

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA**

DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES



**INTRODUCCION A LOS SISTEMAS
LASER Y SUS APLICACIONES**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO
EN CIENCIAS EN INGENIERIA ELECTRICA
ESPECIALIDAD POTENCIA**

PRESENTA:

ALFREDO ELIZONDO DECANINI

MONTERREY, N. L.

NOVIEMBRE DE 1988



MI
QC44
E4
C.1



1080072430

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA**

DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES



**INTRODUCCION A LOS SISTEMAS
LASER Y SUS APLICACIONES**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO
EN CIENCIAS EN INGENIERIA ELECTRICA
ESPECIALIDAD POTENCIA**

PRESENTA:

ALFREDO ELIZONDO DECANINI

MONTERREY, N. L.

NOVIEMBRE DE 1988

TM
90449
E4



A MODO DE EXPLICACION

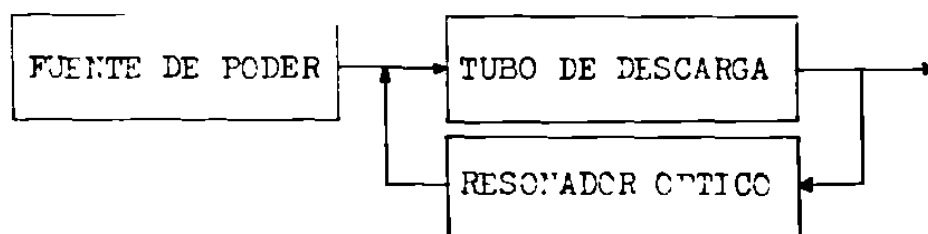
Una tesis profesional es, en el sentido elemental de estas palabras, una toma de posición ante un punto determinado del saber académico aprendido. En general, la tesis profesional comprueba, perfecciona o disminuye el valor científico de tales o cuales tesis del material programático del curso desarrollado en la facultad universitaria de que se trate. En este sentido, una tesis profesional es o una nueva tesis académica o, de plano, una antítesis.

La presente tesis que someto a examen para obtener el grado de maestro en ingeniería eléctrica, no se inscribe en los criterios anteriores. Sin embargo, se trata de una tesis que pretende ser novedosa; pero novedosa por necesidad. En ella expongo el resultado de algunos estudios laterales al programa de rutina del curso académico que acabo de terminar. Tales estudios se refieren a los sistemas laser y alcanzan apenas una dimensión que solo me permite ofrecer, como resultado de ellos, los conocimientos necesarios para iniciar el estudio sistemático y a fondo de esos sistemas. Advierto, desde luego, que estos estudios no hubieran sido posibles si no estuviesen fundados en el conocimiento progresivo que fui adquiriendo en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del instrumental técnico y matemático indispensable y necesario. En otras palabras, esta tesis no es sino una proyección de los conocimientos adquiridos en los cursos académicos ordinarios de la facultad.

Con esto quiero decir que en el instrumental académico que se recibe en la facultad está implícita la posibilidad-- de dar un paso adelante en el conocimiento de la ciencia de vanguardia que se enseña en las universidades mas adelanta-- das del mundo, sin pretender, con ello, dadas las limitacion-- es económicas de la nuestra, alcanzar inmediatamente sus ni-- veles de eficiencia en esta rama. Pretendo, en realidad, demostrar que con un poco de esfuerzo, se puede, por lo menos, introducirnos a nuevas esferas de la actividad científica.

Esta es mi tesis. No lleva ninguna otra pretensión.

El contenido de esta tesis es, basicamente, una recopilacion de información sobre sistemas laser industriales, principalmente lasers de gas. Consta de una introducción y 7 capitulos en los cuales se explica el proposito de las partes que forman todo sistema laser. Estas partes son tres principalmente: Fuente de poder, tubo de descarga y resonador óptico; interconectados como lo muestra el siguiente diagrama de cua-- dros.



Además, un capítulo de aplicaciones industriales en donde se ven los procesos principales de maquinado con laser, y para finalizar, el capítulo 7 muestra en detalle la construcción de un sistema laser que puede ser fabricado a muy bajo costo.

I N D I C E

	PAG.
INTRODUCCION	1
CAPITULO I. FUNDAMENTOS Y PROPIEDADES	
1.1 Niveles Energeticos	3
1.2 Emisión Estimulada vs Emisión Espontanea.	6
1.3 Propiedades Basicas del Laser	7
CAPITULO II. RESONADORES OPTICOS	
2.1 Resonadores Estables e Inestables.	10
2.2 Modos Espaciales.	12
CAPITULO III. FUENTES DE PODER	
3.1 Generador de Marx.	13
3.2 Spark-Gaps.	16
3.3 Fuente con Transistores.	19
CAPITULO IV. TUBOS DE DESCARGA	
4.1 Línea Blumlein	22
4.2 Cámara de Descarga	25
CAPITULO V. TIPOS DE LASERS	
5.1 Lasers Iónicos.	26
5.2 Lasers de Flujo Axial	29
5.3 Lasers de Flujo Transversal	30
CAPITULO VI. APLICACIONES INDUSTRIALES	32
6.1 Soldadura	33
6.2 Corte	35
6.3 Tratamiento Termico	38
CAPITULO VII. DETALLES DE CONSTRUCCION Y OPERACION DE UN LASER DE NITROGENO	41
APENDICE	52

I N T R O D U C C I O N

En 1985 se cumplieron 25 años de la aparición del primer laser.

En Mayo de 1960, Ted Maiman demostró el primer laser funcional en los laboratorios Hughes Research. Desde entonces, la tecnología del laser ha crecido prodigiosamente expandiéndose en unos años en todos los ámbitos industriales.

Es imposible saber a quien corresponde el concepto del primer laser, si al equipo formado por Charles H. Townes y Arthur L. Schawlow, o a Gordon Gould trabajando solo.

Townes y Schawlow tomaron el camino convencional de -- publicar el resultado de sus investigaciones en revistas científicas para demostrar el funcionamiento del primer laser. Gould, en cambio, solicitó una patente y formuló una propuesta de investigación que fue entusiastamente - aceptada por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, y después fue clasificada.

Townes y Schawlow patentaron sus resultados y han recibido muchos honores de la comunidad científica. En cambio, los éxitos de Gould fueron olvidados hasta que su - primera patente fue publicada en 1977.

Irónicamente, la controversia que sobre estas patentes existe ha hecho de Gould una figura más visible en la industria de hoy que Townes, cuya patente expiró en 1977.

La palabra "LASER" es una derivación de la palabra "MASER". Un maser es un elemento que amplifica las radiaciones de micro-ondas mediante el proceso de emisión estimulada.

M microwave
A amplification
S stimulated
E emission
R radiation

Así, cuando en 1958 se publican algunos estudios importantes en donde se extienden los principios del maser a -- la región óptica del espectro electromagnético, el maser - cambia de nombre, llamandosele maser óptico o laser.

Un laser es un elemento que amplifica la luz o radiaciones luminosas mediante el proceso de emisión estimulada.

L light
A amplification
S stimulated
E emission
R radiation

1.1 NIVELES ENERGETICOS

En el año 1916 se estableció teóricamente que con la ayuda de la luz es posible llevar ciertos átomos a un estado de excitación y que éstos empiecen a irradiar ondas luminosas con otra frecuencia.

Brevemente. Si el átomo absorbe un fotón, la energía del átomo se incrementa: Uno de sus electrones pasa de la órbita normal (llamada también Estado Base o Tierra) en la cual poseía una energía E_1 , a una órbita de energía superior E_3 . Aquí el estado de excitación es inestable, a diferencia del estado de estabilidad del nivel E_1 . Pero ese electrón pasa fácilmente del nivel E_3 a otro menos inestable, al nivel E_2 , y entonces el átomo emite un fotón. Si se toma en cuenta que en la realidad este proceso se produce no en un átomo solo sino en un inmenso volumen de ellos, el efecto final del proceso es un flujo de energía electromagnética constituido por la suma de los fotones emitidos.

La irradiación se prolonga hasta que todos los electrones abandonen el nivel E_3 , o sea, hasta que bajen del E_3 al E_2 .

$$\text{Energía / fotón} = E_3 - E_2$$

La excitación obligará a los electrones a pasar de nuevo al nivel E_3 y con ello se producirá un pulso de luz. La frecuencia del rayo de luz emitido depende, también, de la anterior diferencia de energías, puesto que:

$$h\nu = E_3 - E_2$$

donde $h = 6.6262 \times 10^{-34}$ Joule-seg.

conocida como la constante de Planck, y $\nu =$ frecuencia.

Ejemplo: Encontrar la longitud de onda de un fotón que es producido por una diferencia de energía de 2.1 eV (electrón-volts).

$$E = h\nu$$

donde $\nu = c/\lambda$

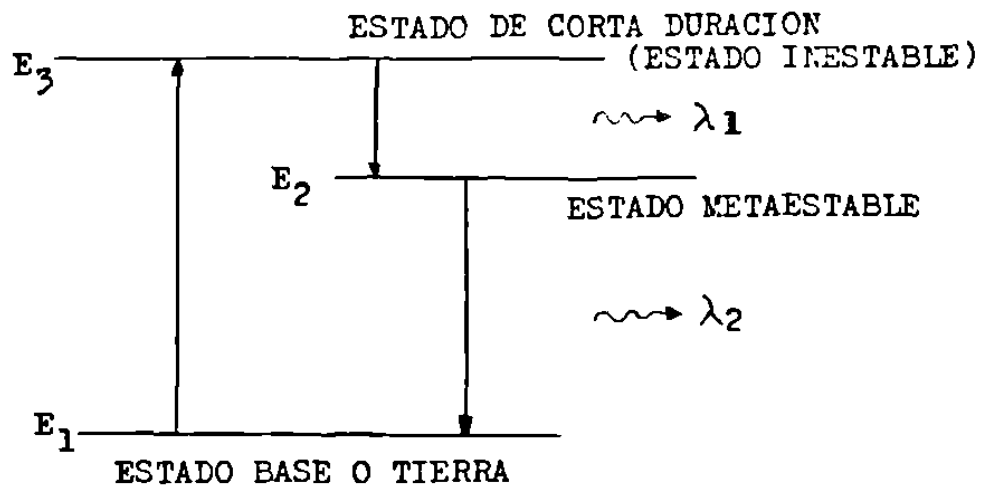
$c =$ velocidad de la luz.

$\lambda =$ longitud de onda

$$2.1 \text{ eV} = 3.4 \times 10^{-19} \text{ Joules.}$$

$$\lambda = hc/E$$

$$\lambda = 5.79 \times 10^{-7} \text{ mts.}$$



LASERS DE GAS Y SUS TRANSICIONES DE NIVEL

G A S	LONGITUD DE ONDA	PRINCIPALES NIVELES DE TRANSICION
Argón	514 nm	$4p^2 - 3d^2$
Carbono	495 nm	$3d^2 - 3p^2$
Cesio	3240 nm	$7p^2 - 7d^2$
Helio	1954 nm	$4p^3 - 3d^3$
Iodo	612 nm	$6s^2 - 6p^2$
Kripton	417 nm	$5p^5 - 5s^3$
Mercurio	479 nm	$5f^2 - 6d^2$
Neon	595 nm	$2p^2 - 1s^2$
Nitrógeno	337 nm	$3p^3 - 3s^2$
Oxígeno	375 nm	$3p^3 - 3s^3$
Sulfuro	1045 nm	$4p^3 - 4s^2$
Xenon	297 nm	$6p^2 - 6s^2$

La tabla anterior muestra los gases más comunes de los cuales se ha obtenido radiación laser, así como la longitud de onda a la cual lasean.

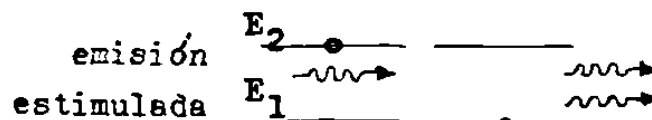
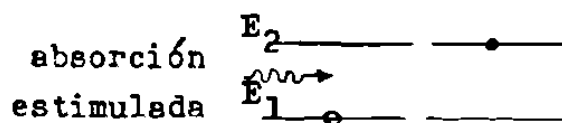
En el apendice se muestra el catalogo de un fabricante de lasers de vapor de cobre, el principio de operacion de este tipo de lasers y sus aplicaciones.

1.2 EMISION ESPONTANEA Vs EMISION ESTIMULADA²

Consideremos transiciones entre dos estados de energía de un átomo en presencia de un campo electromagnético. Las transiciones posibles son: emisión estimulada, absorción estimulada, y emisión espontánea.

En el proceso de emisión espontánea, el átomo se encuentra inicialmente en un estado alto de energía E_2 y decae a un estado más bajo de energía E_1 mediante la emisión de un fotón. (La vida media de un átomo en estado excitado es aproximadamente 10^{-8} seg. Sin embargo algunos pueden ser mucho más lentos llegando a durar 10^{-3} seg, en cuyo caso el estado excitado lleva el nombre de estado metaestable.)

En el proceso de emisión estimulada, un fotón de frecuencia ' ν ' estimula al átomo a pasar de un estado alto a uno más bajo de energía, el átomo es dejado en este estado mientras dos fotones de la misma frecuencia, el incidente y el emitido emergen.



1.3 PROPIEDADES BASICAS DEL LASER ⁵

La luz es básicamente energía, y, como toda clase de energía, puede ser transformada en calor; de aquí que pueda ser utilizada como herramienta industrial.

Las tres propiedades básicas de un rayo laser son:

a) Coherencia : Relaciona la fase entre un frente de onda emitido y el que le sigue; esta coherencia es temporal y espacial. La luz emitida por una máquina laser es coherente por naturaleza.

b) Monocromático : La luz blanca está compuesta de todos los colores básicos, esto limita su uso industrial, puesto que presenta aberraciones como dispersión, etc. La luz de un laser, en cambio, es por naturaleza monocromática (un solo color).

c) Polarización : La luz de una fuente incandescente no es polarizada; para lograr polarizarla se requieren de dos filtros cuando menos para obtener el haz de luz cortado. La luz laser es polarizada dada la necesidad de tener las ventanas de Brewster que forman parte de toda máquina laser.

A continuación se mencionará la ley de Brewster para la polarización de la luz.

Para obtener luz con polarización se emplea el fenómeno de la reflexión. Cuando una superficie refleja un haz de luz, se encuentra que la componente de E (vector de campo eléctrico) paralela a la superficie, se refleja más intensamente que la otra.

De hecho, a un ángulo particular de incidencia sobre un dieléctrico (el ángulo de Brewster) el haz reflejado consta completamente de luz cuyo vector eléctrico es paralelo a la superficie. Resulta que el ángulo de polarización (o ángulo de Brewster) es tal que los rayos reflejados y refractados se encuentran entre sí a un ángulo de 90° .

Para encontrar la relación entre el ángulo de polarización y el índice de refracción de la sustancia reflectora, se aplica la ley de Snell. Se tiene

$$\mu = \text{sen } i / \text{sen } r$$

donde i es el ángulo de incidencia y r el de refracción. En el ángulo de polarización, $i = \theta_p$, y a partir de lo anterior se tiene que

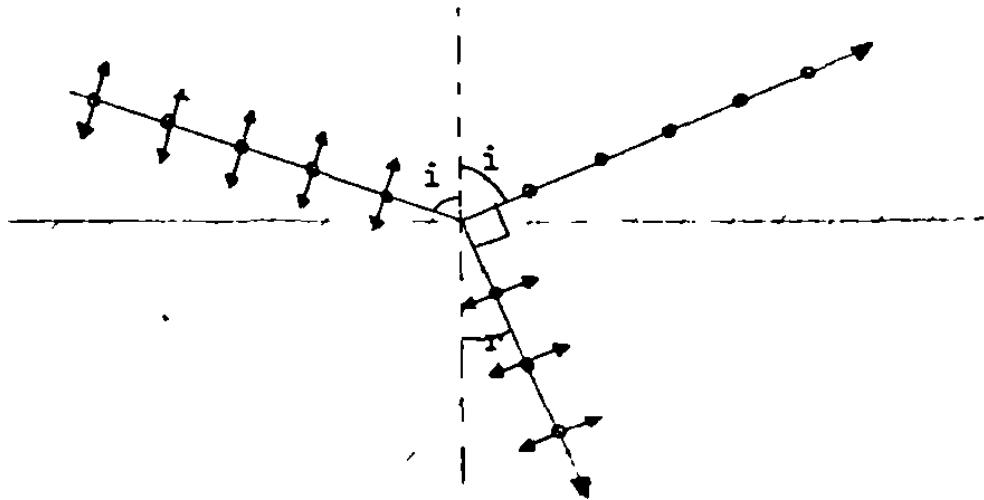
$$\theta_p + 90^\circ + r = 180^\circ$$

Por lo tanto, $\text{sen } r = \cos \theta_p$

resultando que

$$\mu = \tan \theta_p$$

Esta relación se llama ley de Brewster.



Cuando la luz se refleja al ángulo de Brewster, el rayo reflejado se polariza en su totalidad. Los puntos rodeados por un círculo representan la componente de E perpendicular a la página.

Despejando θ_p de la ley de Brewster nos da:

$$\theta_p = \tan^{-1} \mu$$

en donde μ es el índice de refracción del material en donde choca la luz. Este índice depende de la velocidad de la luz antes de chocar con el material y de la velocidad de la luz después de chocar con este. Así:

$$\mu = v_1 / v_2$$

En donde v_1 y v_2 son las velocidades de la luz, antes y después de chocar con el material respectivamente.

