

# MEJORAS EN EL DISEÑO DE UN LÁSER MULTIGAS

O. Radulovich\* y F. A. Manzano

*Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones (CEILAP)*

*Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas de las Fuerzas Armadas, (CITEFA-CONICET),  
Zufriategui 4380, (1603), Villa Martelli, Provincia de Buenos Aires, Argentina.*

Se presenta el diseño de un sistema de descarga basado en un circuito de descarga capacitiva con preionización integrada que puede ser utilizado para la excitación de distintas mezclas gaseosas. Se evalúa la performance del sistema a partir de la medición de los pulsos de corriente en distintos puntos, la tensión entre los electrodos y la aparición del pulso láser. A frecuencias de repetición de 11 pps. se obtuvieron potencias medias de 90 mW en el UV cercano al excitar el Nitrógeno molecular y potencias medias de 18 W en 10,6  $\mu\text{m}$  con mezclas de  $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}$  y 12 W con  $\text{CO}_2:\text{N}_2$ . Cuando se opera en forma estanca se obtienen pulsos de 2,5 J con una mezcla (1:1:3) de  $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}$  a una repetición de 3 pps.

We have developed a capacitive transfer discharge system with integrated pre-ionization. This arrangement excites different mixtures of gases to obtain pulsed laser emission at several wavelengths. We discuss their performance by analysis of the current pulse evolution at different points of the circuit, the waveform of the voltage between the electrodes and the delay of the laser output. Using the system as a Nitrogen laser we obtained average powers of 90 mW at  $\lambda = 337.1$  nm and at a repetition rate of 11 Hz. Exciting (1:1:1)  $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}$  and a (1:1)  $\text{CO}_2:\text{N}_2$  mixture we obtained 18 W and 12 W of average power respectively at 10.6  $\mu\text{m}$  and at the same repetition rate. In sealed off operation mode the energy of the laser was 2,5 J with a mixture (1:1:3)  $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}$  at 3 Hz.

## I. INTRODUCCIÓN

Láseres gaseosos pulsados tales como los de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ , Excímeros o Flúor atómico que utilizan sistemas de descarga eléctrico transversal (TE) tienen requerimientos similares en cuanto al tipo de descarga y a la tensión de funcionamiento. Por lo tanto, es posible utilizar un único sistema de descarga para obtener emisión láser de alta potencia en distintas regiones del espectro, haciendo un cambio de gases y colocando los espejos correspondientes.

Para obtener emisión láser a partir de la excitación de  $\text{N}_2$  o mezclas de Excímeros es necesario hacerlo con pulsos de corriente sumamente rápidos lo cual impone condiciones de diseño al sistema.

En el caso del láser de  $\text{CO}_2$  es importante lograr altas energías de emisión sin el agregado de Helio, a relativamente altas frecuencias de repetición manteniendo estable la energía del pulso, requiriendo por lo tanto la excitación de volúmenes importantes de gas lo cual impone la utilización de preionización. La utilización de un sistema de descarga rápida evita el agregado de sustancias de bajo potencial de ionización para mantener la descarga libre de arcos y contar con la posibilidad de funcionar en forma estanca para permitir la utilización económica de los distintos isótopos de Carbono y de Oxígeno,

para sintonizar otras líneas de emisión.

En base a experiencias previas en la construcción de láseres pulsados, se realizó un sistema de descarga eléctrico transversal con el objetivo de producir descargas autosostenidas homogéneas de alta corriente y temperatura en volúmenes importantes de gases.

Para cumplir con los requerimientos antedichos es importante minimizar el tiempo en que se deposita la energía porque permite aumentar el rango de presiones en el cual es posible trabajar con descargas uniformes. Para presiones mayores a 100 torr las descargas degeneran en arcos si el pulso de corriente es más largo que cierto tiempo crítico, el cual decrece al incrementar la presión.

## II. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El sistema construido está basado en un circuito del tipo transferencia capacitiva con preionización integrada, cuyo esquema se muestra en la Fig. 1.

