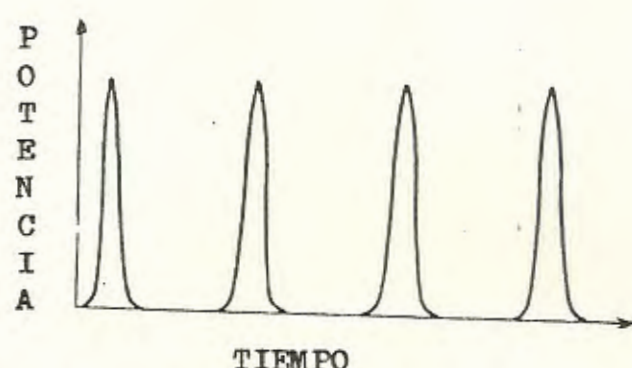


FIGURA 3.14 Salida de un laser con modo bloqueado

En un modo bloqueador, sin embargo, unos obturadores abren y cierran en forma sincronizada durante el tiempo que le toma al pulso de luz completar una vuelta de recorrido dentro del resonador.

El ancho del pulso es extremadamente corto, comúnmente en el rango de picosegundos o nanosegundos.

Los pulsos de modo bloqueado pueden producirse en láseres con bombeo continuo o pulsátil. Los pulsos de salida desde estos láseres pueden ser en pulso simple o una fila de pulsos rápidos. Puesto que el

CAPITULO IV

CLASIFICACION DE LOS LASERES

Como vimos cuando tratamos los tipos de medios activos, los láseres se clasifican dependiendo del material de este medio en: láseres de gas, láseres de estado líquido, láseres de estado sólido, láseres de químicos y láseres de semiconductores. En este capítulo anotaremos las características principales de cada tipo.

Cabe anotar que existen otros tipos de clasificaciones tales como según su propósito en: láseres químicos y láseres de potencia; y, según el tipo de excitación en ópticamente bombeados, de bombeo químico, de bombeo electrónico, con otro láser, etc., aunque la más general es la inicialmente propuesta.

4.1 LASERES DE GAS

Existen ciertas características comunes a todos los láseres de gas que son muy interesantes, las cuales procedemos a detallar.

Generalmente hablando, existen tres clases de láseres de gas: atómico, molecular y de iones.

El láser de He-Ne es un ejemplo de láser atómico, su

medio activo consiste de dos gases que no interactúan para formar una molécula.

El láser de CO₂ es un láser molecular porque la acción láser toma lugar en el interior de una molécula de CO₂.

El láser de Argón, por otro lado, es un láser de iones porque la acción láser toma lugar en el Argón puro que se energiza cuando se desprenden electrones del átomo para formar iones.

Son muy utilizados como herramientas quirúrgicas e industriales.

EL FLUJO DE CORRIENTE EN UN MEDIO GASEOSO.- Bajo condiciones normales, un gas es eléctricamente neutro, esto es, no existen electrones libres en la mezcla gaseosa y la corriente no fluye en estas condiciones.

Entonces, para inducir flujo de corriente, el gas debe ser ionizado dando como resultado el plasma rico en iones positivos (+) y electrones libres.

Aunque todos los láseres de gas no operan exactamente en la misma manera, los principios de ionización son idénticos en todos los casos. Generalmente, el medio activo gaseoso se mantiene en el tubo a una presión relativamente baja.

El tubo puede ser hecho de Pyrex o cuarzo en láseres de

baja potencia o de óxido de Berilio en el caso de láseres de alta potencia.

La ionización del gas se debe a la aplicación de energía desde una fuente externa al plasma. Esta ocurre porque la placa positivamente cargada del extremo derecho del resonador despoja a los átomos del gas de sus electrones, creando iones. Luego éstos iones arrancan electrones de los átomos adyacentes. El cátodo negativamente cargado también suministra electrones a la mezcla. Los electrones libres que resultan de la ionización se mueven hacia la placa positivamente cargada o ánodo, mientras que los iones positivos se mueven hacia el cátodo negativamente cargado. Este movimiento constituye el flujo de corriente.

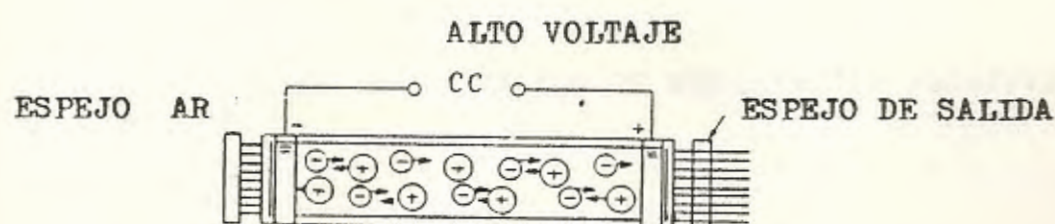


FIGURA 4.1

Láser típico de gas

El voltaje debe ser aplicado al ánodo y al cátodo y debe suministrar la energía suficiente para romper el enlace entre el núcleo y sus electrones orbitantes. La cantidad de energía que se requiere para liberar al electrón de cada átomo se denomina ionización potencial.

Después que se alcanza la ionización potencial, el gas se descompone en iones positivos y electrones libres y la corriente fluye fácilmente.

Después de que ha ocurrido la ionización, un voltaje muy pequeño puede producir una corriente muy alta en el gas.

La figura 4.2 muestra la relación entre la corriente y el voltaje en un láser de He-Ne.

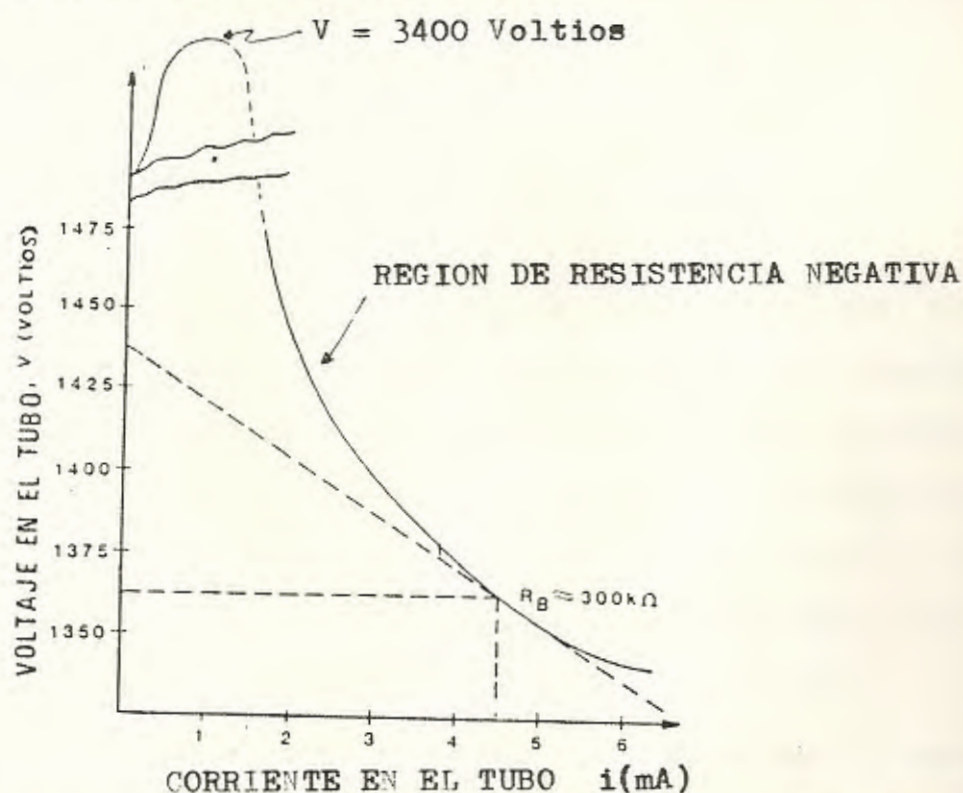


FIGURA 4.2 RELACION CORRIENTE VS. VOLTAJE EN UN LASER DE He - Ne

SUMINISTRO DE POTENCIA EN UN LASER DE GAS.- Debido al alto voltaje necesitado y a la resistencia negativa característica de un gas, un suministro de potencia para un láser de gas debe tener:

a) Circuito arrancador o disparador que debe suministrar un pulso iniciante de voltaje lo suficientemente alto para ionizar el gas y producir el acarreo de la corriente.

b) Un suministro operante o suministro corriente, el cual es capaz de proveer el voltaje y la corriente necesarios para mantener la salida láser.

c) Un dispositivo limitante de corriente que estabilice y mantenga la corriente en el valor deseado.