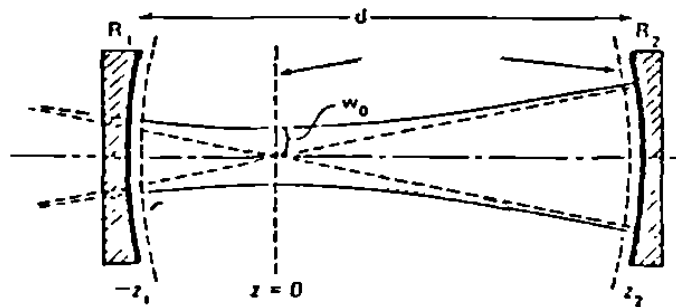
CAPITULO II

RESONADORES OPTICOS

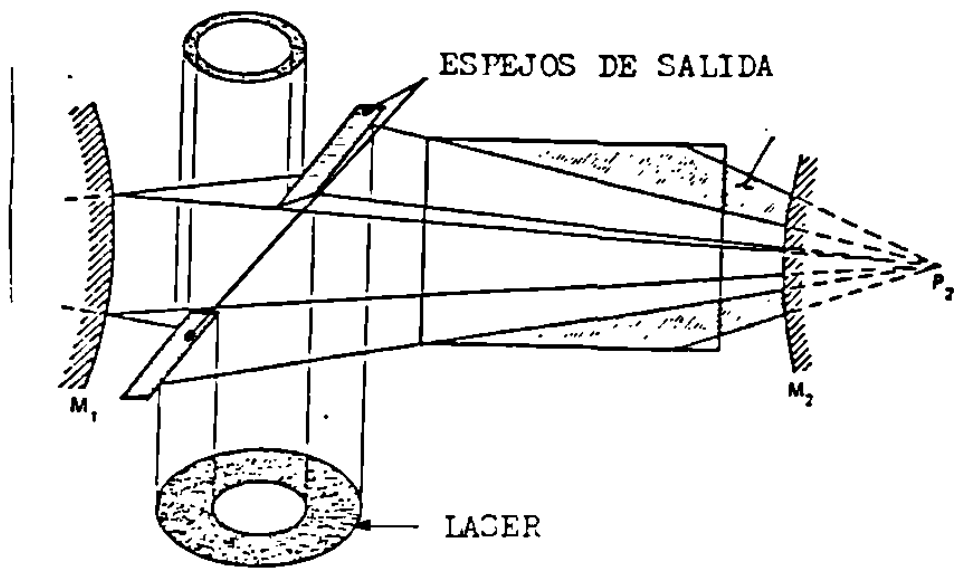
2.1 RESONADORES ESTABLES E INESTABLES

Existen dos tipos de resonadores: estables e inestables; siendo la diferencia en cuanto a si un rayo de luz se cierra en si mismo antes de salir del resonador o sale sin retornar a su punto original de partida.

a) Resonadores estables : Normalmente utilizados en lasers de potencia baja. Usados donde la calidad del haz de luz tiene que ser conservada, como en perforación de cerámica u hojas de metal con tolerancias muy cerradas. La siguiente figura muestra un resonador estable esférico ó quasi-concéntrico.



b) Resonadores no estables: Requeridos especialmente en lasers de alta energía. En el ultimo pase de amplificación el rayo no toca el espejo de salida. La calidad del haz puede ser controlada hasta cierto punto; pero esta es una forma si no la unica de manejar lasers de altas energías. La siguiente figura muestra un resonador no estable.



M_1 y M_2 RESONADOR

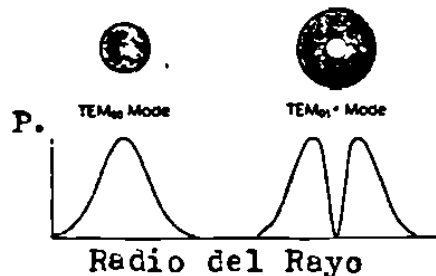
RESONADOR NO ESTABLE

2.2 Modos espaciales:

El termino "espacial" o "transverso" se relaciona con la distribución de potencia a través del rayo laser. Los modos espaciales producidos por un laser son determinados por: el radio de los espejos, la apertura de la cavidad óptica y la longitud de onda de operación.

Para la mayoría de las aplicaciones, el modo más deseable es el modo TEM_{00} , el cual es caracterizado por una

distribución de potencia de tipo Gausiana a través del rayo.



Este modo de operación nos da un diámetro del rayo y un ángulo de divergencia más pequeños; además el rayo permanece de tipo Gausiano conforme éste se propaga por el espacio o por algún elemento óptico propiamente diseñado.

Como resultado de lo anterior, el modo TEM_{00} puede ser enfocado en un punto muy pequeño.

La figura de la derecha muestra el otro modo de operación posible de un laser, cuya aplicación no es tan común en lasers industriales. Este modo de operación es el TEM_{01} y es producido por un resonador inestable.

CAPITULO III FUENTES DE PODER

3.1 GENERADOR DE MARX ³ (COMO MULTIPLICADOR DE VOLTAJE)

El generador de Marx es construido con capacitores almacenadores de energía, spark gaps y resistores de separación, arreglados en la configuración que muestra la figura de la pag. 15.

Los capacitores almacenadores de energía son cargados en paralelo a través de los resistores por una fuente de corriente directa.

Los spark gaps están contenidos en una columna de gas a presión; la columna sellada junto con los capacitores y los resistores están suspendidos en aceite. El spark gap en el paso 1 se dispara debido a la aplicación de una descarga de alta energía. Un pico de alto voltaje es transmitido al siguiente spark gap, causando que éste se dispare.

A como se va disparando cada spark gap , éste transmite un voltaje al siguiente. La amplitud del pico de voltaje es aumentada debido al arreglo físico de los capacitores. El arreglo minimiza la unión capacitiva entre los pasos n y $n+1$ pero maximiza la unión capacitiva entre el paso n y el paso $n+2$.

La ruptura de todos los spark gaps causa que los capacitores queden conectados en serie con la carga. Cada capacitor está puenteado con una resistencia; sin embargo, la constante de tiempo está ajustada para que solo un mínimo porcentaje de la energía almacenada sea disipada en los resistores durante el período de interés.

Sin tomar en cuenta las pérdidas en las resistencias ni las caídas en el circuito, el voltaje de salida del generador es :

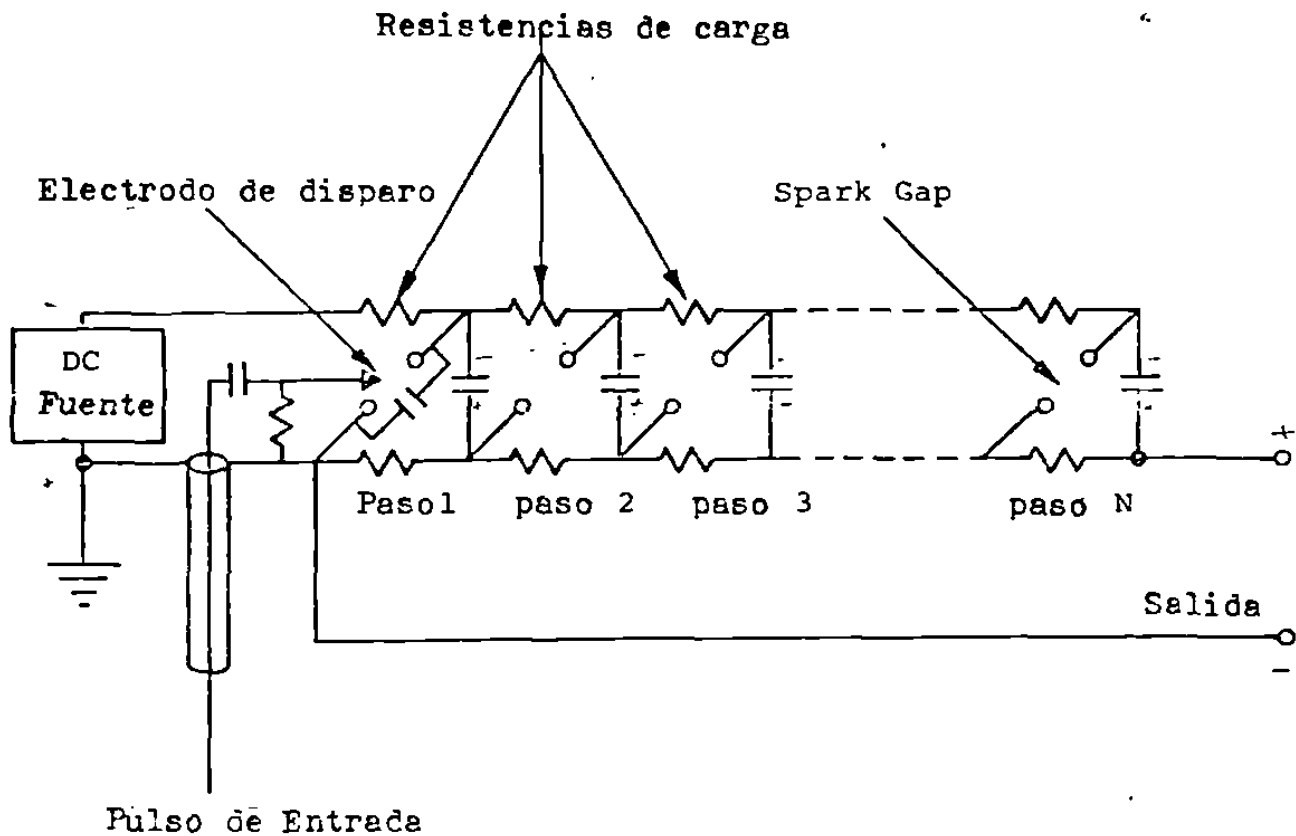
$$V_{out} = N \times V_c$$

Donde N es el número de pasos y V_c es la carga (C.D) en los capacitores.

La capacidad de salida es :

$$C_{out} = \frac{1}{N} \times C_o$$

Donde C_o es la capacidad de un solo capacitor.



CONFIGURACION DEL GENERADOR DE MARX

3.2 SPARK GAPS

Los spark gaps son básicamente elementos de disparo. Pueden ser contruidos facilmente en un laboratorio y soportar varios miles de volts y varios miles de ampers también. El mecanismo de suicheo es una función compleja del material de los electrodos, del área de estos, su forma, la distancia que los separa y del material dieléctrico que llena el espacio entre los electrodos. El material dieléctrico puede ser gas, líquido, sólido o, también, el vacío.

Fundamentalmente, el disparo ocurre cuando la intensidad de campo eléctrico en el entrehierro - sobrepasa un valor crítico. Se genera entonces un arco automantenido entre los electrodos. Al voltaje crítico necesario para producir las condiciones de disparo le llamaremos V_s . La diferencia entre el voltaje aplicado y V_s nos da un sobrevoltaje, donde:

$$\Delta V = V_{\text{aplicado}} - V_s$$

$$\text{para } V_s < V_{\text{aplicado}}$$

A $V_{\text{aplicado}} / V_s$ se le conoce como relación de impulso.

Existen dos tipos de spark gaps: los disparados directamente por sobrevoltaje y los controlados por una unidad de disparo.

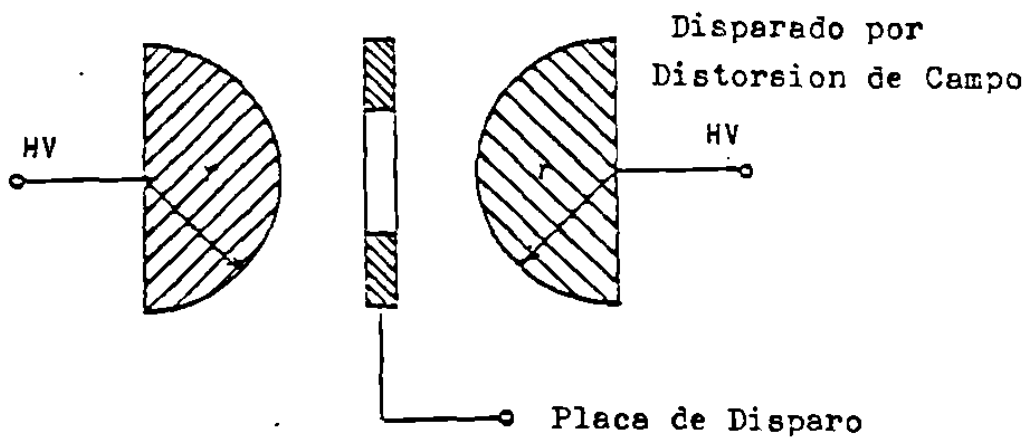
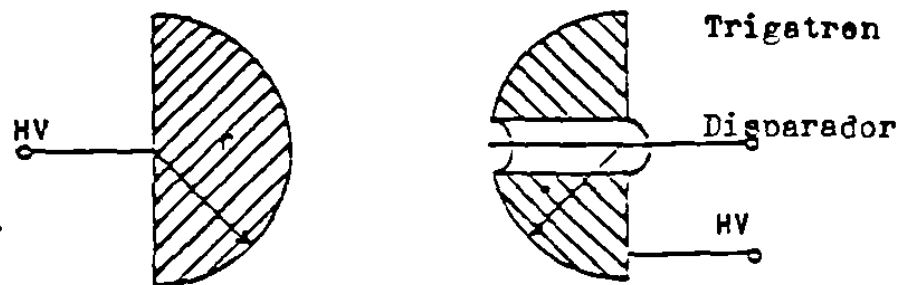
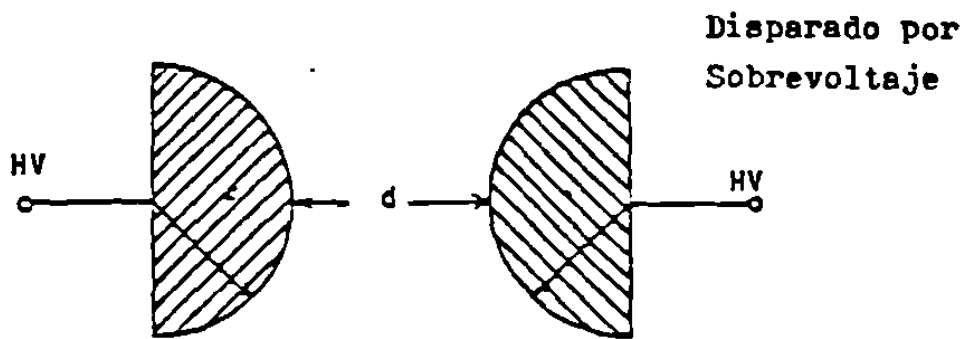
La figura de la página siguiente muestra los cortes transversales de cada tipo de disparador.

En el trigatron, un tercer electrodo se coloca dentro de uno de los electrodos principales pero sin hacer contacto con él. Un arco se genera entre el electrodo principal y el de disparo mediante un pulso de alto voltaje y baja energía. El efecto ionizante de éste arco producirá que se dispare el trigatron. El tiempo de disparo es función del voltaje entre los electrodos, entre más cercano este éste voltaje al voltaje de ruptura, más rápidamente disparará el trigatron. El procedimiento de disparo de éste tipo de spark gaps es similar al del ignitron.

Otro tipo de spark gap conocido como de distorsión de campo, aparentemente funciona de manera similar al anterior, pero su mecanismo de disparo es muy diferente. El electrodo de disparo es colocado sobre una superficie equipotencial para evitar disturbios sobre el campo eléctrico en el entrehierro.

Cuando el potencial del electrodo de disparo se cambia mediante un pulso, el campo en el entrehierro también cambia, produciendo la ruptura del disparador.

El pulso que se alimenta al electrodo de disparo debe ser de una energía tal que permita el suicheo en el entrehierro del disparador. Se desea igualmente un tiempo muy pequeño de crecimiento del pulso para evitar disparos en falso. En el apéndice se muestran algunos dispositivos comerciales.



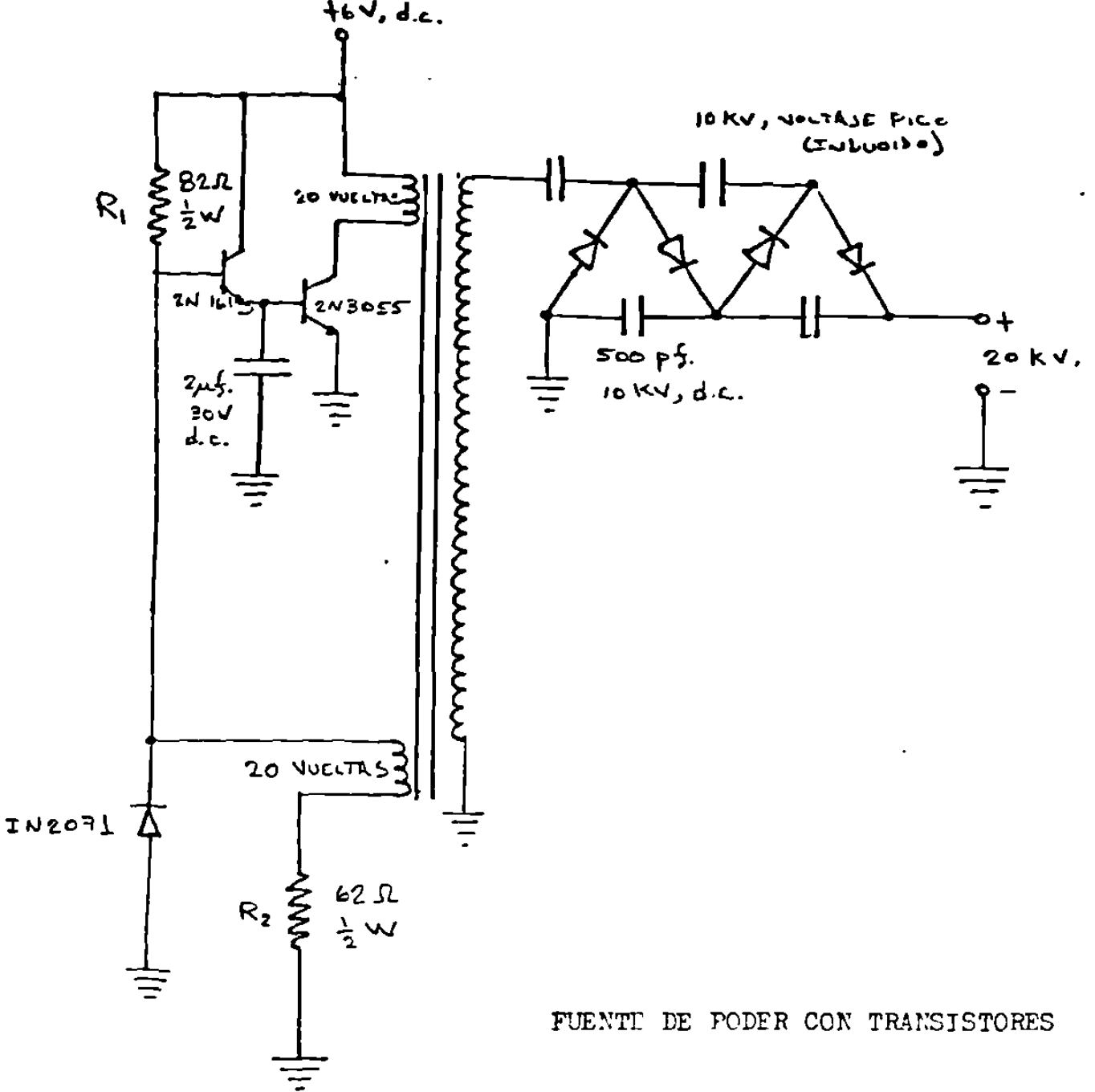
SPARK GAPS MAS COMUNES

3.3 FUENTE DE PODER DE TRANSISTORES

Este diseño consiste de un transistor de bajo voltaje(oscilador), un transformador elevador y un rectificador multiplicador de voltaje. El transformador está hecho con una bobina de encendido de automóvil.

Primeramente se corta la tapa superior de la bobina y se remueven las espiras junto con el núcleo de hierro. Las espiras interiores de la mayoría de las bobinas consisten en aproximadamente 25,000 vueltas de alambre delgado. Se desenrolla del alambre delgado, la parte exterior (primario) y en su lugar se enrollan 2 bobinas de 20 vueltas cada una, de calibre 20 y esmaltado; las cuales no deben estar muy separadas.