4.1.1 EL LASER DE HELIO-NEON

El láser de He-Ne es uno de los láseres que más usos tiene hoy y ha sido producido en grandes cantidades por muchos años. Es el más indicado para uso en laboratorios debido a su seguridad inherente provocada por su baja potencia de salida. Ellos son muy usados en supermercados para imprimir códigos en productos universales, por periódicos para reproducir fotografías y como herramientas de alineamiento.

4.2 LASERES DE ESTADO SOLIDO

En terminología láser, el término de "estado sólido" significa cualquier láser que usa un material sólido como medio activo, no así en terminología electrónica.

El medio activo en un láser de estado sólido puede ser cualquier cristal. Este es por lo general un elemento raro de la tierra y aunque muy pocas veces se encuentra en la naturaleza, en ocasiones éste puede ser comercialmente reproducido. Los cristales o medios activos de estos láseres comprenden un material contenedor altamente transparente dopado con un material que puede emitir.

En esta familia se incluye el láser de rubí; el de Neodimio: Itrio, aluminio, granate (Nd: YAG); el de Neodimio en vidrio; de erbio, y muchos otros tipos menos comunes.

CARACTERISTICAS DE LA SALIDA CONTINUA DE UN LASER DE ESTADO SOLIDO.- Existen muy pocos cristales de estado sólido que pueden producir luz láser y aguantar el calor extremo generado por la fuente bombeante continua.

El único láser común de este tipo es el Nd: YAG cuya longitud de onda de salida es 1.06 micrones la cual está cerca de la región infrarroja del espectro y cuya potencia de salida va desde 0.04 hasta 600 Vatios. Su

divergencia va desde 1 miliradián en onda continua hasta 20 miliradianes para multimodos.

Los láseres de estado sólido de bombeo continuo pueden ser operados en onda continua, DC modulada, en modo bloqueado para producir pulsos ultra cortos o en "Q" conmutado para obtener una salida de pulso potente.

CARACTERISTICAS DE LA SALIDA PULSADA DE UN LASER DE ESTADO SOLIDO.- Aunque el material usado en láseres pulsados puede ser enfriado entre los pulsos, el medio activo no se expone a subidas de temperatura extremas como las experimentadas en un láser de onda continua.

Por lo tanto, existe preferencia del medio activo por el láser pulsado más bien que por el láser de onda continua.

Cuando Nd: YAG se usa como medio activo, este puede ser pulsado muy rápidamente porque puede resistir las cargas térmicas altas de la operación continua. Es muy común pulsar láseres de YAG a razones superiores a los 200 pulsos/segundo. Sin embargo, si rubí o Nd: en vidrio se usa como el medio activo, la razón de los pulsos se limita a 2 ó 3 pulsos/segundo.

El tiempo adicional entre pulsos se requiere para enfriar el vidrio para prevenir fracturas, mientras que en el primer caso, el Nd: YAG puede resistir las cargas

térmicas de la operación continua.

El rayo emitido por un láser de estado sólido puede diverger tan poco como 1 miliradián o tanto como 10 miliradianes. La potencia de salida se encuadra en un rango de los 400 Vatios, aunque el pico de potencia de un pulso individual es considerablemente más grande.

4.3 LASERES DE TINTES (LIQUIDOS)

Un láser de tintes orgánicos puede producir salidas tan variables cuyas longitudes de onda están en la región visible, ultravioleta o en la cercanía de la infrarroja del espectro, dependiendo del tinte usado. Sus valores van desde 390 a 1000 nanómetros y sus potencias desde 1 Vatio sin tener límite por arriba. El diámetro típico del rayo de salida es de 0.5 milímetros con una divergencia de 0.8 a 2 miliradianes. La eficiencia de conversión de la luz desde la fuente bombeante a la salida desde el láser de tinte es relativamente alta, alcanzando valores del 25%.

Son muy utilizados en aplicaciones médicas.

4.4 LASERES DE SEMICONDUCTORES

Los láseres de semiconductores son los más pequeños que se producen hoy. En tamaño y apariencia son similares a

un transistor. Operando, actúan como un diodo emisor de luz pero el rayo de salida tiene las características de la luz láser.

En realidad, un láser semiconductor es simplemente un diodo. El material que más se utiliza en este tipo de láseres es el Arseniuro de Galio (GaAs), aunque algunas veces se utilizan también el Telururo de Plomo, Arseniuro de Antimonio y otros.

El bombeo eléctrico del láser es posible debido a que estos materiales pueden acarrear una corriente eléctrica.

En el cristal semiconductor se construye una junta semejante a las utilizadas en transistores llamada P-N.

Los electrones fluyen através de la banda de conducción desde el lado N (lado de voltaje negativo).

La banda de conducción es el nivel superior de energía para el láser y la banda de valencia es el nivel inferior.

De esta manera se establece la población invertida entre los niveles superior e inferior de energía, dando lugar a la acción láser. Debido a los tipos de flujo que se presentan, a éstos se los denomina también láseres de inyección.

Los láseres de inyección son eficientes fuentes de luz que generalmente no son más grandes que 1 milímetro (0.04 pulgadas) en alguna dimensión. Para tener una operación más eficaz éstos deben ser enfriados por debajo de la temperatura ambiente. Sin embargo, una excepción muy importante es el láser de Arseniuro de Galio (GaAs) que puede emitir luz infrarroja en forma continua a temperatura ambiente con 0.02 Vatios de salida y 7% de eficiencia.

Un láser de inyección puede ser fabricado para irradiar luz a una longitud de onda entre 0.64 y 32 micrones mediante la aleación de diferentes pares de semiconductores tales como Arseniuro de Galio y Arseniuro de Antimonio.

La longitud de onda es sensible a cambios de temperatura, presión y campo magnético.

Una es la característica que los diferencia de los demás tipos de láseres. A diferencia de otros láseres, el láser de semiconductores no necesita de espejos para obtener la reflectividad necesaria para producir la retroalimentación.

La reflexión desde los extremos del chip semiconductor produce la acción láser. La reflectividad de la interface entre el material semiconductor y el aire es aproximadamente 36%, lo cual es suficiente para

suministrar adecuada retroalimentación así como para servir de ajustador de salida, aunque el rayo sale desde ambos extremos. Si se desea que el rayo salga solamente desde un extremo, el extremo opuesto puede ser cubierto para reflejar una mayor cantidad de luz.

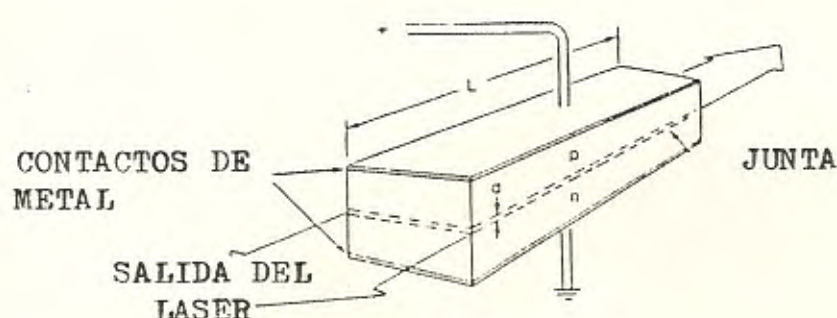


FIGURA 4.4

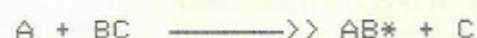
Láser de semiconductores

4.5 LASERES QUIMICOS

Llamados a menudo de gran energía son aquellos cuya potencia es del orden de los Megavatios en emisión continua durante varios segundos e incluso minutos.

Se adjetivan como químicos porque la radiación o bombeo es emitida por moléculas diatómicas excitadas a las que se representan generalmente mediante la notación AB^* .

Estas moléculas se producen mediante una reacción química exhotérmica del tipo:



que equivale al bombeo realizado por medios físicos en los otros tipos de láseres.

CAPITULO V

ESCOGIMIENTO DE UN LASER

Como existen a disposición una gran variedad de láseres, es importante que la persona que requiere de uno de ellos escoja el apropiado. Además, así como en cualquier otro trabajo científico, existen algunas precauciones de seguridad muy importantes que se deben seguir cuando se experimenta con láseres.

5.1 CONSIDERACIONES BASICAS

Su primera consideración es, si escoge un láser linealmente polarizado o un láser con polarización al azar. La polarización lineal es importante específicamente cuando el rayo va a ser medido después de que sea reflejado por una superficie o pasado através de un sistema óptico. La polarización lineal evita las fluctuaciones en la potencia de salida, la cual ocurre de otro modo. El uso de un láser linealmente polarizado también permite el control de la intensidad de la salida mediante un polarizador y permite su uso con una variedad de moduladores.

Algunas versiones de láseres de He-Ne están disponibles con una salida linealmente polarizada, aunque la mayoría

son polarizados al azar como en el caso del láser que se utilizará para las experimentaciones del capítulo siguiente. Su segunda consideración es escoger el nivel de salida conveniente para su tarea particular, y, su tercera consideración es el diámetro del rayo, el tamaño de la mancha a una distancia dada. El ancho de un rayo de luz láser crece hiperbólicamente con la distancia, según la ley de los inversos de los cuadrados.

Para láseres de He-Ne de 632.8 nanómetros, es fácil calcular el diámetro del rayo d (cm) a una distancia D (cm) dado el diámetro inicial d_o (cm) del rayo con la siguiente fórmula:

$$d = d_o \left(1 + 6.429 \times 10^{-9} \frac{D^2}{4 d_o^2} \right)^{1/2}$$

Para un láser de CO₂, cuyo rayo diverge más rápidamente el coeficiente en la fórmula es 1.82×10^{-8} .

Para mantener un diámetro de rayo pequeño lejos de la fuente láser, se podría usar un colimador de rayo.

Este es una combinación de un arreglo de lentes doble convexo y plano cóncavo.

La figura 5.1 muestra la curva de funcionamiento de un

rayo láser de He-Ne usado con y sin colimador.

Colimador modelo 1397H de la Hughes Co.

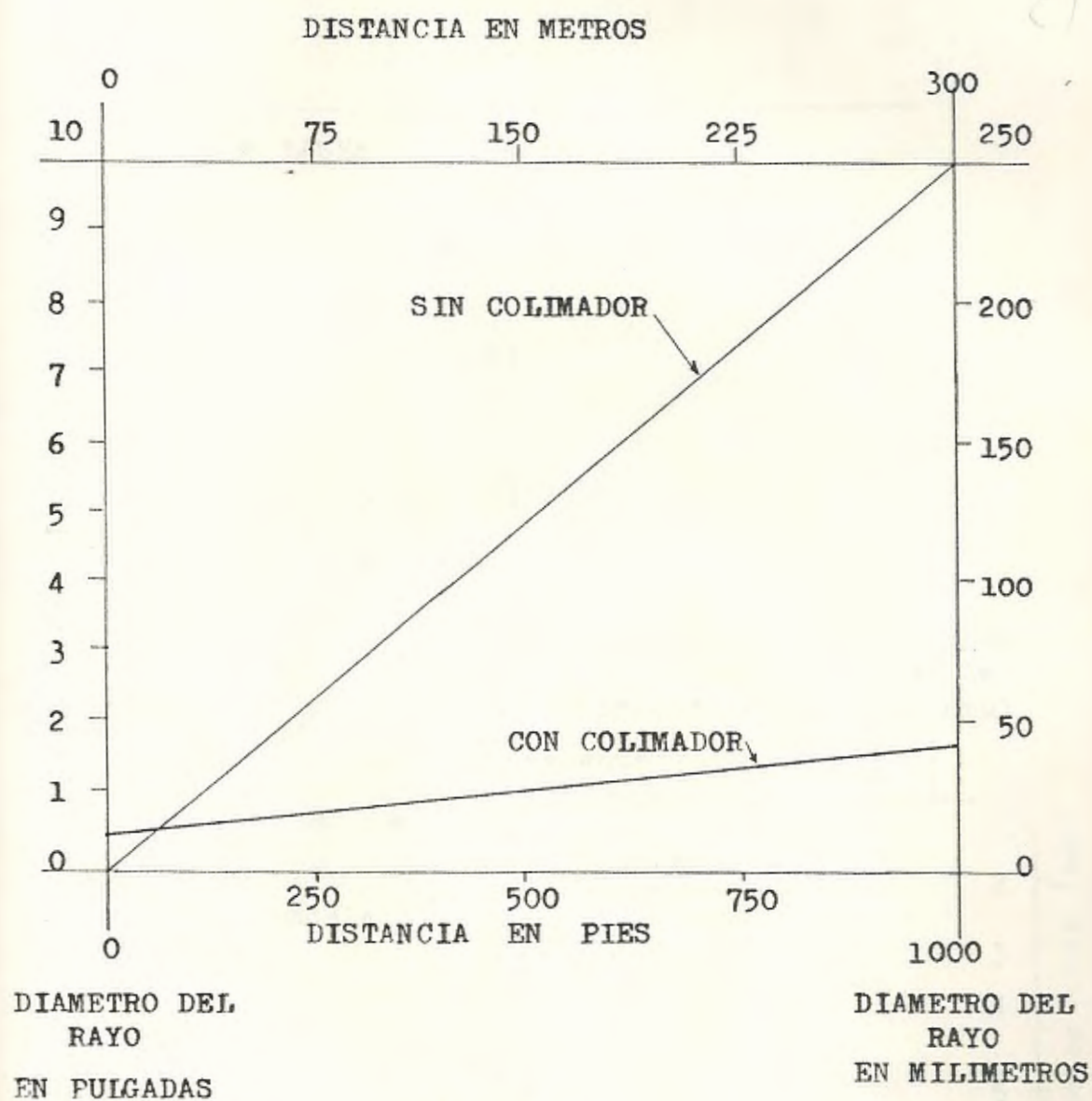


FIGURA 5.1

Curva de funcionamiento de un láser de He-Ne usado con y sin colimador

5.2 PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

Los láseres producen energía luminosa muy intensa que puede causar daños si no se toman las precauciones del caso.