Se conecta una de las terminales en serie con el colector del 2N3055 ó algún transistor equivalente como el 2N3236, 2N5039, 2N7271 o el HST9203. Este transistor no necesita disipador de calor, puesto que será usado relativamente poco. El 2N1613 es un transistor de baja potencia. Este es conectado en configuración Darlington para acelerar el tiempo de suicheo del transistor más grande. Otros transistores que trabajan muy bien para este propósito son: el 2N696, 2N2222 y el 2N3642.



FUENTE DE PODER CON TRANSISTORES

Este diseño permite que pueda ser usado casi cualquier transistor npn de silicón y con una beta de 30 ó mayor y una potencia de disipación de medio watt ó mayor como sustituto del 2N1613, para el transistor mayor puede usarse cualquier transistor npn de silicón con una corriente de colector de 5 ampers ó mayor.

Este tipo de fuente operará con una batería de 6-- volts y con 1.5 a 3 amps. y entregará 20,000 volts y suficiente corriente para cargar el laser al potencial de ionización durante 3 a 8 segundos. La eficiencia eléctrica es algo baja (cerca del 1%), primeramente por el ineficiente pero simple transformador. Se aconseja mucho no omitir el capacitor de 2 μ f, que conecta desde la -- tierra a la unión entre el emisor del primer transistor y la base del segundo transistor. Sin este capacitor la unidad puede oscilar a una frecuencia demasiado alta -- para una operación eficiente del transformador.

4.1 LINEA BLUMLEIN

Blumleins han sido usadas exitosamente en lasers de alta ganancia como los de H_2 , N_2 , y Ne. Aquí se describe una configuración modificada, la cual permite una excitación uniforme sobre una larga sección y que tiene otras ventajas. Para indicar la nueva configuración, vamos primero a considerar un diseño típico de los métodos usados previamente. Una línea de transmisión de placas paralelas, aisladas con un dieléctrico sólido y que tiene un corte transversal en su conductor superior. El canal es cubierto con un dieléctrico, el cual es comunmente vidrio, formando una cavidad angosta y larga. Una descarga de gas a baja presión es excitada dentro de esa cavidad.

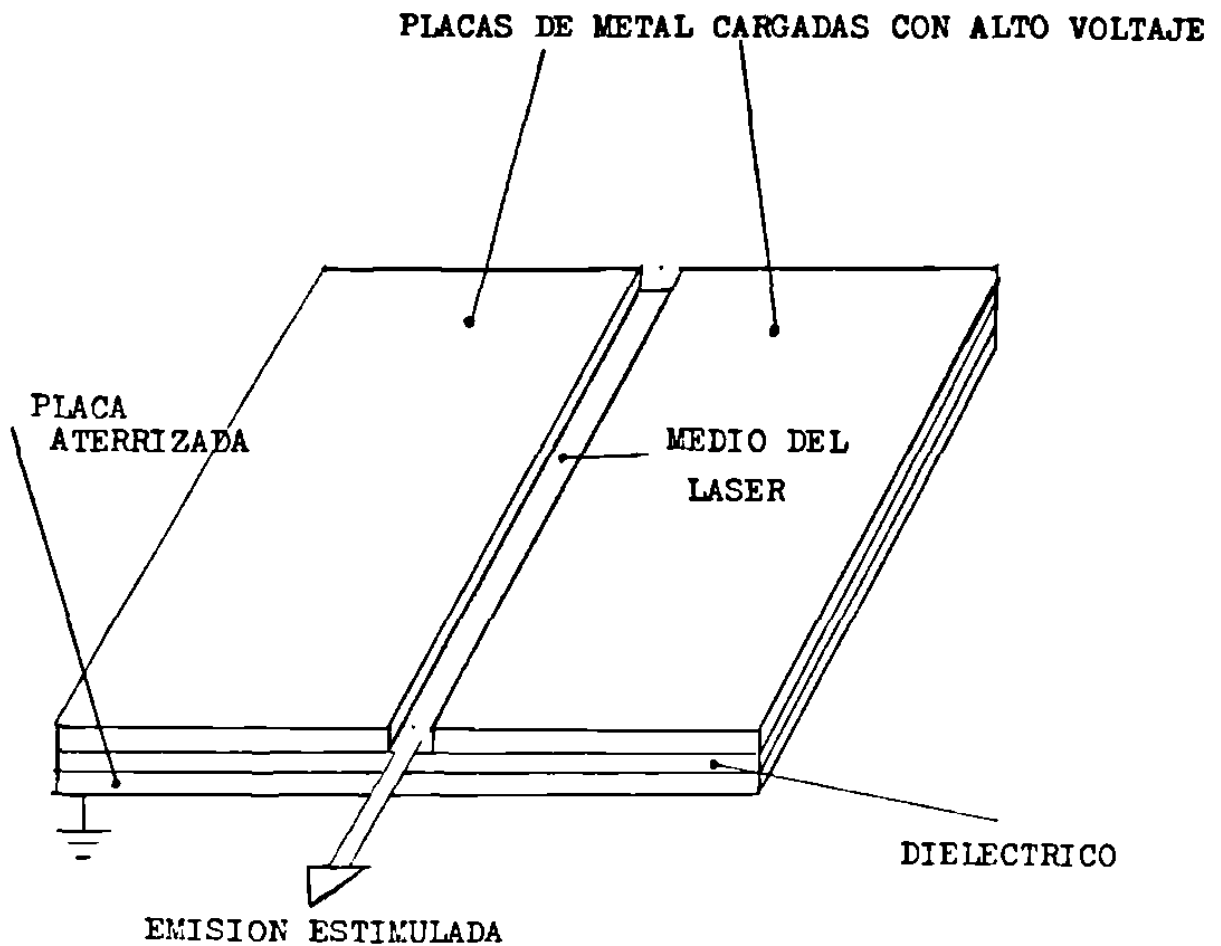
La descarga es iniciada por la carga de la línea de transmisión y después cerrando un switch de baja inductancia en un final de dicha línea.

Una onda de voltaje alejándose del switch llega al canal. Una descarga de alta corriente, típicamente de un kiloamper por centimetro de longitud del electrodo, es sostenida hasta que lo que queda en la línea es descargada. Este método provoca la deteriorización del dieléctrico debido al bombardeo de iones provocado por la cercanía de los electrodos al dieléctrico.

En el diseño anterior el plasma es confinado a regiones estrechas y no es suficientemente uniforme para una calidad aceptable del rayo laser.

En el circuito modificado de la línea Blumlein en lugar de tener las placas paralelas del dieléctrico, se tiene una caja de "lucite" (mica ó cristal) que sostiene los electrodos de cobre paralelos y permite que las paredes interiores se mantengan alejadas del canal.

Una característica interesante de éste diseño es que la descarga puede ser confinada a una región entre los electrodos completamente alejada de las paredes, dependiendo de la presión de operación. Para nitrógeno a 30 Torr, no hay interacción con las paredes. La descarga es uniforme, con una sección de 1 X 15 cm. A esa presión y para un voltaje aplicado de 20 KV, una longitud de descarga de solo 15 cm. produce tanto como 20 FW de potencia de salida.



ESQUEMA DE UN GENERADOR DE PULSOS
 BLUMLEIN CON PLACAS PLANAS USADAS PARA
 BOMBLEAR NITROGENO MOLECULAR O NEON
 183 cms. ANCHO, 366 cms. LARGO
 DIELECTRICO: 0.15 cm. ESPESOR
 IMPEDANCIA: 0.3 Ohms.
 VOLTAJE APLICADO: ~75 KV

4.2 CAMARA DE DESCARGA

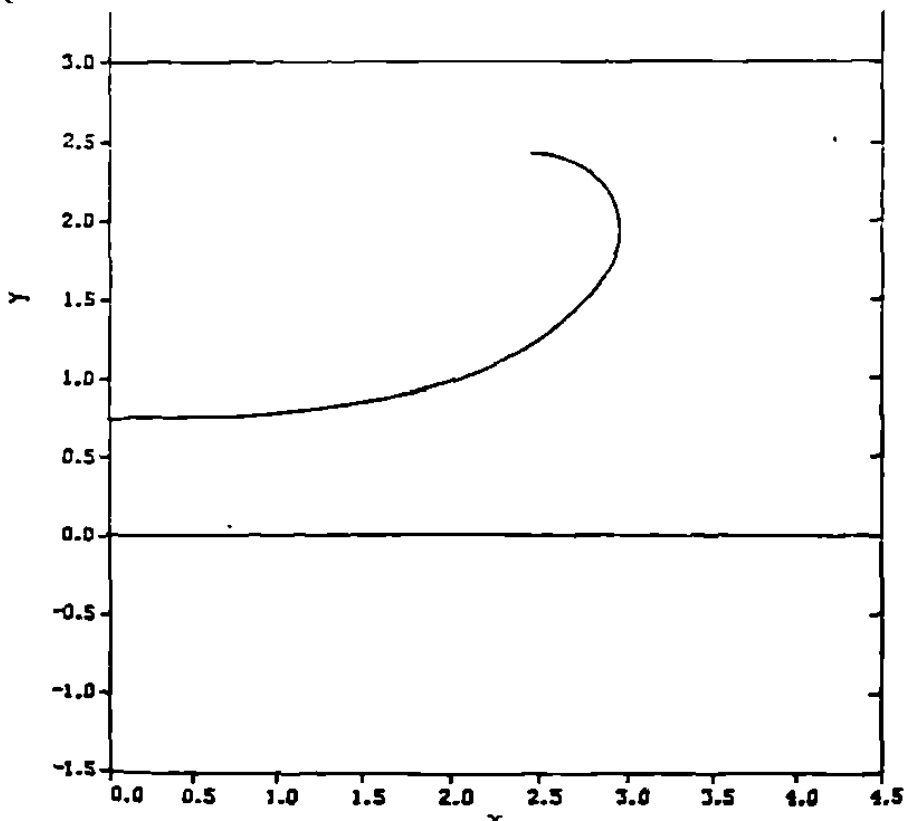
Esta cámara está compuesta básicamente por la pareja de electrodos (ánodo-cátodo), el sistema de preionización, y por algunos elementos para la guía del flujo de gas. El ánodo puede ser una superficie plana con perforaciones para el paso de luz ultravioleta; el cátodo debe ser fabricado con un contorno especial para la distribución uniforme del campo eléctrico en la zona de ganancia y para la reducción gradual del campo, fuera de esta zona.

Normalmente se utilizan las ecuaciones de líneas equipotenciales denominadas de Rogowsky:

$$X = A * (B + \text{COS}(C) * \text{EXP}(B))$$

$$Y = A * (C + \text{SEN}(C) * \text{EXP}(B))$$

Un contorno típico calculado de esta forma se muestra en seguida :



CAPITULO V

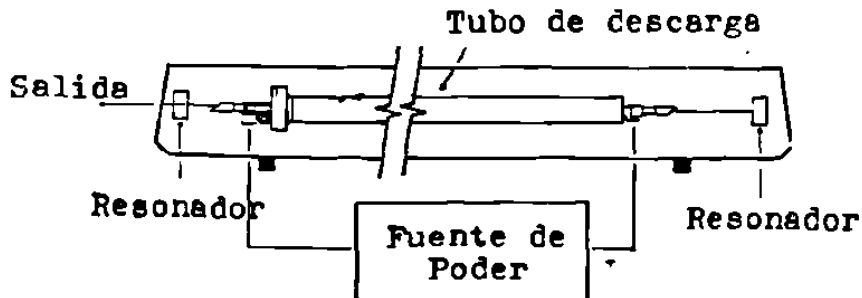
TIPOS DE LASERS

5.1 LASERS IONICOS

El laser de ion básicamente consiste de tres componentes: el resonador, el tubo de descarga, y una fuente de poder. El resonador consta de dos espejos perfectamente alineados que forman una cavidad resonante . Uno de estos espejos es totalmente reflejante mientras que el otro es parcialmente reflejante, permitiendo que una parte de la energía luminosa salga del resonador como potencia de salida. La fuente de poder produce una corriente a través del tubo de descarga. Los lasers iónicos de alta potencia usan típicamente gases de argon o Krypton como medio para la obtención de altas ganancias.

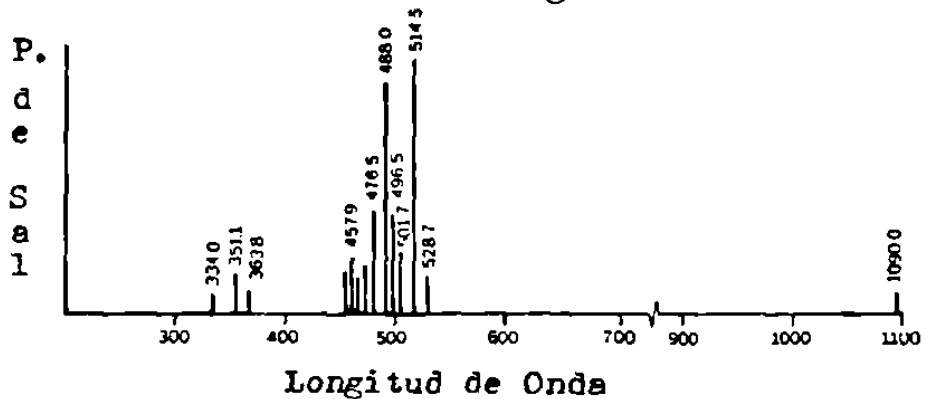
Durante la descarga, átomos ionizados de gas son excitados mediante la colisión de éstos con electrones provenientes de la descarga eléctrica. El laser entonces se produce por la emisión estimulada de fotones, de varios estados excitados, al pasar a sus estados básicos.

El Laser Ionico



Los lasers Iónicos muestran altas ganancias y generalmente tienen las potencias de salida más altas también. Las longitudes de onda más fuertes se presentan en la region azul-verde del espectro electromagnético, con algunas emisiones moderadas en las zonas del ultravioleta y del infrarrojo. Las dos longitudes de onda primarias se encuentran en 488 nm (azul) y en 514.5(verde). Las potencias de estas longitudes y de las adicionales se deben sumar para obtener la potencia de salida del laser.

Espectro en un Laser de Argon

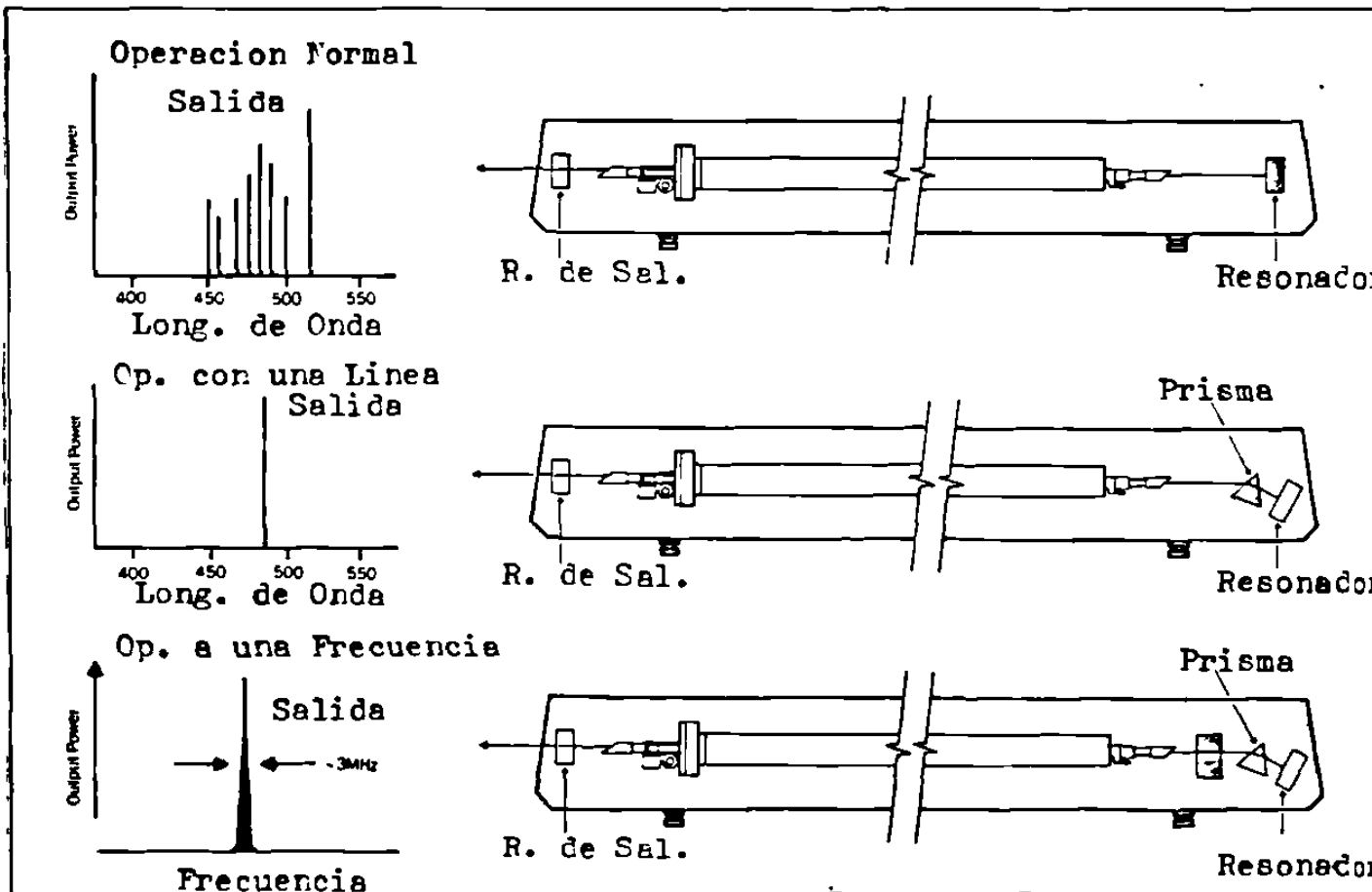


La gráfica anterior muestra la potencia de salida relativa en función de las longitudes de onda presentes en el laser de argón. Para tener una potencia máxima de salida debe tenerse mucho cuidado en la limpieza de los componentes ópticos. Esta es una de las desventajas de los lasers de argón.