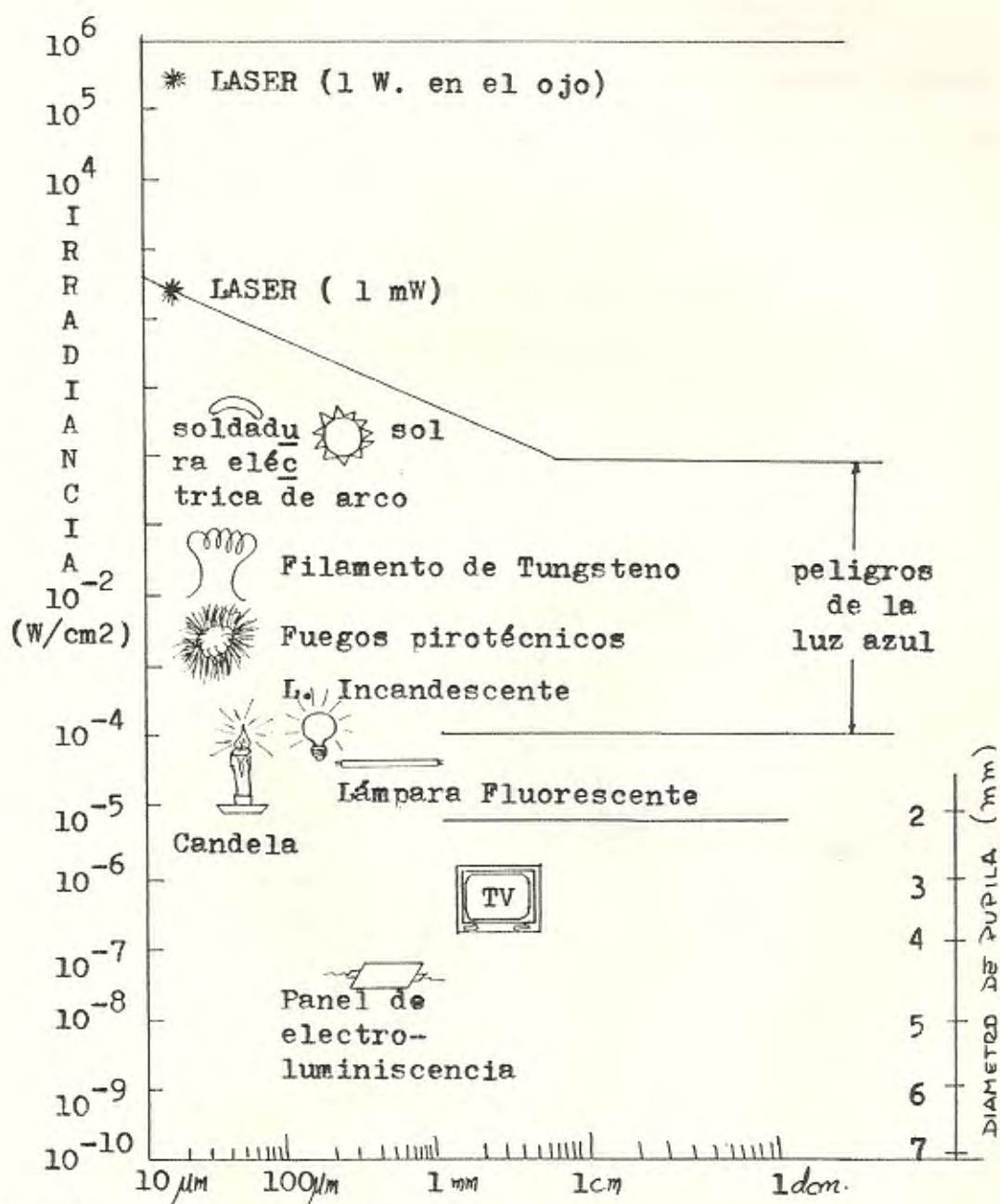


FIGURA 5.2 Tamaño de Imagen en la retina

El órgano del cuerpo más sensitivo a radiación es el ojo. La habilidad del ojo para refractar la radiación cercana a la zona ultravioleta, visible y la cercana a la infrarroja del espectro es la característica fisiológica más importante que contribuye a los riesgos de trabajar con láser.

La densidad de energía de la radiación incidente sobre la córnea puede ser incrementada cientos de miles de veces. Esto puede causar grandes riesgos de cataratas.

Si uno mira directamente dentro del rayo láser, la vista puede ser destruida permanentemente.

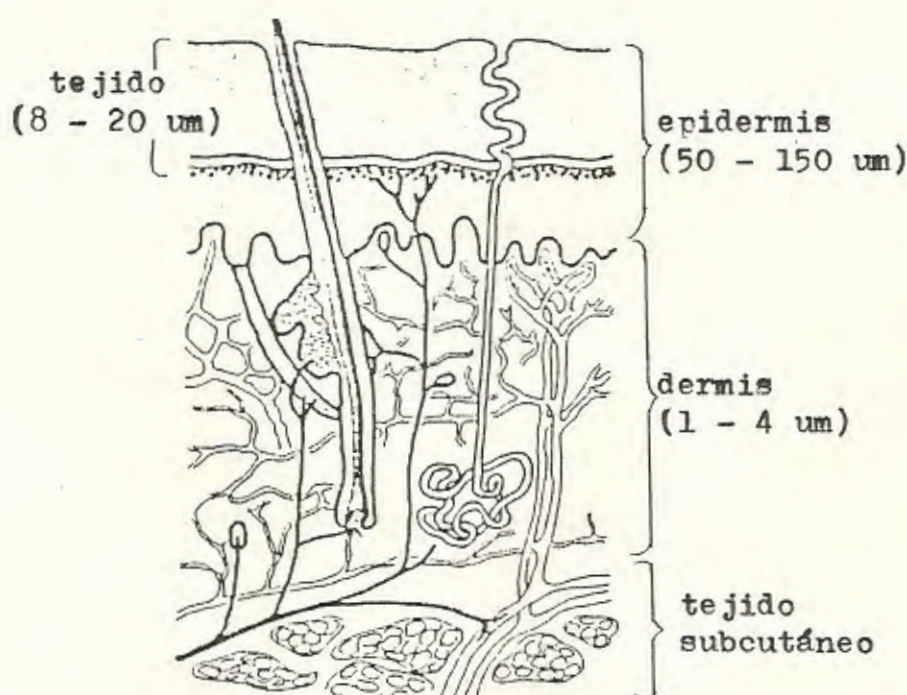


FIGURA 5.3 Espesores de las capas de la piel

Los órganos de la piel también son susceptibles a daño por radiación láser. La exposición no necesaria de la piel a la radiación láser debe y puede ser evitada a pesar de todo.

Si bien, no todos los láseres presentan los mismos niveles de riesgo debido a que pueden variar tanto en potencia de salida como en longitud de onda, se puede controlar estos riesgos mediante los propios procesos operativos, sistemas de ingeniería o equipos de seguridad.

Se han desarrollado muchos reglamentos de seguridad para dar guía a quienes deseen usar un láser, para que lo hagan de una manera segura. Cuando se siguen esas instrucciones, se puede lograr este fin.

Este reglamento puede ser usado cuando se vaya a trabajar con cualquier tipo de sistemas láser.

— Nunca permita al ojo estar en la dirección del paso del rayo láser (trayectoria) por baja que sea la potencia del mismo. El rayo ya sea infrarrojo, visible o ultravioleta puede causar serias quemaduras a la retina del ojo.

— Evite mirar hacia el interior de la trayectoria esperada del rayo láser cuando exista la posibilidad de que el láser pueda estar encendido.

— Use gafas protectoras. Chequee las especificaciones e instrucciones de operación disponibles acerca de la posible potencia máxima y la longitud de onda de salida del láser. Asegúrese de que las gafas sean las adecuadas para la radiación de salida esperada.

— Aún con gafas, no permita que el ojo intercepte directamente la trayectoria del rayo láser, sea ésta la del rayo que sale o la de su proyección.

— Mantenga reflectores especulares fuera de la trayectoria del láser.

— Puede requerirse protección para la piel. Ropa blanca gruesa, así como mandiles comunes de laboratorio, reducen la exposición.

— Se debe usar guantes para proteger las manos.

— Mantenga el aparato láser completamente cerrado siempre que sea posible. Si opera sin cubierta, entonces puede ser que se refleje radiación adicionalmente reflejada.

— Si el láser no posee un indicador (alarma) de que está prendido, y si el rayo emitido no es perceptible a simple vista, es aconsejable que una lámpara indicadora de Neón o cualquier otro tipo de indicador sea siempre una parte integral del circuito de operación.

— Identifique de manera adecuada el área de trabajo como una área de radiación o área de experimentación láser.

Esto evitaría que cualquier persona que no sepa que se está trabajando, se exponga a la radiación láser.

CAPITULO VI

PRUEBAS EXPERIMENTALES Y ANALISIS DE RESULTADOS

EXPERIMENTO # 1

IRRADIANCIA

OBJETIVOS:

1. Calcular la irradiancia producida por el rayo a una distancia dada desde el láser.
2. Calcular la divergencia del rayo.

MATERIALES REQUERIDOS:

- Educador láser ET-4200
- Recibidor láser ETA-4200
- Lente -10 cm.
- Receptáculo de lentes.

INTRODUCCION:

Un medidor de potencia óptica es usado para medir la intensidad de la luz. El medidor suministrado con el Educador láser es diseñado específicamente para ser usado en este experimento.