Operación con una sola línea:

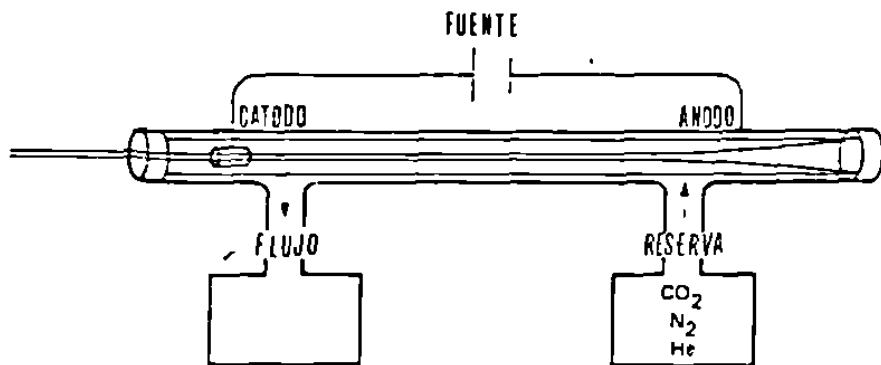
Este tipo de operación se consigue con la utilización de un prisma colocado dentro de la máquina laser. El ensamble consiste de un prisma con un ángulo especial (Brewster) y de un reflector total.

El efecto dispersivo del prisma se usa para tener una sola línea de láseo dentro de la cavidad resonante del laser. Si movemos el prisma con respecto al eje longitudinal del laser se pueden tener diferentes líneas con sus diferentes ganancias.

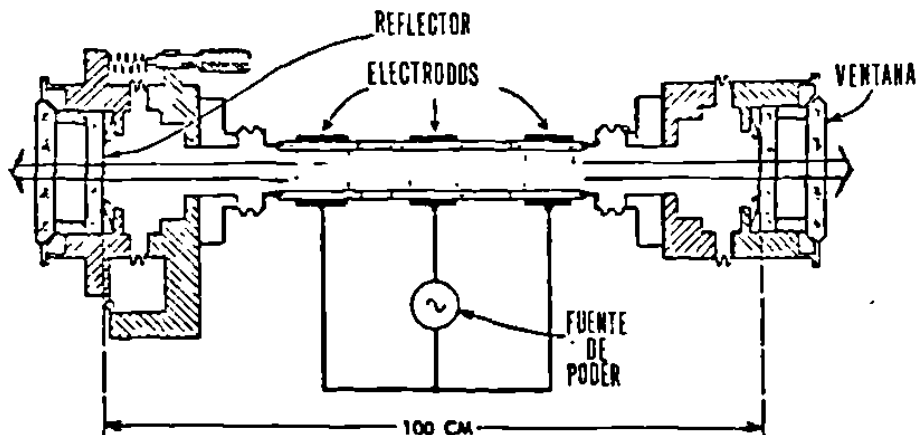


5.2 LASERS DE FLUJO AXIAL 7

En esta categoría se encuentran típicamente los lasers de baja energía para usos de: laboratorio, telemetría, holografía, inspección de materiales, topografía y algunas aplicaciones para medicina.



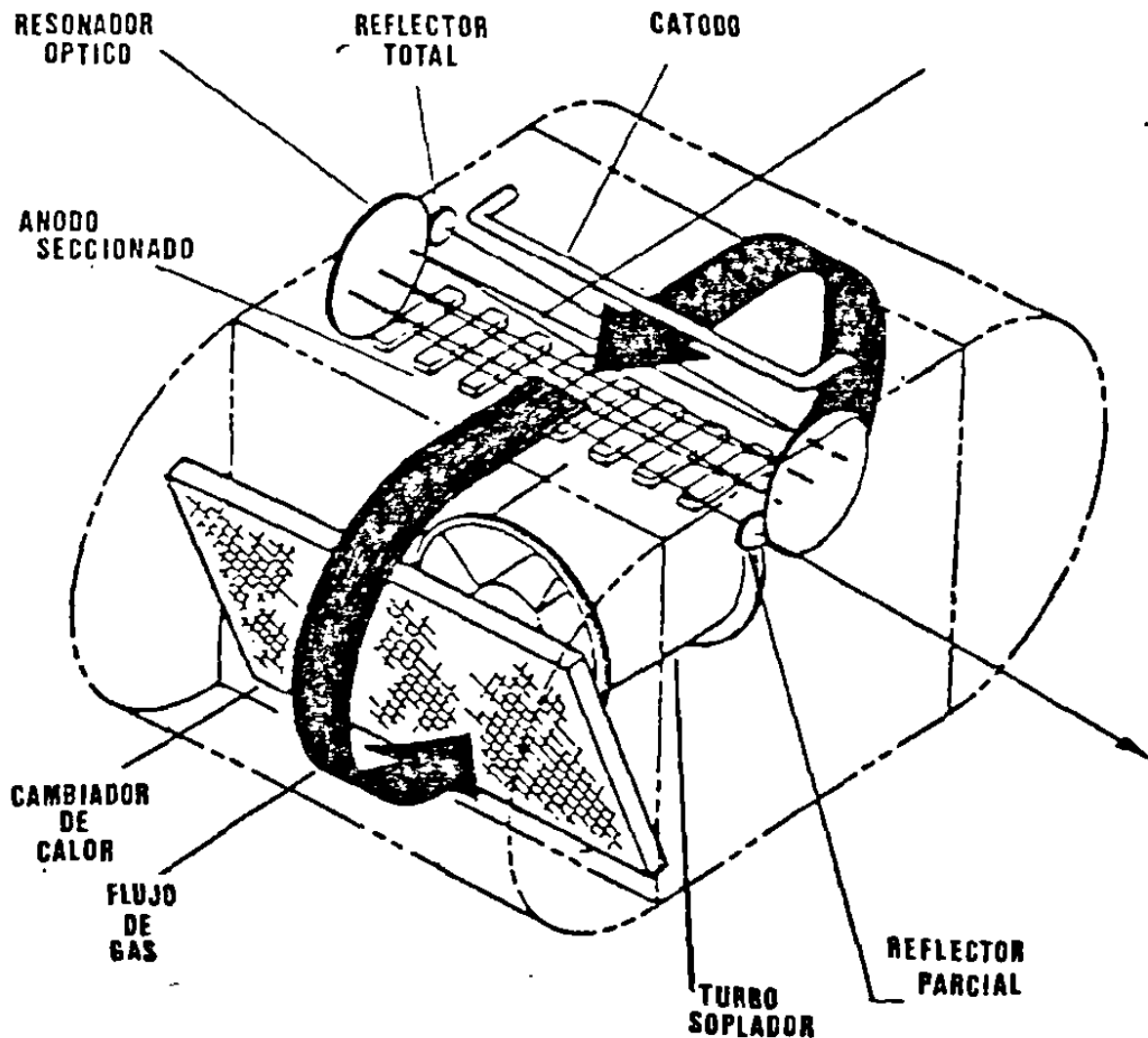
Se construyen por lo general de pyrex; los espejos se sellan directamente a la cavidad y el sistema se carga de gas o se acompaña con una reserva que puede ser recargable. Normalmente no requieren de enfriamiento y las potencias típicas son del orden de 1 a 150 mwatts. (10E-3).



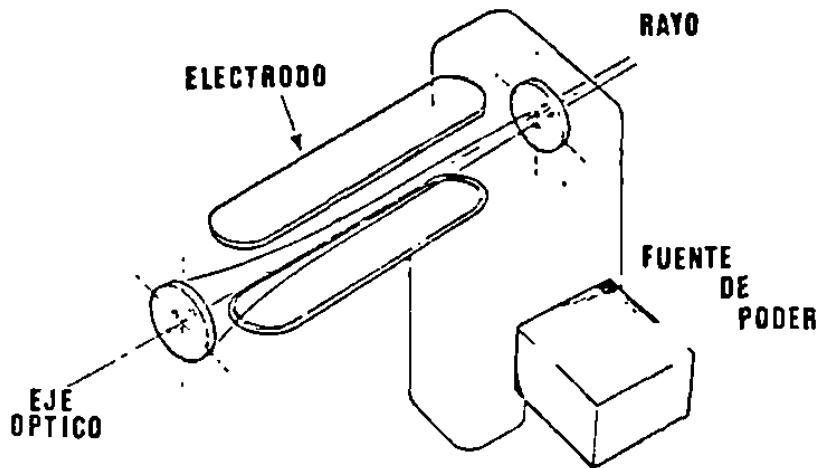
5.3 LASERS DE FLUJO TRANSVERSAL

En esta categoría entramos a los lasers de uso industrial. Sistemas de potencia media y alta. (15 a 25 KW).

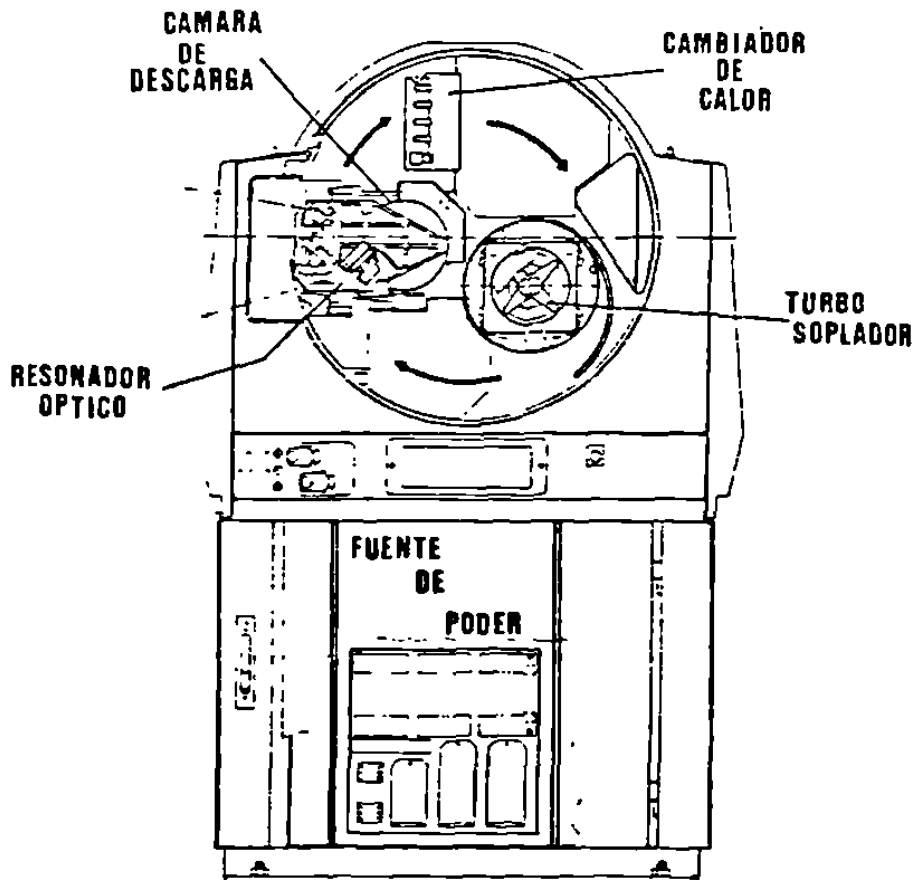
El nombre lo obtienen por la forma en que el gas circula por la cavidad, esto es, el gas fluye en dirección transversal con respecto a la cámara de la descarga y al eje óptico. Los electrodos se configuran en una geometría especial que evita la formación de arcos durante la transferencia de energía del circuito eléctrico al gas.



En la página anterior se muestra una de las primeras configuraciones empleadas en sistemas de CO₂. Actualmente los electrodos se diseñan de forma que el campo eléctrico se distribuya uniformemente sobre un determinado volumen y en conjugación con el resonador óptico.



El siguiente es un arreglo comúnmente usado por los fabricantes europeos de equipo de flujo transversal.



CAPITULO VI
A P L I C A C I O N E S ⁷
I N D U S T R I A L E S

La aplicación del laser como herramienta industrial ha permitido realizar trabajos que anteriormente estaban sujetos a limitaciones, ya fuera en la rapidez del trabajo o en la precisión requerida.

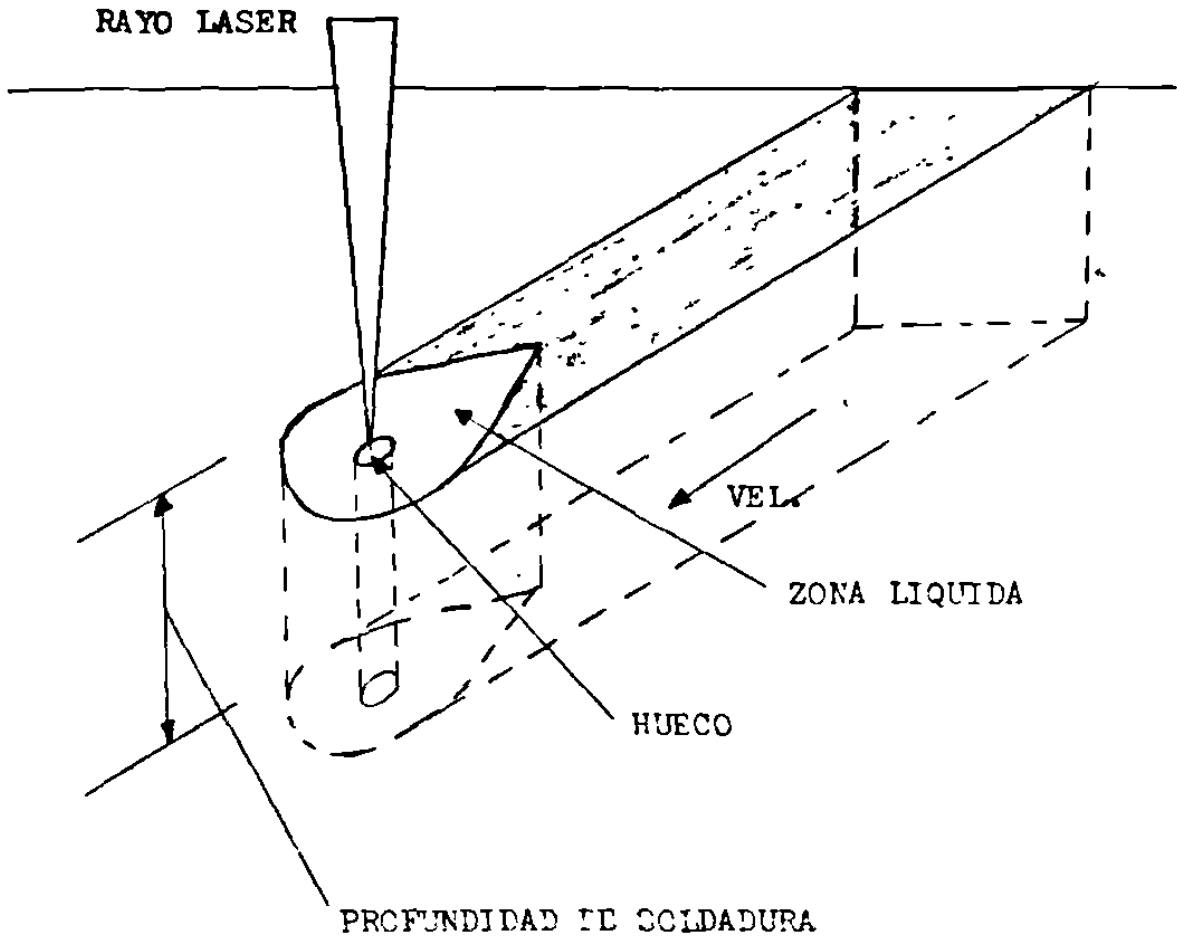
Un punto importante que debe tomarse en cuenta, es que antes de escoger un laser como una herramienta más para realizar un trabajo, todo un conjunto de condiciones debe ser analizado :

- a) Economía en el uso del laser.
- b) Escoger el laser apropiado.
- c) Diseño del sistema para manejar la pieza de trabajo.
- d) Sistema de retroalimentación con información del efecto del rayo en la pieza de trabajo.

Al escoger el laser debe ser considerado lo siguiente :

- a) La longitud de onda del laser debe ser absorbida por el material de trabajo.
- b) El nivel de potencia debe ser suficiente para la operación deseada.
- c) El pulso del laser debe ser de la duración requerida por el material.
- d) La repetición del pulso debe ser dentro del rango de aplicaciones.

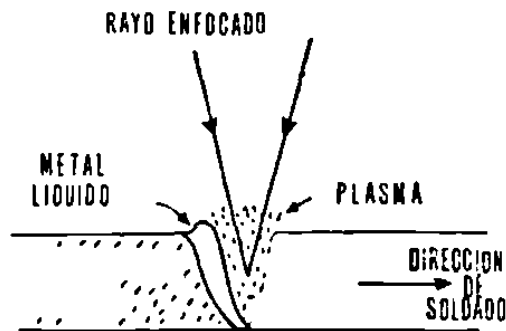
6.1 SOLDADURA CON LASER



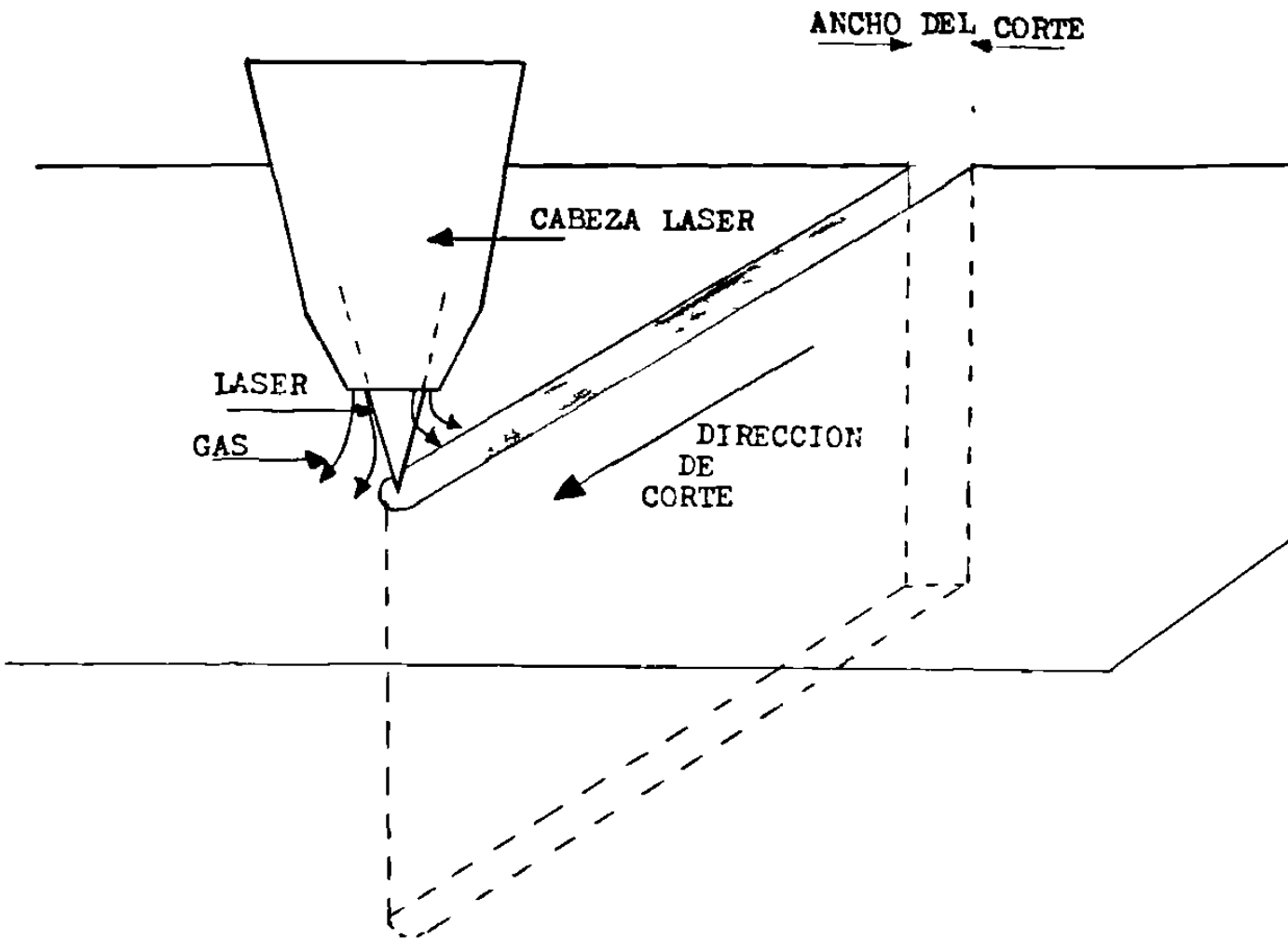
La figura anterior muestra esquemáticamente la soldadura con láser. Una zona de metal fundido es creado por el calor producido por el rayo láser; esta zona se desliza sobre la superficie de la pieza de trabajo. El ancho y la profundidad de la soldadura son funciones de la potencia del láser y de la velocidad de desplazamiento de éste.