El elemento sensor de este medidor es una fotocelda la cual produce un voltaje cuando la luz choca su superficie. La lectura producida en el medidor es proporcional a la potencia de la luz que está chocando la fotocelda. La fotocelda es capaz de medir longitudes de onda de luz visible y algunas infrarojas.

Antes de que se proceda a usar el medidor, es necesario calibrarlo. Puesto que el medidor reacciona a la luz ambiente, es necesario calibrarlo cada vez que éste sea usado o cada vez que la posición del medidor sea cambiada.

En resumen, debido a que el medidor es muy sensitivo, evite arrojar sombras sobre el sensor mientras esté haciendo ajustes o tomando lecturas. Para calibrar el medidor complete los siguientes pasos:

a) Colocar el medidor en la posición deseada. Para este experimento posicione el Educador láser a aproximadamente 91.5 centímetros desde el medidor de potencia láser.

Asegurese de que la apertura del láser coincida en línea recta con la apertura marcada como SENSOR en el medidor.

b) Encienda el láser y abra la apertura. Note la posición de la mancha del rayo. Ajuste la posición del láser hasta que el rayo brille directamente dentro del sensor del medidor (recibidor).

c) Cierre la apertura del láser.

d) Localice el ajuste de volumen (VOL) en la parte posterior del receptor o medidor. Con un pequeño destornillador o herramienta de alineación gire el ajuste completamente contrareloj. Esto baja el volumen del circuito de audio del receptor.

e) Gire los ajustes anulador NULL y el de sensibilidad (SENS) a medio rango.

f) Encienda el receptor y gradúe el ajuste NULL hasta que la lectura sobre el medidor sea 0 (cero). Este ajuste compensa los efectos de la luz ambiente.

g) Abra la apertura del láser y asegúrese de que el rayo láser todavía esté brillando directamente dentro de la apertura del SENSOR. Ajuste el control SENS hasta que la lectura en el medidor sea exactamente 10.

h) Cierre la apertura. Una vez más ajuste el control NULL de manera que el medidor marque 0 (cero). Este ajuste requiere de un toque delicado debido a la extrema sensibilidad del medidor.

Cuando se ha hecho esto, el medidor está calibrado. (1).

TEORIA

IRRADIANCIA.- Está definida como la potencia por unidad de área y se refiere frecuentemente a la densidad de potencia y

otras veces como la concentración de potencia en la luz.

PROCEDIMIENTO

PARTE A.

1. Dado que en la calibración del medidor que precede en la introducción a este experimento, asumimos que la potencia de salida es 1 milivatio, podemos usar este valor para calcular la irradiancia del rayo.

$$\text{Irradiancia} = \frac{\text{Potencia}}{\text{Área}}$$

Aunque ahora conocemos la potencia, nos hace falta calcular el área del rayo láser. Asegúrese de que el emisor y receptor láser estén en la posición que se usó durante el proceso de calibración. Ahora, coloque una hoja de papel directamente en frente de la apertura SENSOR del medidor, apague la luz del cuarto y marque los bordes de la mancha láser.

2. Prenda la luz del cuarto y cierre la apertura láser. Ahora mida el diámetro del rayo láser marcado sobre el papel.

3. Con estos datos, calcule la irradiancia de la mancha láser.

PARTE B.

4. Abra la apertura láser y asegúrese que el rayo todavía esté centrado sobre la apertura del detector del medidor de potencia. Chequee el medidor y asegúrese que esté ajustado apropiadamente. Si el medidor necesita reajuste, refiérase al procedimiento de ajuste en la introducción a éste experimento. Cierre la apertura.

5. Coloque una lente de -10 cm. en el contenedor de lentes, al hacer esto cúidese de no ensuciar la lente. Posicione la lente en frente del láser en el paso del rayo. Apague las luces del cuarto, abra la apertura del láser y centre el rayo. Como indica la figura E1.1A. Ahora, encienda las luces del cuarto y observe la lectura en el medidor.

6. Una vez más, apague las luces del cuarto y posicione la lente de manera que el eje del rayo esté sobre la apertura del detector como se muestra en la figura E1.1B. Encienda una vez más las luces y observe la lectura del medidor.

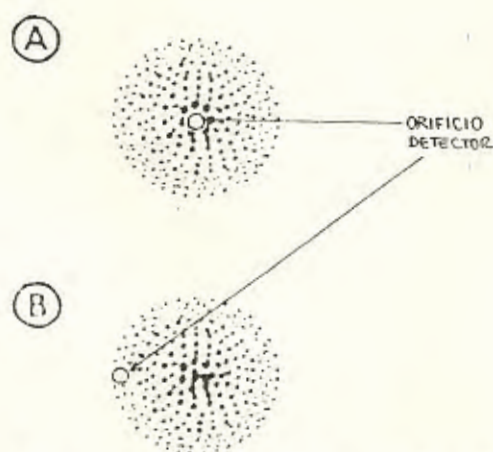


FIGURA E1.1 Posiciones de la mancha láser con relación al orificio detector del receptor láser

7. Cierre la apertura del láser y mida el diámetro de la apertura del detector.

8. Usando los procedimientos de los pasos 1 al 3 y los valores de los pasos del 5 y 7, calcule la irradiancia del centro del rayo láser.

9. Ahora use los procedimientos de los pasos del 1 al 3 y los valores desde los pasos 6 y 7 para calcular la irradiancia en el eje del rayo láser.

CALCULOS

Datos: Potencia = 1 mW.
1

$$I = \frac{\text{Potencia}}{\text{Area}}$$

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4}$$

PARTE A.

1) Se mide d:

$$d = 0.30 \text{ cm.}$$

$$2) \quad I = \frac{(0.001 \text{ W.}) \times (4)}{(3.14) \times (0.30)^2}$$

$$I = 14.15 \text{ mW} / \text{cm.}^2$$

PARTE B.

$$\text{Potencia} = 9.2 \text{ mW} \\ 2$$

$$\text{Potencia} = 6.3 \text{ mW}$$

3

Diámetro del orificio del detector:

$$D = 1/8 \text{ pulg.}$$

$$I = \frac{(0.00092) \times (4)}{(3.14) \times (0.3175)^2}$$

$$I = 11.6 \text{ mW/cm}^2$$

ANALISIS DE RESULTADOS:

En la primera parte (pasos del 1 al 3) se pudo calcular la irradiancia producida por un rayo láser sobre una área dada.

Esto fue posible porque a una distancia de 91.5 centímetros (3 pies), el rayo entero incide en el orificio del detector.

Los cálculos pueden no coincidir exactamente con los siguientes valores típicos: área del rayo de luz láser 0.079 cm²; irradiancia = 12.5 mW/cm². Si los cálculos difieren mucho de estos resultados repita ésta porción del experimento una vez más.

Existen veces en que la irradiancia puede ser medida si el diámetro del rayo es más grande que el diámetro del orificio del detector. Si esto es así el detector registra solamente la energía de la luz que entra. La lectura de potencia es por lo tanto una lectura de la potencia de la porción del rayo que está llegando al detector y no la potencia total

del láser. La potencia medida puede ser usada en los cálculos de la irradiancia pero el área a utilizar en este cálculo es el área del orificio del detector y no el área del rayo. La parte B de este experimento ilustra éste concepto.

La potencia del láser y la irradiancia son dos de las mediciones radiométricas más importantes utilizadas en asociación con láseres. El rayo total de salida es una característica de la fuente láser. La irradiancia por otro lado es una medición tomada en el blanco fijado para explicar la concentración de la potencia en la luz.

Para medir la potencia total de salida del rayo láser, el rayo entero debe entrar en el detector. La irradiancia puede ser calculada a partir de la cantidad conocida de energía que cae sobre el área dada.

Puesto que el rayo láser en este instante es más grande que el área expuesta del detector no es posible calcular la irradiancia del rayo completo.

La irradiancia de la luz en el centro del rayo láser es aproximadamente 11.2 mW/cm^2 mientras que la irradiancia del eje del rayo es aproximadamente 5.0 mW/cm^2 .

CONCLUSIONES:

La irradiancia es mayor a medida que el eje del rayo coin-

cide con el centro del orificio del detector y disminuye a medida que éste se aleja de aquel.

La irradiancia es mayor mientras menor sea el diámetro del rayo.

NOTA 1.

El medidor de potencia óptica no fue calibrado frente a una fuente de luz clásica. Por lo tanto, las lecturas del medidor representan solamente la escala de deflexión o potencia relativa y no puede ser usado para determinar la verdadera potencia del láser. Sin embargo, para propósitos estimativos puede determinarse un factor de calibración.

El educador láser ET-4200 produce un rayo con una potencia menor que 1 milivatio, sin embargo, podemos asumir que la potencia de salida desde el educador láser es, exactamente 1 milivatio. Podemos también asumir que el detector en el medidor de potencia tiene una respuesta lineal.

Dividiendo 1 milivatio por la escala de deflexión, 10, se produce un factor de calibración de 0.1 milivatio/escala de división. Podemos usar este factor de calibración siempre que necesitemos una unidad de medición de potencia. Sin embargo, hay que recordar que las lecturas desde este medidor son, en la actualidad, solamente lecturas relativas.

EXPERIMENTO # 2

TRANSMISION DE LA LUZ

OBJETIVOS:

1. Medir la transmisión del rayo de luz de un láser de He-Ne a través de diferentes materiales.
2. Calcular la densidad óptica de estos materiales.

MATERIALES REQUERIDOS:

- Educador láser ET-4200
- Recibidor láser ETA-4200
- Vidrio transparente de 2 milímetros de espesor.
- Película solar.
- Vidrio azul-transparente de 12 milímetros usado en obras civiles.
- Agua
- Cola o sustancia colorante
- Filtros (rojo, amarillo y azul)

INTRODUCCION:

Como es conocido, algunos materiales permiten el paso de la luz a través de ellos, esto es, son transparentes a las

longitudes de ondas ópticas. Esta cualidad se denomina transmitancia. La transmitancia es afectada por el índice de refracción del material. Cuanto mayor es el índice refractivo, menor es la cantidad de la luz que puede transmitirse através del material. Esto ocurre porque los materiales con mayor índice refractivo reflejan más de la luz incidente que los materiales con índice refractivo más bajo.

Los materiales también absorben algo de la luz que incide sobre ellos. Es posible, mediante materiales coloreados, hacer que ellos absorban selectivamente alguna luz incidente, mientras que otra luz pasa. Esto se denomina absorción selectiva.

Algunos materiales son semi-opacos. Esto es, ellos difunden algo de la luz transmitida através de ellos.

Normalmente, los materiales transparentes pueden ser hechos semi-opacos mediante la adición de impurezas sobre ellos.

TEORIA:

TRANSMITANCIA.- En términos simples, la transmitancia de un material es la razón de la intensidad de la luz que sale del material a la intensidad de la luz que entra al material.

Para un material perfectamente transmisor, la transmitancia es 1.

$$\text{Transmitancia} = \frac{\text{Potencia de salida}}{\text{Potencia de entrada}}$$

DENSIDAD OPTICA.- La densidad óptica de un material es una medición de la potencia absorbida por el material. Esta se calcula tomando el logaritmo de la razón entre la potencia transmitida y la potencia incidente.

$$\text{Densidad óptica} = -\log \frac{\text{Potencia a través del material}}{\text{Potencia de entrada al material}}$$

PROCEDIMIENTO:

PARTE A: TRANSMITANCIA

1. Posicione el emisor y el receptor láser como en la calibración descrita en la introducción al experimento # 1.

Verifique si el receptor está calibrado. De no ser así proceda a su calibración.

2. Cierre la apertura del láser y coloque el material a ensayar (vidrio de 2 milímetros, película solar y vidrio de 12 milímetros, uno a la vez), en el paso del rayo de luz.

3. Abra la apertura láser y asegúrese de que el rayo reflejado (si lo hay), regrese sobre ésta.

4. Tome la lectura registrada en el receptor para cada

material.

5. Calcule la transmitancia de los materiales con los datos obtenidos para cada material.

PARTE B: SELECTIVIDAD

6. Coloque el contenedor plástico de partes en el paso del rayo como se muestra en la figura E2.1. Asegúrese de que el rayo láser pase a través de uno de los compartimientos.

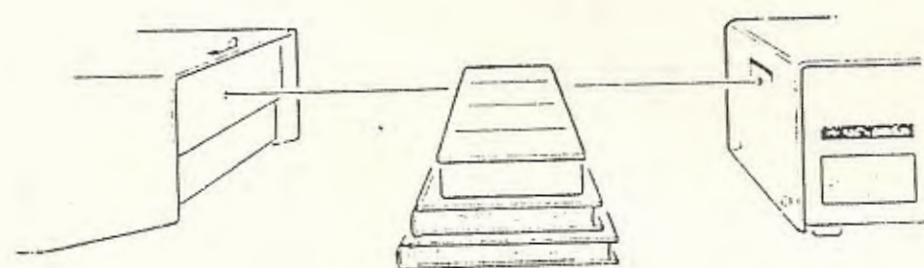


FIGURA E2.1

7. En los diferentes compartimientos del contenedor de partes coloque: agua, agua con cola y cola pura y luego haga pasar el rayo de luz láser a través de cada uno de ellos. Observe el principio de absorción selectiva de la luz que pasa a través de estos fluidos y conteste las siguientes preguntas:

a) Es visible el rayo de luz láser? _____

b) Existe dispersión en el rayo de salida? _____

PARTE C: DENSIDAD OPTICA

8. Coloque el filtro en el receptáculo de lentes y haga que el rayo de luz atraviese el filtro.

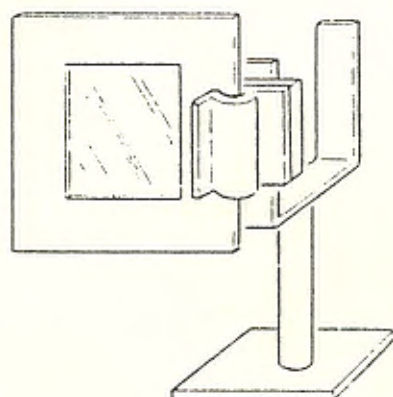


FIGURA E2.2

FILTRO

9. Registre las lecturas del receptor láser con cada uno de los filtros.
10. Calcule la densidad óptica de cada filtro.

CALCULOS RESULTADOS:

Datos: Potencia = 1.00 mW.

Potencia através del vidrio transparente de 2 milímetros:

$$\text{Potencia} = \frac{0.99 \text{ mW.}}{2}$$

Potencia através de la película solar:

$$\text{Potencia} = \frac{1.00 \text{ mW.}}{3}$$

Potencia através del vidrio de 12 milímetros de espesor:

$$\text{Potencia} = \frac{0.93 \text{ mW.}}{4}$$

CALCULO DE LA TRANSMITANCIA DEL VIDRIO DE 2 MILIMETROS:

$$\text{TRANS} = \frac{0.99 \text{ mW.}}{1 \quad 1.00 \text{ mW.}}$$

$$\text{TRANS} = 0.99$$

RESULTADOS:

Material	Potencia de salida (mW)	Transmitancia
vidrio de 2 mm.	0.99	0.99
película solar	1.00	1.00
vidrio de 12 mm.	0.93	0.93

PARTE B:

fluido	rayo visible?	dispersión?
aire	no	poca
agua	sf	mucha
agua+cola	sf	poco (pero más que en el aire)
cola pura	sf (una porción)	casi nula

PARTE C:

filtro	transmitancia	densidad	óptica
rojo	0.80		0.90
amarillo	0.98		0.01
azul	0.32		0.49

CONCLUSIONES:

— En la parte A, la transmitancia de la película solar es mayor que la del vidrio de 2 milímetros y a su vez, ambos valores son mayores que el de la transmitancia del vidrio de 12 milímetros, lo cual indica en primera instancia que la película solar es mejor transmisora de la energía luminosa que los otros dos materiales.