En este proceso el haz de laser entrega la energía a la superficie del metal a una velocidad mayor de la que el metal es capaz de disipar como calor; como consecuencia se forma un pozo de material derretido, que contribuye a que la energía del laser se distribuya a través de la profundidad del pozo, siendo este mecanismo del que se toma ventaja para soldadura profunda con laser.

La siguiente figura representa el proceso físico y su aplicación



6.2 CORTE CON LASER



El intenso calor producido por el laser no solo funde el metal de la pieza de trabajo, sino que evapora dicho metal haciendo un corte en la pieza. El gas que sale de la cabeza laser sirve como soplador, llevandose con él fragmentos del metal, polvo etc., asegurando un corte limpio.

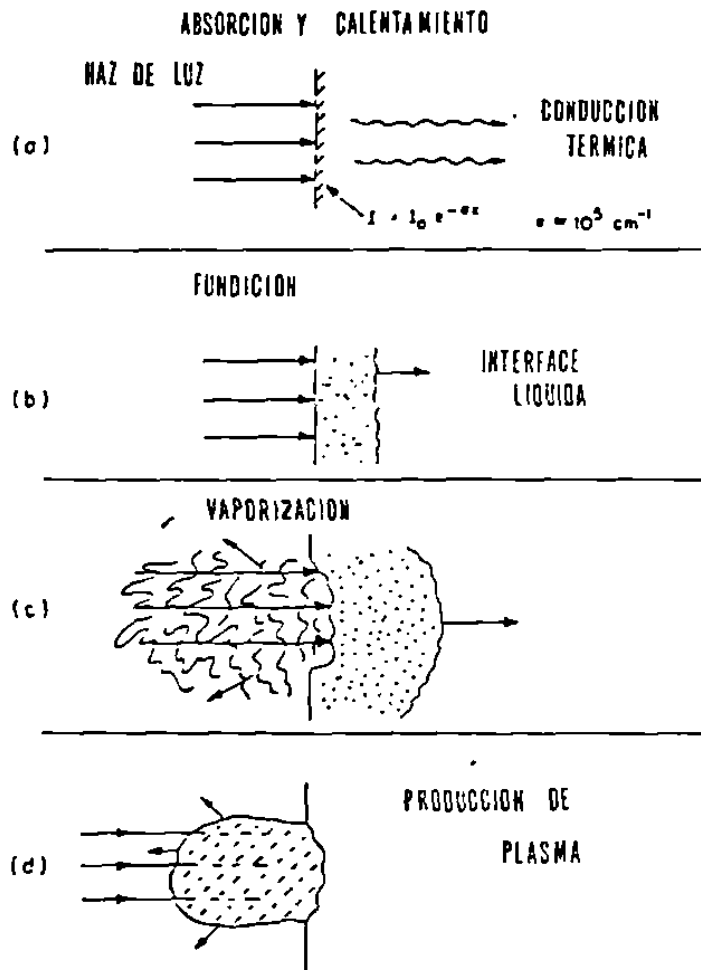
La siguiente es una lista de materiales que pueden ser cortados por el laser de CO₂ ; se indican algunos espesores del material asi como la potencia utilizada y la velocidad de corte utilizada para la toma de estos datos.

MATERIAL.	ESPESOR (PULG)	POTENCIA DEL LASER (WATTS)	VELOCIDAD DE CORTE (PULG/MIN)	GAS USADO
CUARZO	0.125	500	29	--
VIDRIO	0.125	5000	180	N2
MADERA	0.190	350	209	N2
MADERA	1.00	8000	60	--
TITANIO	0.670	240	240	O2
ACERO/CARBON	0.125	190	22	O2
SS 302	0.012	200	90	O2
SS 410	0.110	250	10	O2
SS 300	0.125	3000	100	O2
Al 6061	0.500	10,000	40	O2
Al	0.125	4,000	100	O2
Al	0.500	5,700	30	O2
FIBRA DE VIDRIO	0.500	20,000	180	--
HULE SINTETICO	0.100	600	189	--

Por ejemplo, en la industria de la ropa se utilizan sistemas de corte completamente automatizados. El sistema consiste de dos cabazas laser de 350 watts cada una, de un sistema óptico de entrega y afocamiento del laser, y de dos sistemas de posición (mesas x,y).

El movimiento del material y las cabezas laser se controlan con una microcomputadora; el laser se mueve alrededor del material el cual se fija a la mesa de corte por medio de un ligero vacío.

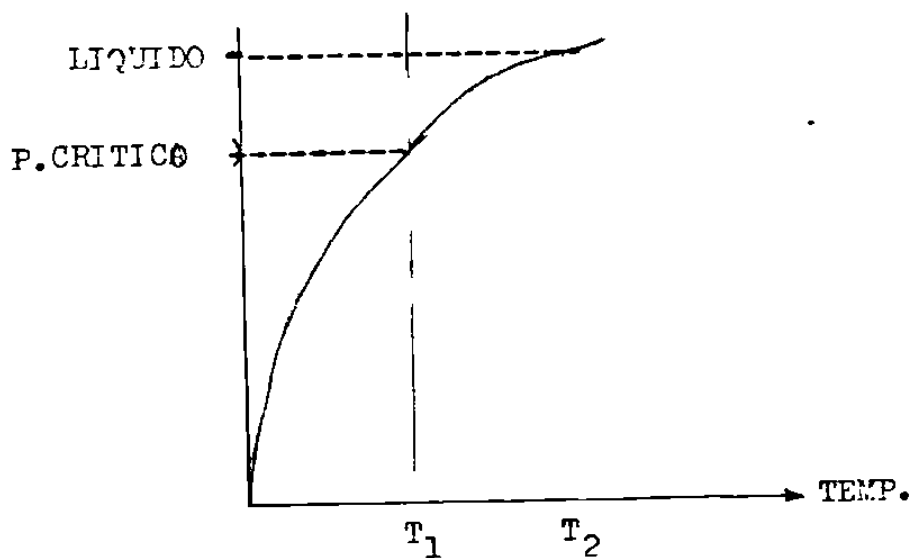
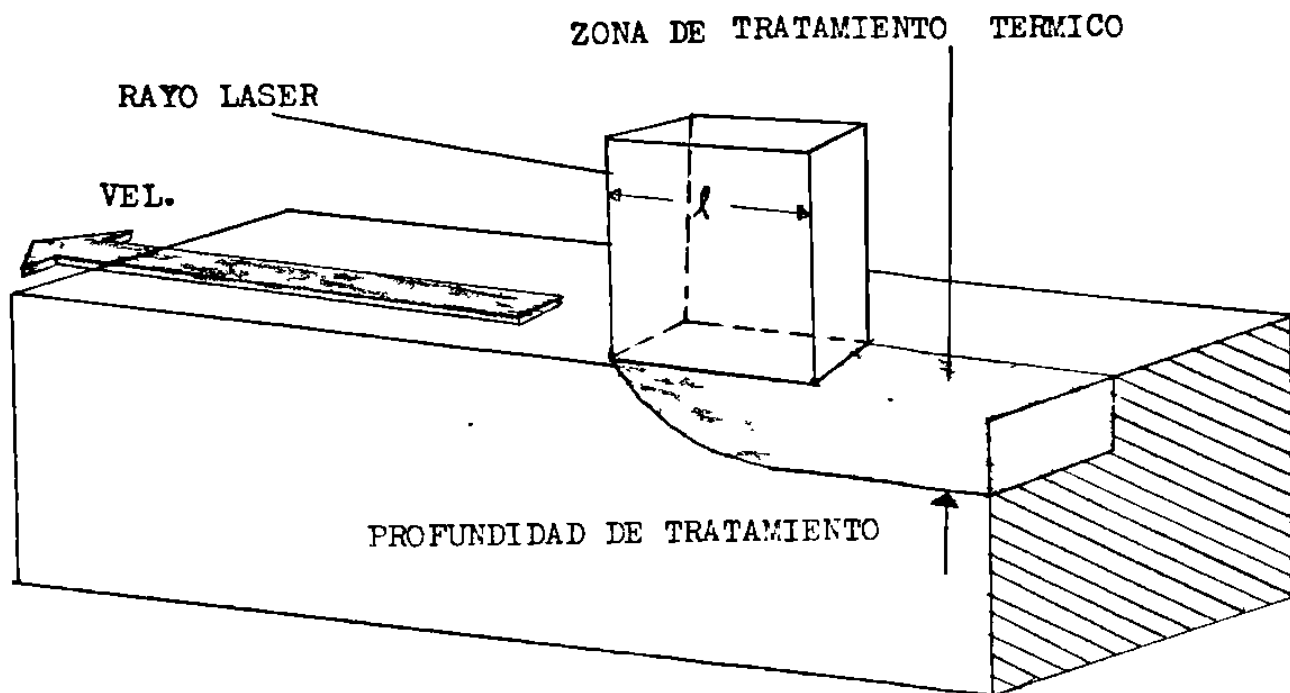
La siguiente figura muestra el proceso físico que ocurre cuando un haz de laser interactua con una superficie metálica.



Los siguientes son algunos valores estimados de la densidad de potencia, para lasers de CO_2 , que se requiere para el derretido y vaporizacion de metales :

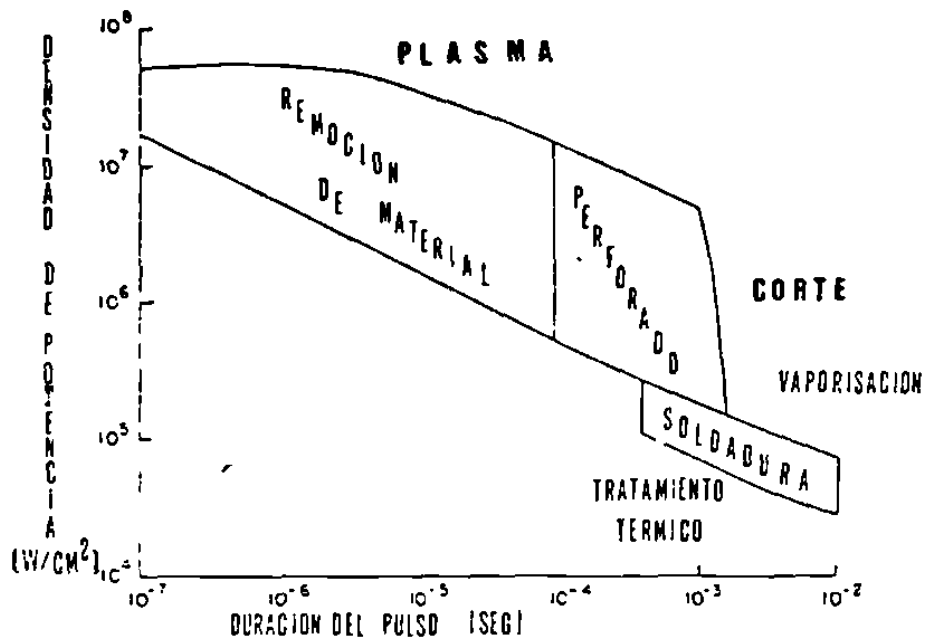
Derretido de metal	100,000 watts/cm ²
Vaporizacion de metal	1 a 2.5 MW/cm ²

6.3 TRATAMIENTO TERMICO CON LASER

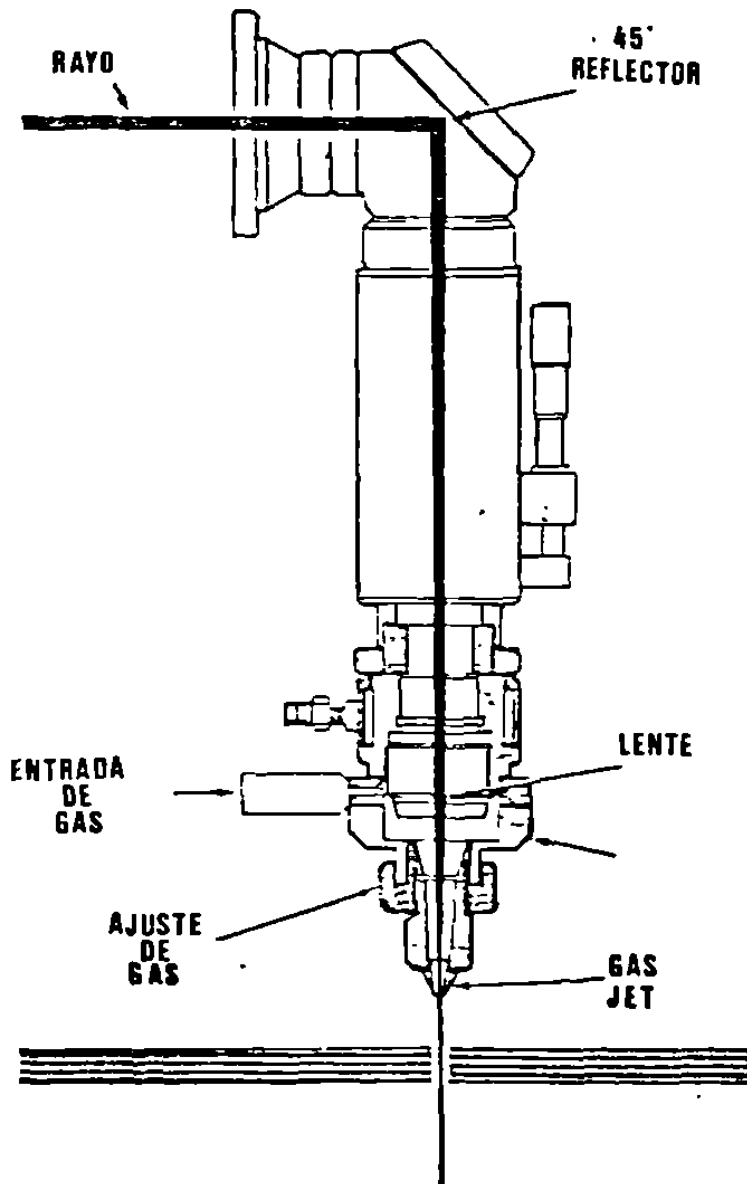


El tratamiento térmico se produce cuando se lleva el metal a un punto cercano al de fusión (T_1) produciendo un cambio en la estructura de la pieza.

La siguiente figura muestra la relación entre la duración del pulso del laser y la potencia del mismo, para diferentes procesos.



Como parte final de esta muestra de procesos básicos con lasers , se tiene en la siguiente figura un arreglo óptico para la entrega de la energía del laser a una pieza de trabajo.



CAPITULO VII

DETALLES DE CONSTRUCCION Y OPERACION DE UN LASER DE N₂ ⁴

7.1 PRINCIPIO ECONOMICO

Desde el descubrimiento del laser ultravioleta de nitrógeno por Heard en 1963, la potencia y la eficiencia eléctrica del laser de N₂ han sido incrementadas. En -- 1967 Leonard produjo un producto comercial con una potencia de cerca de 100 KW. En el presente, pueden conseguirse lasers de N₂ del orden de MW, y un laser que produce 2 Gigawatts ha sido anunciado recientemente.

Los pulsos de ultravioleta (337 nm) ahora en el mercado son eficientes bombas ópticas para los tintes de -- laser, los cuales constituyen el principal uso de los - lasers de nitrógeno.

Mientras que las aplicaciones de los lasers han aumentado constantemente, el costo de los elementos comerciales ha permanecido aproximadamente constante ($\$ 10^4$). No hay duda de que un principio económico fundamental es aplicable. Pero es posible hacerlo mucho menos costoso si se aplica tecnología simple. El laser de nitrógeno que será descrito a continuación no contiene componentes que no hayan sido fabricados hace 100 años, y puede ser escalado hasta producir picos de potencia del rango de MW.

7.2 LA ACCION LASER EN LA MOLECULA DE N₂

En general, la accion de laser comienza cuando una molécula de N₂ a temperatura ambiente, absorbe energía de un electrón de la descarga con el que choca. El encuentro deja a la molécula en un estado no estable. Usualmente cae espontáneamente a un estado de menos energía, emitiendo un fotón de radiación a 3,371 Amstrons. El fotón emitido puede encontrar otra molécula excitada de N₂ y -- simplemente por su proximidad, estimula a la molécula a emitir un fotón idéntico.

En este caso las dos partículas de radiacion juntan sus fuerzas y proceden en la misma direccion, con sus ondas en fase. El pulso de radiación resultante contiene 2 veces la energia de cada fotón. Esta es la acción laser.

La acción continuará mientras el creciente pulso encuentre más moléculas excitadas de N₂. El proceso sin embargo, pronto para, porque cuando un gran número de moléculas son excitadas repentinamente, empezarán a caer aleatoriamente a estados más bajos de energía.

Desafortunadamente, en el caso del N₂, las moléculas se dilatan más en ese nivel bajo que en el nivel superior antes de moverse a estados aun más bajos. Un número de moléculas en estado bajo de laseo se estructuran rápidamente excediendo el número en el nivel superior y así -- terminando la amplificación.

7.3 NECESIDADES ESPECTROSCOPICAS

El record del continuo mejoramiento del laser de N_2 es debido casi enteramente a las exitosas aplicaciones de alto voltaje y alta corriente producto de tecnología de pulsos. Con alta potencia de bombeo es posible crear grandes ganancias de laser en descargas sobre gas N_2 .

El fenómeno de transición laser de 337.1 nm en la molécula de N_2 puede ser comparado con un sistema electrónico de cuatro niveles. Un electrón en la molécula de N_2 es llevado del estado de tierra al nivel de laser superior por medio de una colisión con un electrón libre de la descarga. La molécula entonces se relaja al nivel de laser inferior debido a la emisión de un cuanto de luz de 337.1 nm. de longitud de onda por medio de "Emisión espontánea" o "Emisión estimulada".

El tiempo de vida del nivel es muy importante. -- El nivel superior de laser tiene un tiempo de vida de 40 nanosegundos y luego decae por emisión espontánea.

El nivel de laser inferior tiene una vida en el rango de los microsegundos. Esta disparidad en tiempos de vida significa que una población de moléculas en el nivel superior, rápidamente decaerán al nivel inferior y entonces se apilarán ahí.

Es por esta razón que la inversión de la población y la ganancia del laser son autoterminables.

Hoy en día, no ha sido encontrada una manera práctica de despoblar el nivel inferior más rápido que el superior. Solo operaciones pulsadas han sido posibles y el pulso típico de salida para lasers de N_2 tiene una duración de 10 nanosegundos.

El criterio básico de diseño de un laser de N_2 , por lo tanto, es excitar el mayor número de moléculas posible y hacerlo en menos de 10 nanosegundos. El objeto es usar la ganancia disponible antes que el laser se apague él mismo. Una descarga eléctrica es normalmente usada. Densidades de corriente típicas son del orden de 10^5 amperes/metro; dejando la descarga de corriente encendida, no produce ninguna salida adicional de luz laser.

Hay muchos esquemas para producir alta corriente con rápido tiempo de crecimiento. La mayoría de estos involucran capacitores que descargan su energía almacenada por medio de Spark-gaps de alto voltaje conocidos como Thyratrones. El diseño más exitoso muestra una característica interesante; para minimizar a la inductancia del circuito, la mayor descarga de corriente no fluye a través del switch.

7.4 DETALLES DE CONSTRUCCION

La literatura científica reciente es abundante en cuanto a lasers de N_2 se refiere. Descripciones y diseños de variada complejidad y funcionamiento están disponibles para ser consultados. La construcción más simple de los lasers conocidos hasta ahora es el de N_2 , que es también un diseño de alta ganancia. Un laser de este tipo y del tamaño de un escritorio común, puede producir una potencia de un megawatt. El modelo descrito a continuación producirá de 100 a 200 KW.

La descarga (corriente) para este laser fluirá transversalmente a la dirección de la salida de luz. La corriente tiene un tiempo de crecimiento del orden de un nanosegundo y una magnitud de decenas de kiloampers (una corriente de 50 KA a 20 KV representa una potencia de 10^9 Watts). El laser consiste de 2 placas o capacitores de baja inductancia, un spark-gap, una caja hecha de plexiglas con electrodos y un pequeño inductor. Los capacitores son hechos de placas para circuito impreso, las cuales tienen cobre en ambos lados. Estas placas están disponibles y puestas en el mercado por muchas compañías en una gran variedad de espesores. Ambos capacitores están formados sobre una sola pieza de placa midiendo 30 X 60 X 0.04 cm. Se remueve cobre del margen (2 cm.) en ambos lados de la placa; otros 5 cm. adicionales también son removidos de la parte central del lado superior de la placa con el fin de separar los dos capacitores.

Los lados inferiores de los capacitores se dejan conectados; para hacer lo anterior la placa debe protegerse con cinta a prueba de agua o pintura de aceite y luego sumergirse en una solución de ácido nítrico diluido. El dieléctrico de la placa debe ser suficientemente delgado pero que pueda resistir alto voltaje. Estos tipos de circuitos operan con valores nominales de 1 KV/mil de espesor o 20 KV para la placa usada aquí.

La caja de plexiglas sostiene los electrodos de cobre y la baja presión a la que se encuentra el gas N_2 . Esta mide aproximadamente 4 X 4 X 60 cms. Cuando se completan estos elementos, los pedazos de cobre serán los electrodos que deben de ir en el centro de la columna rectangular, paralelas y separadas por 2 cm. aproximadamente.

El inductor, L, sirve como puente de la corriente directa entre los 2 capacitores durante la carga. Esta hecha de alambre del N° 20 y con 2 cm. de diámetro y casi 2.5 cm. de longitud. Está soldada a los dos electrodos fuera del tubo de vacío. Los electrodos de cobre, entonces son soldados a los capacitores, formando el circuito eléctrico mostrado en la figura "A". El valor de la resistencia no es crítico. Puede tomar un valor de 80 K Ω y trabajará muy aceptablemente.

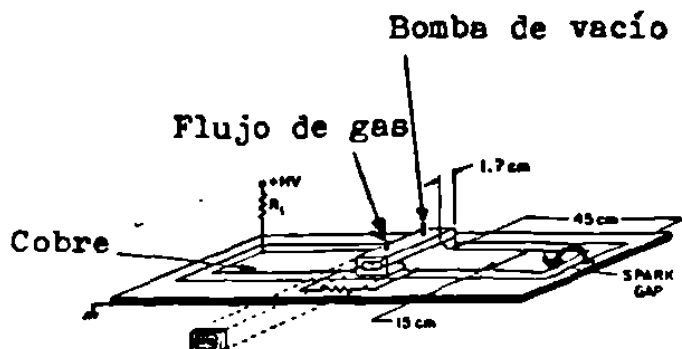
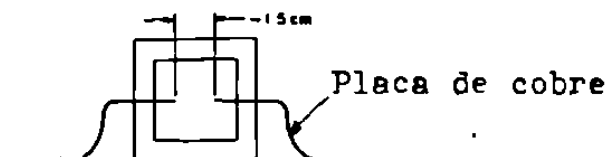


FIGURA "A"



Dos pedazos de cristal o cuarzo sirven de ventanas de salida para el rayo laser y son además los que completan la caja de vacío.

La caja también lleva dos entradas las cuales son: una para conectar la bomba de vacío y la otra para el proveedor de gas. Las dimensiones de estos orificios no son importantes. Como los requerimientos de vacío son modestos (una presión de operación de cerca de 100 Torr) todas las piezas de la caja deben estar selladas. Se recomienda usar silicón ó cera para este caso. La cera permite ser removida para así tener acceso a las paredes interiores tanto de la caja como de los cristales y poder hacer limpieza de estos si es necesario.

Es buena idea cortar los extremos de la caja de plexiglas a un ángulo de $\sim 30^\circ$ (ángulo de Brewster). Así, reflexiones de los cristales no retroalimentarán el laser ni éste será amplificado.

Un pequeño spark-gap es también requerido. El objeto de este disparador es el de cortocircuitar rápidamente uno de los capacitores. Debe ser de baja inductancia, por eso se recomienda que se use en su construcción un tornillo, en lugar de alambre, además de que al usar el tornillo se puede calibrar el switch y conseguir el disparo al voltaje deseado.

Un spark-gap abierto trabaja satisfactoriamente; pero es muy ruidoso y produce flashes muy brillantes de luz--ultravioleta, la cual puede interactuar con el laser. Se recomienda entonces, una cubierta hecha de tubo opaco.

7.5 EL CIRCUITO DE BLUMLEIN

El arreglo de los capacitores y el spark-gap mostrado en la figura "A" se conoce como un circuito Blumlein. El circuito formador de pulsos fue desarrollado por Allen Dovel Blumlein, un ingeniero en radar Ingles, durante la segunda guerra mundial. Los dos capacitores paralelos de la figura pueden ser vistos como una línea de transmisión de baja impedancia.

Cuando el final de una línea de transmisión es cortocircuitada, una corriente fluye con magnitud dada por el voltaje de carga dividido por la impedancia característica de la línea. $I = V/Z$. El uso de la línea de placas paralelas de muy baja impedancia, (en este caso ~ 1 ohm) y voltajes de 20 KV, permite descargas de 20 KA.

El laser representa una discontinuidad de impedancias entre las dos líneas. Cuando el escalón de voltaje alcanza el laser, ocurre una reflexión, la cual causa -- que la caída de voltaje a través del laser sea dos veces el voltaje de carga de la línea. Bajo estas circunstancias el circuito Blumlein es un duplicador de voltaje. La descarga, entonces, procede a atravesar la total -- longitud del medio laser, posiblemente asistido por la fotoionización producida por la misma descarga.

La línea cargada remanente se descarga a través del laser. La corriente que maneja el laser no fluye simultáneamente por el switch.

La idea de usar capacitores resonantemente descargados en circuitos duplicadores de voltaje es mucho muy vieja, pero Blumlein parece haber pensado en esto como una línea de transmisión en descarga.

Shipman en 1967 usó una línea de transmisión de placas paralelas (en una vieja versión del circuito) en un laser de un solo pulso de N_2 el cual produjo 2.5 MW. Small y Ashari enseñaron que descargas sobre gas N_2 a una presión típica de operación permanecían confinadas a una región de alta corriente, sin necesidad de paredes "confinadoras". Es este truco (una cámara de baja presión) el que hace al laser de N_2 un instrumento práctico. El diseño de la figura "A" mantiene las paredes bien alejadas de la descarga, evitando quemar las paredes del plexiglas.

Así, la vida del laser es grandemente extendida y un problema es eliminado. Paredes muy cercanas unas a otras-- reflejarán la luz a través del canal de descarga y producirán un rayo más brillante en las orillas y debil en el centro. Si las paredes no están cerca unas de otras, y si están razonablemente espaciadas el rayo producido - será más uniforme y más brillante en el centro. Con un solo espejo reflejante en un final de la caja de plexi-glas, el laser de la figura "A" producirá de 100 a 200 KW.

El rayo producido es rectangular, midiendo 1 cm. X 3 mm. en la ventana de salida. La vida del laser es de unos 10^7 pulsos. La falla más común en este tipo de circuitos es la ruptura del dieléctrico que cortocircuita las placas superior é inferior. Pero estos huecos pueden ser reparados, (o al menos ignorados) removiendo cobre de una área circular de 5mm al rededor del pequeño hueco, después sellando este con cemento en pasta.

7.6 INSTRUCCIONES FINALES DE OPERACION

Un vacío muy modesto es necesario para operar el laser. Alimentando gas Nitrógeno en un rango de presión de 30 a 100 Torrs trabajará bien. Una bomba de vacío simple es adecuada. Sin embargo, un considerable ahorro sobre el equipo puede ser realizado si usamos un aspirador de agua, un elemento bien conocido por Quimicos y usado - ampliamente. Un aspirador común puede producir un vacío de alrededor de 10 Torrs.

Probablemente la más conveniente fuente de poder para este laser es un transformador de alto voltaje usado para los anuncios luminosos. El laser trabajará con un transformador de corriente alterna como también con corriente directa . Los transformadores diseñados para anuncios eléctricos pueden operar bajo cortocircuito sin sobrecalentarse ni dañarse. El laser, sin embargo, representa una carga capacitivamente reactiva; el transformador, por su naturaleza es una reactancia inductiva, entonces una carga resonante ocurrirá aquí. Las corrientes de carga pueden exceder a la corriente de corto-circuito y pueden causar daño al transformador si la resistencia de 80 Kiloohms no es incluida en el circuito laser.

Una pequeña batería y un circuito electrónico a base de transistores cuya salida son varios Kilovolts, pueden cargar los capacitores del laser a una baja frecuencia.

--

A P E N D I C E



CHARACTERISTICS OF SOME COMMERCIAI,LY AVAILABLE SWITCHES

	Spark Gaps					Roll Gaps	
	40065*	40044*	492 ⁺	670 ⁺	508 ⁺	200k ⁺	40100* 40102*
V operate max/min kV	100/25	50/20	120/20	100/20	120/20	225/20	100/50
V trigger kV	60-100 ²	30-50					100 ³ 40
I max kA	50	50	35	100	140	140	750
C transferred C	0.5	.3	.5	.15	2.0	2.0	10
J filter ns	0.5	.5					2
Inductance nH	40	70					20
Life shots	10000	10000	1000	10000	1000	1000	5000
Rep rate pps	1 ¹ 1	1 ¹					

* Maxwell Laboratories

⁺ Physics International

1 5 sec/inft

2 6 kV/ns risetime

3 5 kV/ns risetime

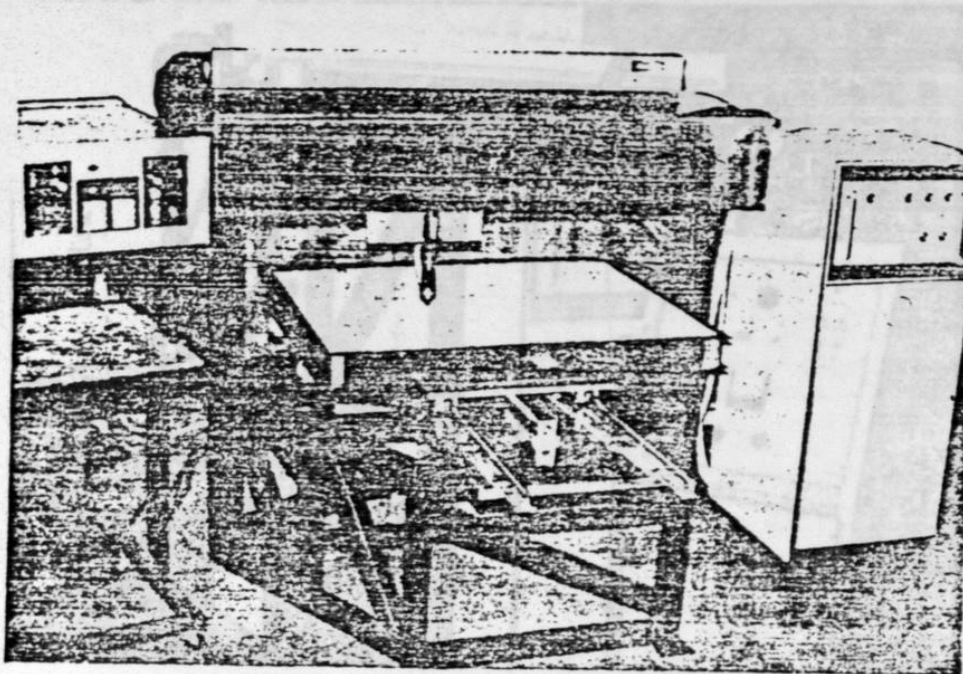
IMPULSE DIELECTRIC CONSTANTS AND BREAKDOWN STRENGTHS

Material	Dielectric Constant (Relative to ϵ_0)	Breakdown \bar{E} MegaVolts/cm.
Air	1.0	.13
Transformer Oil	3.4	1
N ₂	1	pressure dependent
SF ₆	2.5	pressure dependent
H ₂	1.0	pressure dependent
SF ₆ (30%) + Air (70%)	2.0	pressure dependent
H ₂ O	.81	0.5
Mylar	3	1.8
Polyethylene	2.25	1.77
Teflon	2.1	4.33
Polycarbonate	2.96	5.51



T-300 LASER CUTTER

Designed Specifically For Laser Processing Of Flat Materials



T-300 System shown with 80 watt laser and optional vacuum work support

- High Accuracy
- Speeds Production Of Prototypes
- Cutting, Welding, Drilling
- CNC Programmable Control
- Low Capital Investment
- Low Operating Cost
- Low Maintenance
- No Tool Wear
- Cutting Speed Up To 600 Inches Per Minute
- Total Turn-Key System
- Easy To Operate
- Safe To Operate
- Standard 4' x4' Area

PROMINENT FEATURES:

THE SYSTEM

The complete T-300 laser system consists of an 80 to 800 watt CO₂ laser, beam delivery, industrial duty X-Y table and drive, and CNC programmable control. The entire system represents state-of-the-art technology in laser machining capabilities. The T-300 series can cut, drill, and weld many materials at speeds which can exceed 600 inches per minute. This is a system designed with production knowledge gained in a laser job shop for processing flat or multilevel formed sheets up to 6" thick.

OPTIONS AND ACCESSORIES

TYPICAL APPLICATIONS

- Cutting letters from 1/2" acrylic sheet.
- Cutting stencils from 3 mil mylar.
- Cutting 1/8" to 1" plywood, any shape.
- Cutting all thin sheet plastics.
- Cutting styrene, polyester, G-10, Teflon, nylon, vinyl.
- Cutting all fabrics including Kevlar™ & Nomex™
- Cutting prepegs and composites.
- Cutting sheetmetal (requires larger lasers).
- Heat treating.
- Drilling .004 holes on .010 centers.
- Welding .002 stainless to .100 stainless.
- Welding .060 steel.
- Cutting holes in vacuum formed parts.



Laser Machining,

Laser Graver



• THE AFFORDABLE LASER ENGRAVING SYSTEM •

SYSTEM OVERVIEW

The Laser-Graver is an easy to operate, reliable three component machine suited to distinctively marking a wide variety of materials. It is designed to produce variably sized engraved areas on single or multiple piece orders. The first component is an oscillating table on which both the black and white copy and the article to be engraved are mounted. The table travels back and forth at adjustable rates and is simultaneously advanced to produce a controlled cut. The second component, an LED photoelectric sensor, scans the artwork and generates a signal that controls the third unit, the cutting laser.

PROMINENT FEATURES:

- Laser engraving directly from black and white artwork on a one-to-one ratio.
- An economical engraving system especially designed for personalizing and producing small to medium sized lots.
- Versatile, quick setup for engraving areas from 1/4" x 1/2" up to 24" x 24".
- Engraves wood, plastics, glass, ceramic, ivory, leather, stone.
- Laser engraving eliminates tool wear.
- A complete engraving system including installation.

OPTIONS AND ACCESSORIES

- Second laser and beam delivery. Doubles production capacity.
- Rotating fixture to engrave round objects, 2" to 6" diameter.
- Skip option: simply programmed limits for skipping blank areas.
- Longer table travel for moldings, frames, signs, etc.
- Fine detail sensor.
- One-way engrave, ie, laser only firing in one direction.
- Higher power laser or larger table.



Laser Machining,

Recording devices strobed with

Copper Vapor Lasers

by Stephen C. Picarello

Triggering capabilities provide applications in ballistics, flow visualization, and industrial research

A copper vapor laser (CVL) offers unique tools for high speed imaging using film, video or even still photography techniques. Its electronic triggering capabilities make it easy to synchronize with any recording device or event that produces a compatible strobe pulse.