— En obras civiles, por otro lado, se desea que la cantidad de calor entrante sea menor, por lo que se prefiere usar

vidrios más gruesos y coloreados que actúan como filtros.

Esta característica se analiza más detalladamente en la parte C de este experimento.

— En la parte B, se observa que el paso del rayo através del aire es invisible debido a que el aire no absorve la energía porque sus partículas son pocas y pequeñas.

— En el agua, por otro lado, existen más partículas y de mayor tamaño, lo que provoca que la luz se disperse y se pueda absorver energía del rayo mostrándose visible, pero sin embargo, la reducción de la potencia por los efectos de dispersión son casi insignificantes.

— Cuando se agrega cola al agua (o cualquier otra sustancia colorante tal como polvo colorante o tintes, entre otras), ocurre más dispersión. La transmitancia del líquido disminuye y se hace aparente una disminución de la potencia relativa. El rayo es más visible que en el caso anterior.

— Cuando la concentración de las partículas se hace lo suficientemente grande, la energía del rayo se difunde através del líquido ahora opaco. Esto es lo que ocurre en la cola pura, dando lugar a que el rayo sea absorbido casi completamente haciendo que el rayo que sale atravesando el medio sea de muy poca energía.

— En la parte C, las densidades ópticas de los filtros amarillo y rojo son casi nulas, mientras que la del filtro

azul es grande.

— Para estos cálculos es muy importante la longitud de onda.

Los valores de densidad óptica calculados son solo válidos para 632.8 nanómetros. Si una luz de otro color atravezara estos filtros, la cantidad de absorción y transmisión serán diferentes.

— La cantidad de absorción depende, además, de la potencia del láser, del tipo de material del filtro y del espesor del filtro. Cualquier material através del cual pasa la luz puede ser considerado como un filtro.

— Las partículas que absorben la energía láser pueden calentarse si la energía absorbida es lo suficientemente grande.

— Las gafas de seguridad utilizan filtros. Las densidades ópticas más utilizadas aquí son del orden de 6 o más.

RECOMENDACIONES:

— Cuando exista rayo reflejado, como en el caso de los vidrios utilizados en la parte A de este experimento, asegúrese de que el rayo reflejado regrese al orificio de salida del rayo para que los valores de energía medidos sean más precisos.

— Los filtros pueden ser dañados si absorben energía. En

especial, en el caso de las gafas de seguridad, asegúrese de que los valores de energía con los que está trabajando no sean mayores que los que ellas puedan resistir, o a su vez, escoja las gafas de seguridad, dependiendo de los niveles de energía con los que va a trabajar.

EXPERIMENTO # 3

REFLEXION DE LA LUZ

OBJETIVOS:

1. Medir los ángulos de incidencia y reflexión de un reflector especular.
2. Comprobar los valores obtenidos.

MATERIALES REQUERIDOS:

- Educador láser ET-4200
- Recibidor láser ETA-4200
- Espejo plano
- Graduador o escuadra
- Papel

INTRODUCCION:

La ley general de reflexión dice que el ángulo de incidencia de la luz es igual al ángulo de la luz reflejada.

El ángulo de incidencia y el ángulo de reflexión son medidos desde una línea perpendicular a la superficie reflectante que se denomina normal.

El rayo incidente, la normal y el rayo reflejado forman un plano. Si la superficie es perfectamente lisa o especular, existe una correspondencia de uno a uno entre el rayo de luz incidente y el reflejado. Además, si nada se absorbe o transmite por parte de la superficie reflectante, el rayo reflejado es igual en potencia al rayo de luz incidente.

Sin embargo, hasta las superficies más lisas absorben o transmiten algo de la luz. Comúnmente un alto porcentaje de la luz incidente será reflejada.

Las reflexiones de este tipo son conocidas como reflexiones especulares o regulares.

PROCEDIMIENTO:

1. Trace sobre un papel un ángulo de 20° como se indica en la figura E3.1.
2. Monte el espejo sobre el receptáculo de lentes.

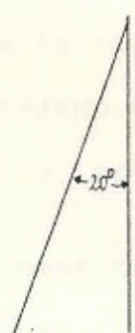


FIGURA E3.1 Angulo de 20°

3. Posicione el receptáculo sobre la figura E3.1 como se indica en la figura E3.2.

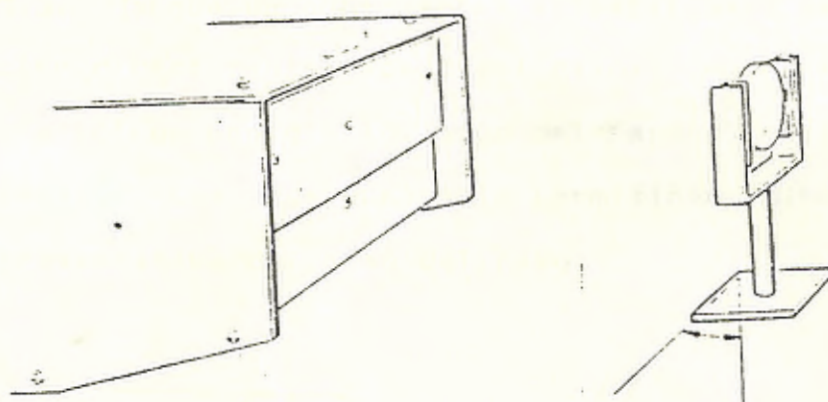


FIGURA E3.2

Posición 1

4. Encienda el láser y abra la apertura. Ajuste el espejo de manera que el rayo reflejado regrese a la apertura del láser. Puede ser necesario mover la hoja de papel. Asegúrese de cuidar que la base del receptáculo del espejo no se desalinee de sobre la figura E3.1. Esto asegura que el rayo sea perpendicular a la superficie del espejo.
5. Usando cinta, pegue la figura E3.1 sobre la mesa de trabajo, cuidándose de no mover el papel cuando esté haciendo esto.
6. Determine la posición del rayo láser con la ayuda de una escuadra. Con un lado sobre el papel, mueva ésta hasta que el lado vertical toque el rayo de luz como se muestra en la figura E3.3. Marque un punto sobre el papel para indicar la localización directamente debajo del rayo. Ahora mueva la escuadra a otro punto a lo largo del rayo y repita este procedimiento. Los dos puntos le permitirán dibujar una línea representativa del paso del rayo.

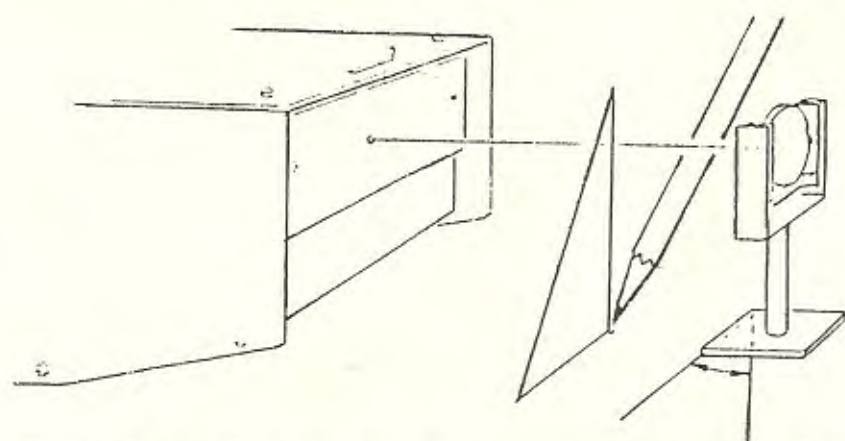


FIGURA E3.3 Trazado de la trayectoria del rayo de luz

7. Reposicione el receptáculo del espejo como se muestra en la figura E3.4 y abra la apertura del láser.

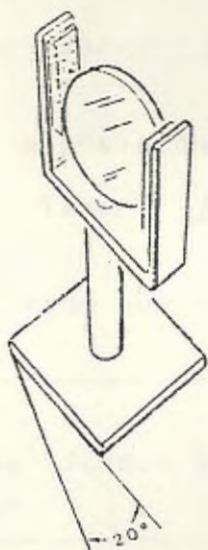


FIGURA E3.4 Posición 2

8. Como en el punto 6, determine la posición de dos puntos a lo largo del rayo láser. Marque estas posiciones.

10. Conteste las siguientes preguntas:

a) Con el receptáculo en la posición 1, cuál es el ángulo de incidencia del rayo de luz láser? 0°

b) Con el receptáculo en la posición 2, cuál es el ángulo de incidencia del rayo de luz láser? 20°

c) Cuál es el ángulo estimado que forman las dos líneas en el punto A? 40°

11. Mida el ángulo que forman las dos líneas que se intersectan en A? 40°

Esto confirma su valor estimado de este ángulo en el paso 10? Si

12. Cuál es la explicación del tamaño del ángulo? _____

Cuando el ángulo de incidencia es de 20° , el ángulo de reflexión también es 20° , por lo que el ángulo entre las dos líneas debe ser 40°

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

— Para asegurarse de que el rayo láser sea perpendicular o normal a la superficie, se debe ajustar la posición del espejo de manera que, el rayo reflejado regrese dentro de la apertura láser.