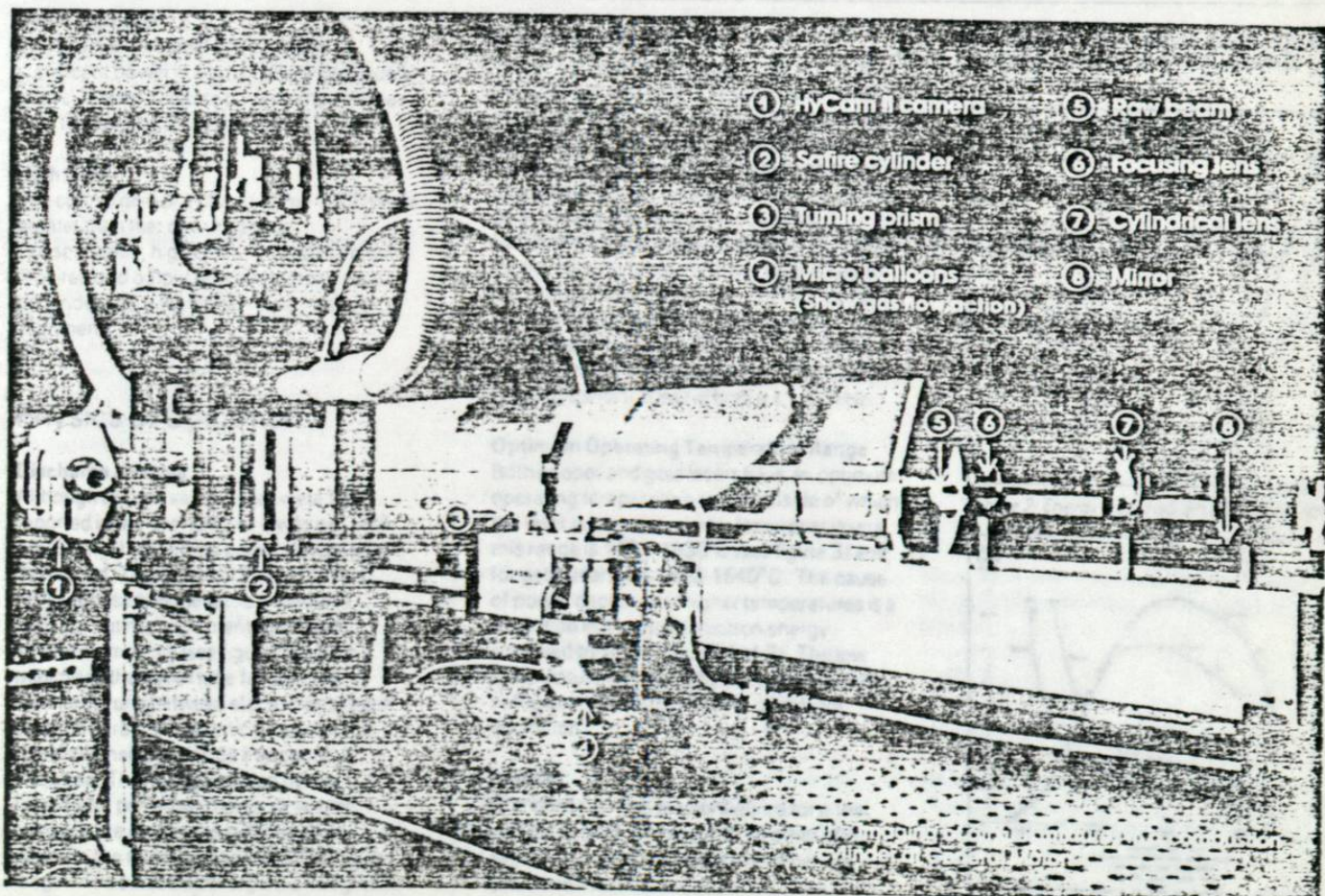
Some of the recording devices in use with CVLs are high-speed film recording systems such as Hycam or Photec cameras and high-speed video recording systems like the Spin Physics SP-2000 or Ektapro. Standard video recording devices can also be used when the laser is in sync with the recorded event rather than the recording device. Images have been produced using a 35mm camera where the

laser was single pulsed with the camera shutter open.

Copper vapor lasers have been commercially available for only four years. Of metal vapor lasers, copper systems have the most applications including high speed imaging, scientific research and forensic investigation. Lasers using gold are limited mostly to medical applications, and other metals such as lead and mercury are still only in experimental stages.

Specifically, the CVL is being used in:

- **BALLISTICS.** To study in flight or impact characteristics
- **FLOW VISUALIZATION.** For work in wind tunnels or water tanks



PRINCIPLES OF OPERATION

Metal Vapor Lasers

Copper and Gold lasers are *cyclic* metal vapor lasers (MVLs). MVLs are a special type of gas laser. They differ from low power visible gas lasers such as the argon-ion (Ar^{+}) or helium neon, as follows:

Pulsed Operation

The laser output of a cyclic MVL is pulsed. Pulse repetition rates (prf) are typically in the range 2kHz to 20kHz which enables the output to be treated in the same way as continuous (CW) lasers for many applications. Pulse durations are between 10ns and 60ns.

High Efficiency

The efficiency (conversion of electrical power into laser output) of about 1% copper lasers, which is more than an order of magnitude higher than that of Ar^{+} lasers.

Metal Vapor

The alloy metal ions are excited by a samarium ion laser which is triggered by a triggering pulse from a metal charge storage pulse from a capacitor discharge.

Beam Diameter

The beam diameter is a function of any laser power and is typically available 20mm diameter and outputs are within the volume of the beam.

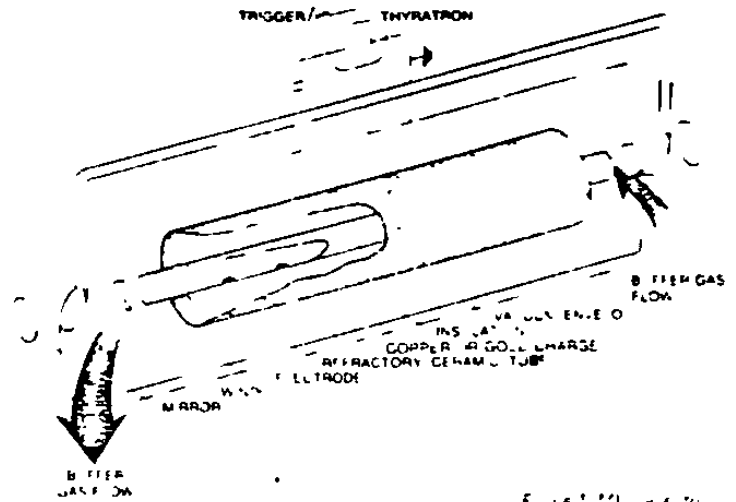
High Gain

The gain and efficiency of the laser are a function of the discharge current. Consistent high efficiency and low noise and output power are achieved by appropriate design and construction.

Physics of Operation

Discharge Heating

Although copper vapor lasers were first reported in the late 1960s, it was not until 1976 (ref 1) that a high power device was developed. The design of Oxford Lasers MVLs is based on the same wall-bore concept but is implemented with an inherent simplicity (see figure 1) which minimizes the risk of tube failure. The discharge runs between electrodes at each end of a refractory ceramic tube which is thermally insulated inside a vacuum envelope. The heat generated by the repetitively pulsed discharge raises the temperature of the tube sufficiently to vaporize the metal charge loaded along its length. The pulsed discharge then begins to excite the metal vapor. In preference to the high temperature of the discharge, the



Cyclic Metal Vapor Laser Systems

	Wavelength	Typical Output	Wave length	Typical Output
Copper	510.6nm	25W	578nm	17W
Gold	312.2nm	1A ¹	627.8nm	9W ²
Manganese	534.1nm	2W ¹	727.8nm	N/A ¹
Lead	722.0nm	3W ¹		
Barium	1130 nm	N/A	1500 nm	10W ¹

Pulsed Laser Action

Figure 2 shows the energy level diagram for the laser and the pulse characteristics are plotted by the emission detector. The ground state metal ions are excited by the discharge. The laser action is maintained on a continuous basis. The pulse characteristics are high (10ns) and the pulse energy is high (10mJ) and the pulse duration is long (50ns) at a repetition rate of 50kHz and the pulse duration is short (20ns) at a repetition rate of 20kHz.

Optimum Operating Temperature Range

Both copper and gold lasers have an optimum operating temperature range outside of which the laser power decreases. For copper lasers this range is 1480-1530°C (see figure 3) and for gold lasers it is 1590-1640°C. The cause of power decrease at higher temperatures is a reduction in the mean electron energy achieved by the discharge (ref 2). The low temperature limit is set by the requirement for sufficient metal vapor to be available for excitation.

Metals

Standard systems are configured for either copper or gold. There are three other MVL systems — lead, manganese and barium — if you have a special application requiring one of the other wavelengths contact us for details.

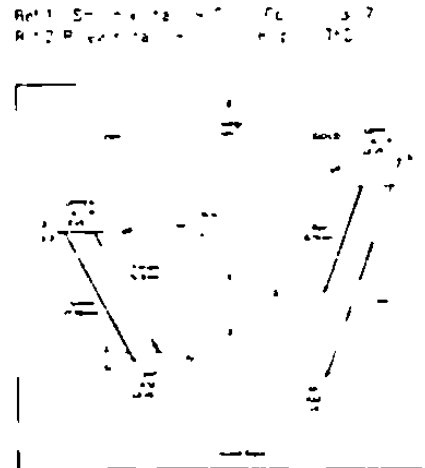


Figure 2 Energy level diagram for laser

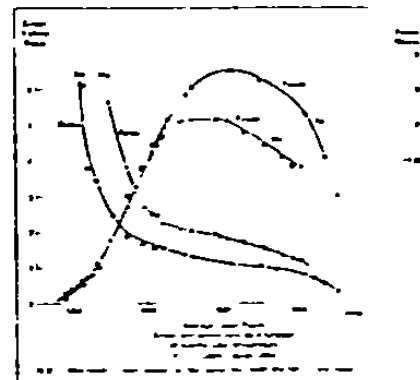


Figure 3 Copper and Gold laser power vs temperature

Oxford Lasers provides the most extensive range of MVLs — enabling the user to select the most cost effective and convenient solution for any application problem. As illustrated in the table, the various models fall into two groups — one with the flexibility of air-cooling (and freedom from three-phase power requirements) and the other with high average powers for those applications demanding larger pulse energies. All of Oxford Lasers' MVLs incorporate the same unique design features which give them their proven in-the-field reliability.

System Design

Oxford Lasers' MVL development program is soundly based on an innovative design philosophy, which succeeds in producing simple, yet elegant, solutions to the most demanding technological problems. The design of the high voltage circuit is just one example of Oxford Lasers' ability to get to the heart of a problem and deal with it effectively.

The High Voltage Circuit

All of Oxford Lasers' MVLs contain a special *power stabilizing* high voltage circuit. This circuit continuously monitors and adjusts power dissipation in the plasma tube both during the warm-up phase and during laser operation. Consequently, operator controls are not required after initial switch on. This is not the only benefit — the effects of this circuit contribute significantly to the performance of the entire system.

Thyratron Life

The unique features of our high voltage circuit ensure that the high voltage switch (thyratron) always runs in the *glow* mode. Erosion of the thyratron anode — with consequent failure of the component — is invariably the result of operation in the *arc* mode. Oxford Lasers' MVLs have clocked up tens of thousands of hours of *in-the-field* operation without wearing out a single thyratron.

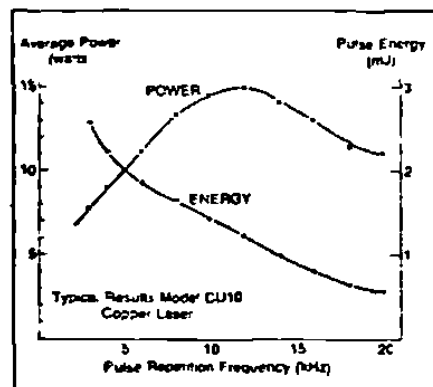


Figure 4 Copper laser output vs pulse repetition frequency

Temperature Stability

Stability of the plasma tube temperature during laser operation is a crucial factor in controlling the stability of the laser output — the most visible symptom of temperature instability is oscillation in the relative powers of the green and yellow lines of copper lasers. Oxford Lasers' high voltage circuit provides direct servo-control of the plasma tube temperature to prevent this problem.

Features

Repetition Frequency Range

Oxford Lasers' MVLs operate over the widest range of pulse repetition frequencies. Standard versions are fitted with charging circuits optimized to achieve maximum output power. Optional circuit configurations are available to extend the pulse range from values as low as 2kHz to as high as 20kHz. Both the CU10 and CU25 can be operated right down to 20Hz on an intermittent basis. The dependence of average power on pulse rate is illustrated in Figure 4. An average power of over 10W is produced by a CU25 at 20kHz and over 8W by a CU10 at 20kHz.

Timing Jitter

Timing jitter between successive pulses on internal mode is less than 2ns on all models.

External Trigger/Sync Out

BNC connections for both external triggering and synchronized output pulses are provided on the frequency module on the control panel. EXT input pulses between 2V and 20V are accepted thus allowing many standard outputs — such as TTL — to be used.

M.O.P.A. Operation

Synchronized operation of two or more laser modules in a Master Oscillator/Power Amplifier (M.O.P.A.) configuration is simplified because of the extremely low system command jitter. Oxford Lasers can advise on the design and installation of MOPA systems. Amplifier stages generally deliver 1-1.3 times the specified power of a stand-alone oscillator unit. When the master oscillator is fitted with an unstable resonator cavity, the power extracted from the amplifier stages has the same low divergence as the oscillator.

Efficiency

Oxford Lasers' MVLs are highly efficient not only in terms of the conversion of electrical energy to laser light in the laser head itself (1-10% for a CU40) but also in terms of the total power consumed by the entire system (1-0.8% for a CU40).

KEY FEATURES	MEDIUM POWER		HIGH POWER	
	Air-Cooled	Single-Phase	Water-Cooled, 3-Phase	
Copper 1510-178nm	CU10 (10 watts)	CU25 (25 watts)	CU40 (40 watts)	
Gold 1628nm	AJ2 (1.5 watts)	AU2 (9 watts)		

Warm-up Time

The time taken to bring a high power laser such as the 40 watt CU40 into operation from cold is longer than that for the air-cooled models such as the CU10 because of the difference in thermal mass. The warm-up time of the air-cooled lasers is less than 30 minutes while that of the largest systems is less than one hour.

Metal Fill Lifetime

All models have a metal fill lifetime in excess of 300 hours under standard operating conditions. The copper lasers do not require specially prepared charges of metal. Most of the charge from a gold laser can be recovered and re-used. The reloading procedure is simple and requires only 20 minutes when the laser tube is cold. Reconditioning of the laser tube is not usually necessary.

Optics

Dielectric coated plane-plane resonator mirrors and anti-reflection coated windows are supplied as standard with the laser. Optics suit both copper and gold operation. Because of the high optical gain of MVLs, cleanliness of the optics is not an overriding concern. Cleaning of the windows may be carried out routinely when the tube is recharged with metal.

Buffer Gas

In common with all MVLs, Oxford Lasers' systems require a slow flow of buffer gas during operation. The CU10 and AU2 require less than 0.5 litre atm/hr of commercial grade neon and the larger lasers require less than 1 litre atm/hr. An integral gas supply sufficient for 500 hours operation is provided with the CU10 and AU2 and an external gas inlet is located on the rear of the PSU for connection of a gas pressure reducing valve.

Laser Pulse Characteristics

Amplitude Stability

Oxford Lasers' MVLs show excellent ($\pm 1\%$) pulse-to-pulse amplitude stability. The oscilloscope traces shown in figure 5 compare a typical single pulse with 6,500 pulses overlaid from a CU25 laser.

Duration and Shape

Laser pulse duration and energy are determined by the choice of operating parameters. Pulse durations lie in the range from 10ns to 60ns FWHM. The operating parameter which most sensitively influences pulse duration and energy is the repetition frequency. The oscilloscope traces of figure 6 illustrate typical pulse shapes at a number of frequencies for the CU25 laser.

Peak Power and Pulse Energy

Depending on the laser model, single pulse energies between 0.2mJ and 10mJ can be obtained. Peak power values are correspondingly in the range from 10kW to 300kW.

Polarization

With the standard plane-plane optical cavity the laser output is unpolarized. The addition of ordinary brewster angle windows to the laser cavity does not completely suppress laser output in the unwanted plane. However, an excellent degree of polarization ($\pm 100:1$) can be achieved by including either a dielectric stack in the standard cavity or a polarizing element in the control arm of the optional unstable resonator cavity. In both cases the plane of polarization can be selected merely by rotating the polarizing element.

Beam Divergence

Because MVLs have high gain and short laser pulse durations their beam divergence is controlled by the diameter-to-length ratio of the plasma tube. Therefore, with a standard plane-plane optical cavity, beam divergences are typically 1000 times the diffraction limit. The replacement of this cavity with an unstable resonator can reduce the divergence by a factor of 10 (see accessories).

Beam Profile

When fitted with a standard plane-plane cavity the laser beam has a *top-hat* profile, i.e. the intensity is uniform across the beam diameter. The beam cross-section is circular. The only difference when the unstable resonator option is fitted is that, in the near field, a small circular section (2-5mm diameter) is removed from the centre of the beam.

Time Scale = 20ns/div

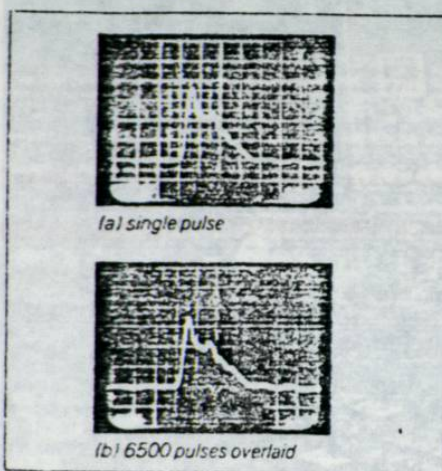


Figure 5 Typical pulse amplitude stability (CU25 laser)

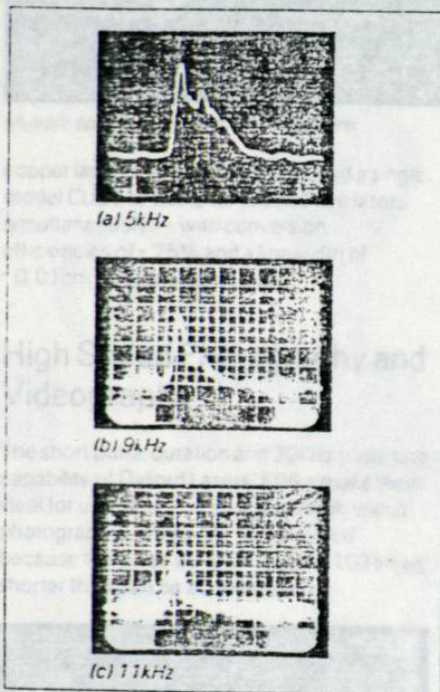


Figure 6. Typical pulse shapes (CU25 laser) vs pulse repetition frequency

Water-Cooled Lasers

The models CU25 and AU10 and the model CU40 are the high performance, high power lasers in the Oxford Lasers' MVL range. Each of these lasers comprises two units — a mobile power supply unit (PSU) and a laser head — which are joined via an umbilical cable. All service ports are located for easy access on one side of the unit. In addition to cooling water and gas, all require a three-phase electricity supply.