— En la posición 1, el rayo de luz es perpendicular a la

lente. En esta posición, el ángulo de incidencia es cero.

— Cuando la lente se mueve a la posición 2, la luz choca la lente a un ángulo de 20° . Este es el ángulo de incidencia.

El ángulo de las dos líneas que se dibujaron será 40° . Esto es porque éste ángulo es la combinación de los ángulos de incidencia y reflexión que son de 20° .

— Debido a la manera en la cual se realizan estas mediciones, es posible obtener resultados que no coincidan exactamente con los anotados en esta sección, pero es aceptable un error dentro de los rangos establecidos.

EXPERIMENTO # 4

TRANSMISION DE DATOS

OBJETIVO:

Demostrar la transmisión de una señal através del rayo láser mediante la modulación de la potencia del láser.

MATERIALES REQUERIDOS:

- Entrenador láser ET-4200
- Recibidor láser ETA-4200
- Radio, tocacintas o TV con auxiliar

— Cable de entrada auxiliar para el entrenador láser.

INTRODUCCION:

Muchos sistemas ópticos de comunicaciones requieren de un transmisor de datos, un rayo de luz para llevar los datos, y un receptor de datos. El transmisor debe variar algunas propiedades del rayo de luz que lleva el dato. La intensidad del rayo de luz es una de las propiedades que pueden ser cambiadas. A esto se refiere como modulación de la amplitud, porque se varía la amplitud de la potencia de salida. El receptor de datos debe traducir las variaciones de intensidad del rayo de luz a una señal entendible.

PROCEDIMIENTO:

1. Usando el cable de entrada auxiliar, conecte la entrada auxiliar del entrenador láser a la salida auxiliar o salida para audífono de un radio, tocacintas o TV.
2. Prenda el láser y dirija su rayo al interior de la apertura del receptor láser. Ajuste el control de volumen del receptor láser al máximo (completamente horario).
3. Ajuste el control de volumen del radio tocacintas a medio rango y enciéndalo. Si el sonido está quebrándose o si nota que el indicador de encendido sobre el educador láser esta parpadeando ocasionalmente, baje el volumen de la fuente de

señal.

ANALISIS DE RESULTADOS:

En este momento se está transmitiendo la señal desde la fuente através del rayo de luz láser. Si el receptor está encendido se estará escuchando una señal de audio desde el receptor láser.

Una vez más, si el sonido está quebrándose o si el indicador de encendido está parpadeando ocasionalmente, baje el volumen de su fuente de señal.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. El láser es un dispositivo que está revolucionando al mundo debido a su versatilidad de usos y aplicaciones y merece nuestra atención para que podamos pasar a la era LASER.
2. La conveniencia de los usos del dispositivo láser se debe a las características de la luz, las cuales son coherencia y monocromaticidad por lo que tenemos un rayo de luz direccional.
3. Los trabajos con técnica láser son rápidos y seguros.
4. Para tener seguridad de operación en la aplicación de la técnica láser, se deben observar las debidas medidas de seguridad.
5. Hay que recalcar que, en la INGENIERIA MECANICA, sus usos son muchos; pero para elegir entre un sistema convencional y uno láser, éste último tiene que presentar ventajas tales como en comparación de costos y requerimientos operacionales.
6. Cuando se requiere de un láser, se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones básicas:
 - a) Tipo de polarización

b) Nivel de potencia de salida y,

c) Diámetro del rayo.

7. Para mantener un diámetro de rayo pequeño lejos del láser, se puede usar un colimador de rayo que no es más que un arreglo de lentes: uno plano cóncavo y uno doble convexo.

RECOMENDACIONES

1. Con las bases que se dan en este trabajo, se pueden emprender nuevos proyectos entre los cuales se pueden anotar:

a) Investigaciones sobre materiales para láseres y cavidades resonantes.

b) Investigaciones sobre los diferentes mecanismos de excitación.

c) Construcción de un láser experimental. (Proyecto a desarrollarse con la colaboración de estudiantes de la Facultad de ingeniería Eléctrica de la ESPOL.

d) Realizar otras experimentaciones con el equipo que reposa en mi poder.⁷

2. Cabe recalcar que el seguir las reglas que se dan en el punto 2 del capítulo V resultará en bienestar de quien esté experimentando con láseres.

TABLA 1: CARACTERISTICAS DE CIERTOS LASERES TIPICOS

MATERIAL LASER	TIPO	MODO DE EXCITACION	LONGITUD DE ONDA DE EMISION	MODO DE OPERACION	EFICIENCIA O GANANCIA	POTENCIA TIPICA DE SALIDA
RUBI	SOLIDO	B. OPTICO	6943 Angstroms	PULSADA	0.02 %	1 - 10 mW.
Nd:YAG	SOLIDO	B. OPTICO	1.06 micrones	OC / OP [*]		0.04 - 600 W.
Nd EN VIDRIO	SOLIDO	B. OPTICO	1.06 micrones	OC / OP [*]	0.05 %	1 W.
Cs - He	GAS	B. OPTICO	7.18 micrones	CONTINUA	1.0 %	1 - 10 mW.
He - Ne	GAS	B. ELECTRICO	632.8 Angstroms	CONTINUA	0.05 %	10 - 100 mW.
			1.15 micrones		0.1 %	
			3.39 micrones		5.0 %	
He - Xe	GAS	B. ELECTRICO	3.5 micrones	CONTINUA	1.0 %	100 mW.
			2.026 micrones		15 %	
Xe	GAS	B. ELECTRICO	3.5 micrones	CONTINUA	5%	10 mW.
ARGON	GAS	B. ELECTRICO	488 nanómetros	CONTINUA	15 %	1 - 10 W.
			514 nanómetros			
Ga - As	DIODO	B. ELECTRICO	8450 Angstroms	OC / OP [*]	10 - 30 %	0.1 - 1 W.
CO2	GAS	B. ELECTRICO	10.6 micrones	OC / OP [*]	10 %	HASTA 15 KW.
TINTES ORGANICOS	LIQUIDO	B. OPTICO	390 - 1000 nm.		25 %	1 - MILLONES W.

* OC / OP = ONDA CONTINUA / ONDA PULSANTE

BIBLIOGRAFIA

- Hallmark, Clayton L., LASERS, THE LIGHT FANTASTIC, Tab Books Inc., Canadá, 1979.
- Mc Allese, Frank G., THE LASERS EXPERIMENTER'S HADBOOK, Tab Boos Inc., Canadá, 1979.
- Johnson, Jim, LASER TECHNOLOGY, AN INDIVIDUAL LEARNING COURSE, Library of Congress Cataloging in Publication Data, Michigan, 1985.
- Jefferson, Thomas, THE ENCYCLOPEDIA AMERICANA, Grolier Incorporated, Connecticut, 1983.
- ENCICLOPEDIA BARSÁ DE CONSULTA FACIL, Encyclopedia Británica de México, México, 1981.
- Benton, William, ENCICLOPEDIA BRITANICA. MACROPEDIA VOL X, The Universidad of Chicago, Chicago, 1973.