Cooling Water

No special precautions need to be taken to prepare the water supply used for cooling the models CU25, CU40 or AU10. However, it is advisable to use a coarse filter on supplies containing large quantities of suspended solids. A pressure head of 4 bar (60 psig) and modest flow rate of 3 litres/min (0.8 US gals/min) is all that is required. This is one tenth of the requirement of Ar⁺ lasers with similar output powers.

Copper/Gold Operation

Conversion of a CU25 for operation as a gold laser or of an AU10 for operation as a copper laser can either be achieved through the purchase of an additional laser tube or a retrofit kit.

Air-Cooled Lasers

The models CU10 and AU2 are both air-cooled and require only 3kW of single phase electricity for their operation.

Transportability

The CU10 and AU2 were specifically designed for use with standard 110V/30A, 220/15A, or 240V/13A electricity outlets. The units operate at either 50Hz or 60Hz electrical supply frequency. The compact power supply unit (PSU) is mounted on sturdy braked wheels. The laser head can be placed on top of the PSU for easy transportation of the unit from one site to another.

Copper/Gold Operation

The laser tube is completely self-contained and self-sealing. Changing from operation on copper (CU10) to operation on gold (AU2), or vice-versa, is a simple 15 minute operation when an optional laser tube is purchased with the system.

Optional Optics Bay

An alternative version of the AU2 and CU10 laser head is available (see specifications). This version provides a 56cm (22") optics bay within its overall length. Mounting points for the laser output mirror are located at both the entrance and exit of the bay. It can therefore be used for intra-cavity experiments or for mounting optical components such as fiber beam delivery systems, dye amplifiers/oscillators, dichroic beamsplitters etc., outside the laser cavity. Both versions of the laser head have adjustable locking feet and beam dumps as standard.

Broad Range of Applications

The high peak powers produced by MVLs at high pulse repetition rates offer new and exciting possibilities for many applications. The applications listed represent only a few of the areas either being investigated or in which MVLs are currently in use.

Scientific

- Picosecond Pulse Amplification
- Dye Laser Pumping
- Time-of-flight experiments
- Raman Spectroscopy

Medical

- HpD Photoradiation Therapy
- Retinal Photocoagulation

Industrial

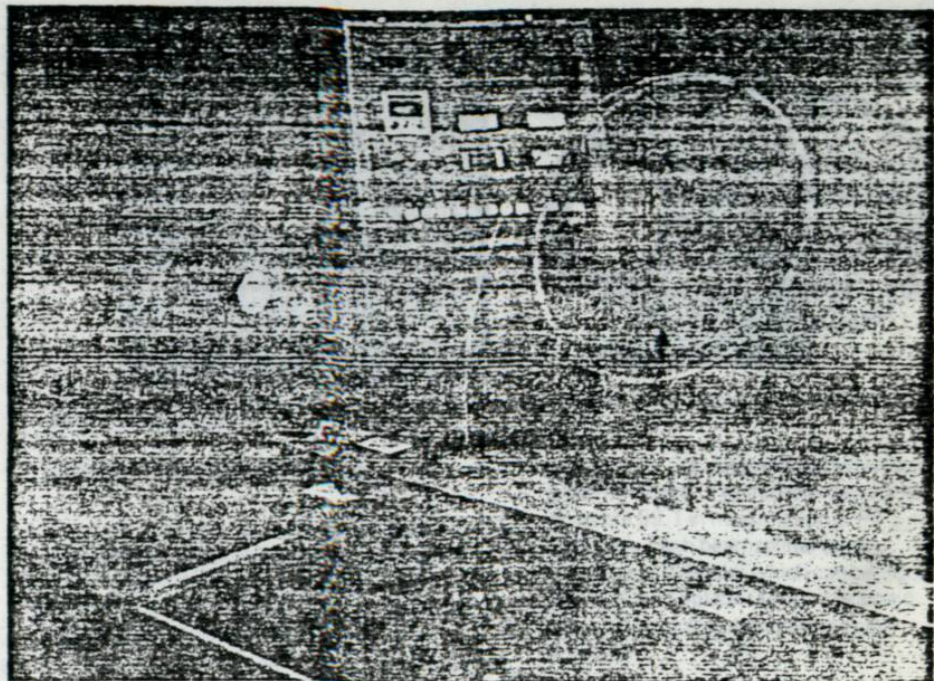
- High Speed Photography
- Resistor Trimming
- Coastal Water Mapping
- Remote Pollutant Detection
- Materials Processing

Commercial

- High Brightness Video Displays
- Light Shows

Dye Laser Pumping

Dye laser pumping is a major application area for copper lasers. Very high conversion efficiencies can be achieved (c. 50% for multiple amplification stages). Because copper lasers are pulsed, efficient *transverse pumping* techniques can be used. Copper-pumped dye lasers have such high optical gain that their mirror alignment stability is not critical. Many commercially available dye lasers may be pumped with an Oxford Lasers'



Multiple optical fiber beam delivery system

copper laser. One customer has used a single model CU25 to pump up to three dye lasers simultaneously — with conversion efficiencies of c. 25% and a linewidth of $\sim 0.01\text{cm}^{-1}$ at the peak of R6G.

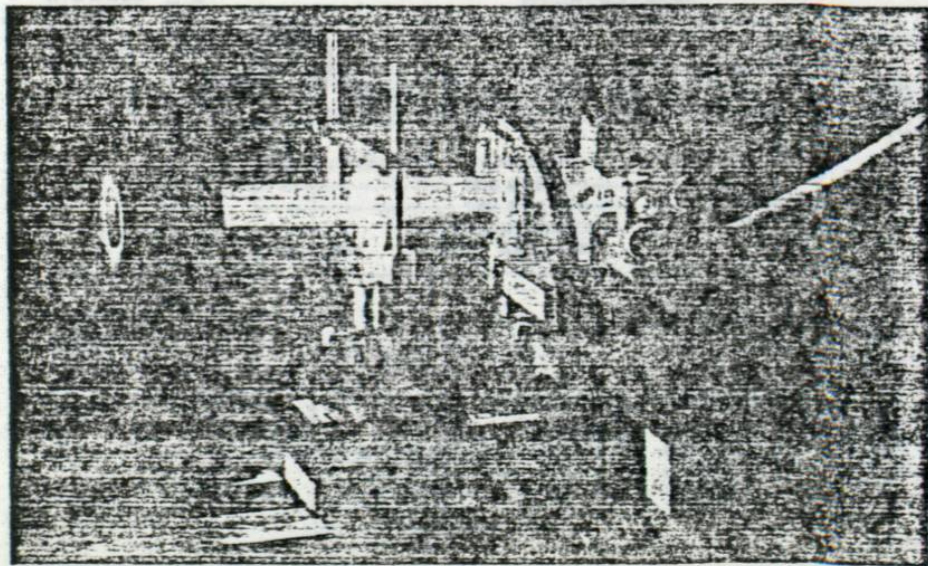
High Speed Photography and Videography

The short pulse duration and 20kHz pulse rate capability of Oxford Lasers' MVLs make them ideal for use as strobe sources in high speed photography. *Image blur* is eliminated because the pulse duration is some 100 times shorter than can be achieved with a

conventional strobe source. Oxford Lasers' copper lasers are currently in use with both high speed cine cameras and state-of-the-art motion analysis systems.

Picosecond Pulse Amplification

Many laboratories world-wide are now using copper lasers as the pump source for picosecond and femtosecond pulse amplification. The 20kHz data rates achievable with our copper lasers are far greater than those to be obtained from, for example, Nd:YAG lasers.



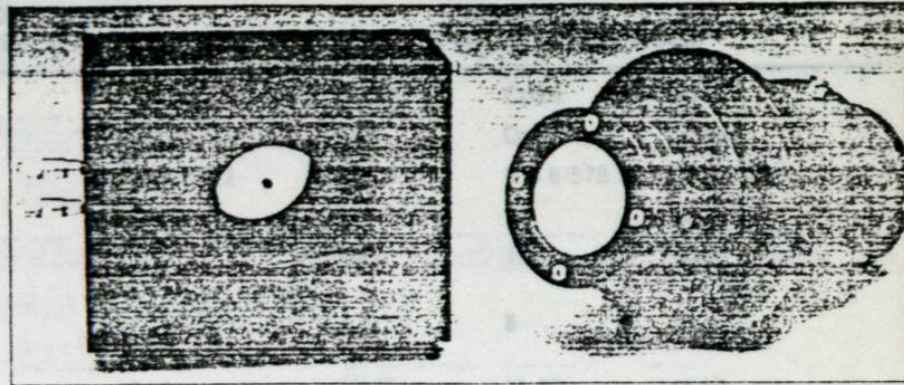
Dye laser pumping with model CU10 copper laser

Applications Advice

Oxford Lasers' experienced team of scientists and engineers are always available to provide candid advice on the applicability of MVLs to any area. Further, Oxford Lasers maintains a well-equipped applications laboratory in its factory which may be hired to test application feasibility prior to purchase. Application notes which cover many of the areas listed are also available.

Unstable Resonator Option

Oxford Lasers offers unstable resonator optics as an optional accessory for users who require lower beam divergence than can be obtained with the standard plane-plane cavity. Full angle divergences of -0.6 mrad are obtained from water-cooled models and -0.4 mrad from the smaller beam-diameter air-cooled models. Total output power is 20% less than that specified for a plane-plane cavity: some 60% of this power is converted into low divergence output. The remainder is high divergence output which is emitted prior to the build up of cavity oscillations. In applications where this high divergence component is undesirable, it can be removed by simple spatial filtering techniques.



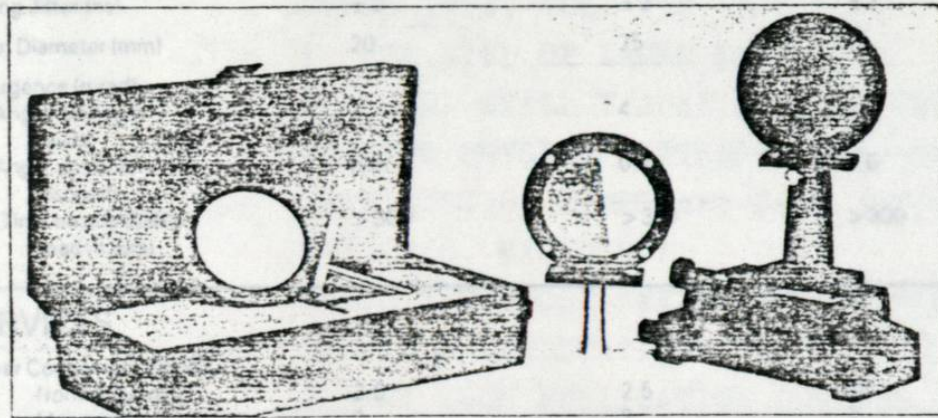
Unstable resonator option

Dichroic Beamsplitters

Some applications require the green (510nm) and yellow (578nm) lines of the copper laser to be separated. Oxford Lasers can supply dichroic beamsplitters which select for green transmission and yellow reflection or,

alternatively, for yellow transmission and green reflection. Typical color separation ratios are 99:1 in transmission or 95:5 in reflection. Each beamsplitter comes complete with holder which can be mounted on a standard optical rail or breadboard. Individual spectral characteristics are provided.

Dichroic beamsplitters

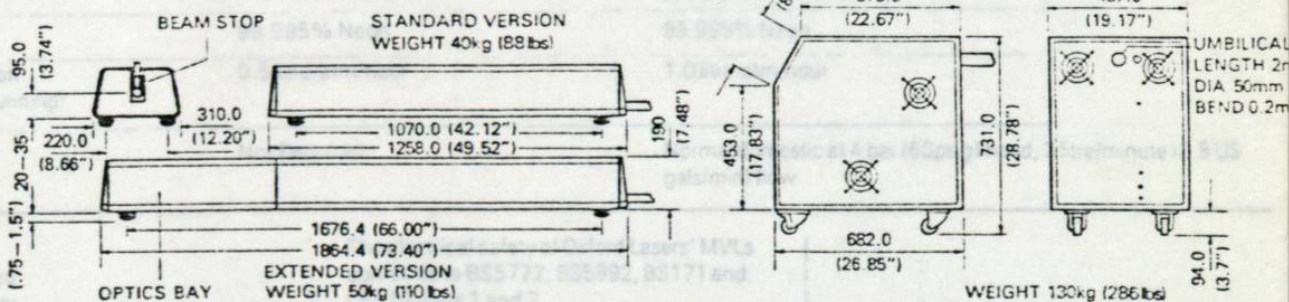


Optical Fiber Beam Delivery Systems

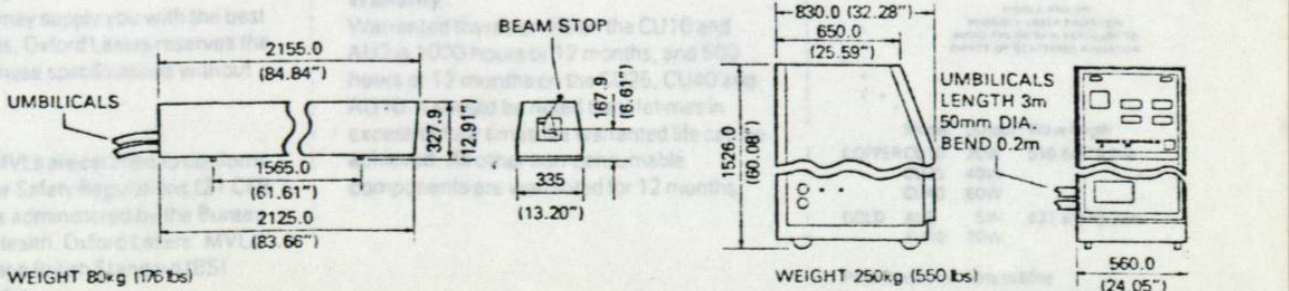
A number of applications require the flexibility offered by an optical fiber beam delivery system: For example, in high speed photography, it is often difficult to illuminate the subject under study. Oxford Lasers can provide either a single fiber system or a four fiber system — either of which can be fitted with 0.6mm or 1mm core diameter fibers. Total transmission efficiency is between 70% and 80%.

DIMENSIONS

MODELS
CU10
AU2



MODELS
CU25
CU40
AU10



SPECIFICATIONS

Model	MEDIUM POWER AIR-COOLED, SINGLE PHASE		HIGH POWER WATER-COOLED, THREE PHASE		
	AU2	CU10	AU10	CU25	CU40
Laser Medium	Gold	Copper	Gold	Copper	Copper
Wavelengths (nm)	627.8	510.6/578.2	627.8	510.6/578.2	510.6/578.2
Average Power (W)	1.5	10	9	25	40
Green/Yellow ratio (typical)	n/a	2:1	n/a	1:2:1	1:2:1
Pulse Energy (mJ) (max)	0.2	2	1.5	8	10
Pulse Width (ns)	20-40	10-40	15-60	15-60	15-60
Peak Power (kW) (max)	10	100	50	200	300
Pulse Repetition Frequency (kHz)					
Continuous Operation					
Standard	9-11	8-14	6-8	5-10	5-10
Extended	c/f	3-20	c/f	2-20	5-15
Intermittent Operation	c/f	0.02-3	c/f	0.02-2	c/f
Timing Jitter (ns)	±2	±2	±2	±2	±2
Beam Diameter (mm)	20	25	42	42	42
Divergence (mrad)					
Full Angle, standard cavity	3	4	6	6	6
Full Angle, unstable resonator	n/m	0.4	0.6	0.6	0.6
Run Time on one Cu/Au load (hours)	>300	>300	>300	>300	>300

SERVICES

Power Consumption (kW)					
Normal Running	2.5	2.5	5.5	4.5	5.5
Maximum	3	3	7	5	7
Electricity Supply	220/240V 50Hz 110/115V 60Hz		380/415V or 208V 3 phase plus neutral and earth		
Gas Supply	99.995% Neon		99.995% Neon		
Gas Consumption (max normal running)	0.5 litre/atm/hour		1.0 litre/atm/hour		
Water Supply	Not Required		Normal domestic at 4 bar (60psi) head, 3 litre/min (10.8 US gals/min) flow		

Notes

n/m not measured
c/f contact factory
n/a not applicable
In order that we may supply you with the best possible products Oxford Lasers reserves the right to change these specifications without notice

Safety

Oxford Lasers' MVLs are certified to conform with the US Laser Safety Regulations (21 CFR Subchapter J) as administered by the Bureau of Radiological Health. Oxford Lasers' MVLs also conform to the British Standard (BS) 4803 on laser safety.

The electrical safety of Oxford Lasers' MVLs conforms to BS5772, BS5392, BS171 and CEE10 parts 1 and 2.

Warranty

Warranted thyratron life on the CU10 and AU2 is 1000 hours or 12 months and 500 hours or 12 months on the CU25, CU40 and AU10. It should be noted that five times in excess of four times the warranted life can be achieved. All other non-consumable components are warranted for 12 months.

VISIBLE AND INVISIBLE LASER RADIATION
AHEAD OF BEAM STOP TO
DIRECT OR SCATTERED RADIATION

Model	Output	Wavelength
COPPER CU10	20W	510.6/578.2nm
CU25	40W	
CU40	60W	
GOLD AU2	5W	627.8/312.2nm
AU10	20W	

Pulse Duration: 10ns to 60ns
*Pulse at 100ns CASSIN/LA/1984/01/01

BIBLIOGRAFIA

- 1.- PHYSICS VOLUMEN 2
TIPLR ED. WORTH
- 2.- QUANTUM PHYSICS OF ATOMS, MOLECULES AND PARTICLES
ROBERT EISBERG Y ROBERT RESNICK
EDITORIAL WILEY
- 3.- HIGH VOLTAGE PULSE TECHNIQUES
JOHN F. FRANCIS TEXAS TECH UNIVERSITY
REPORTE TECNICO N° 5 PLASMA LABORATORY
- 4.- AN UNUSUAL KIND OF GAS LASER
JAMES G. SMALL, "SCIENTIFIC AMERICAN"
JUNIO 1974, VOL. 230 N.6
- 5.- A NEW KIND OF LASER EXITATION
JAMES G. SMALL Y JUAN M. ELIZONDO
"APPLIED PHYSICS LETTERS" MAY 1986
- 6.- TRANSMISSION LINES AND WAVE PROPAGATION
PHILIP C. MAGNUSSON
ALLEN AND BACON SERIES IN ELECTRICAL ENGINEERING
- 7.- LASERS & APPLICATIONS
A HIGH TECH PUBLICATION OCTUBRE 1986