El principio de funcionamiento es el siguiente: el capacitor  $C_a$  es cargado a la tensión de fuente  $V_0$  a través de la inductancia  $L_c$  con la corriente limitada por la resistencia  $R_f$  manteniendo nula la diferencia de potencial entre los electrodos. Cuando un

\* Profesional Asistente CONICET

pulso de comando cierra la válvula tiratrón  $T_h$  la energía del capacitor  $C_a$  es transferida a los capacitores de distribución  $C_d$  a través de un circuito LC, dando lugar a la corriente  $I_1$  limitada únicamente por inductancias ( $L_1$ ) y resistencias parásitas, elevándose rápidamente la tensión ( $V$ ) entre los electrodos donde:

$$V(t) = V_0 [C_a / (C_a + C_d)] (1 - \cos \omega t)$$

$$I(t) = V_0 [C_a \cdot C_d / L_1 (C_a + C_d)]^{1/2} \sin \omega t$$

$$\omega = [C_a \cdot C_d L_1 / (C_a + C_d)]^{-1/2}$$

De acuerdo a la expresión  $V(t)$  y a la relación de capacidades es posible obtener una ganancia de tensión 2 ( $C_a / C_a + C_d$ ) si la descarga se produce en el instante  $t = \pi / \omega$ . Como el tiempo que tarda en producirse la disrupción entre los electrodos depende del tipo de gas, la presión de trabajo (que está determinado por las condiciones de funcionamiento del láser) y por la forma de los electrodos en general es difícil elevar la tensión más allá del valor de fuente.

En el momento en que se produce la disrupción en el gas ( $t_d$ ), la deposición de energía es realizada por un circuito compuesto por un oscilador  $L_2$ - $C_d$  en paralelo con otro  $L_1$ - $C_a$  con  $L_2 \ll L_1$ .

En el primer oscilador los capacitores de distribución, cargados al valor  $V(t_d)$ , se descargan con la corriente limitada sólo por  $L_2$  y la impedancia del plasma dando lugar a la aparición de un corto pico inverso en la corriente  $I_2$ . Con la finalidad de minimizar el tiempo de crecimiento de este pulso de corriente se diseñó el montaje para que la inductancia de la cavidad  $L_2$  sea lo más baja posible y se utilizaron capacitores de distribución de alta respuesta en frecuencias.

En este momento la impedancia del plasma es tan baja que puede considerarse a  $C_d$  como cortocircuitado por lo cual el segundo oscilador con una inductancia mayor a  $L_1$  transfiere la energía remanente en  $C_a$  en forma de un pulso más lento  $I'(t)$ .

$$I'(t) = V_0 [(C_a - C_d) / (C_a + C_d)] (C_a / L_1)^{1/2} \sin \omega' t$$

$$\omega' = (L_1 C_a)^{-1/2}$$

$$V'_{Ca}(t) = V_0 [(C_a - C_d) / (C_a + C_d)] \cos \omega' t$$

donde:  $I'$  es la corriente que circula con posterioridad al pulso principal y  $V'_{Ca}$  es la tensión remanente en el capacitor de acumulación finalizado dicho pulso. Esta contribución en el caso del  $N_2$  o de un Excímero es innecesaria, provocando el desgaste de los componentes. Por ésta razón, se ha adecuado los valores de las capacidades con la finalidad de aumentar la eficiencia,

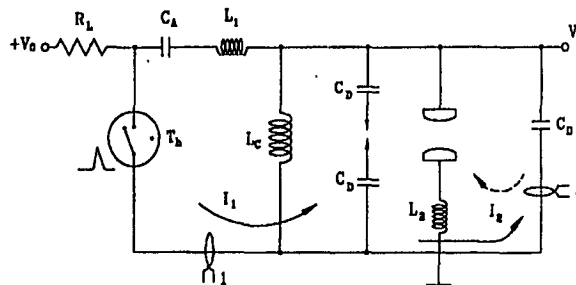


Fig. 1: Esquema del circuito de excitación utilizado.  $C_a$ : Capacitores de acumulación  $0,1 \mu F$ ;  $C_d$ : Capacitores de distribución  $33,6 \text{ nF}$ ;  $L_1, L_2$ : Inductancias parásitas;  $L_c$ : Inductancia de carga;  $T_h$ : Llave Thyatron;  $R_1$ : Resistencia de carga;  $V_0$ : Tensión de fuente;  $V$ : Tensión entre electrodos.

$\eta$ , ( $\eta = 4 C_a / (C_a + C_d)^2$ ) con que la energía almacenada en el capacitor  $C_a$  es transferida a los capacitores  $C_d$ .

### DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO

El banco de capacitores  $C_d$  ( $33 \text{ nF}$ ) está formado por una doble fila de capacitores cerámicos conectados en paralelo a un par de electrodos perfilados de Aluminio. Una de las filas está formada por un par de capacitores enfrentados sin conexión eléctrica alguna entre ellos, cuyos terminales están separados por unos pocos milímetros. Tanto en el momento de carga como de descarga de los capacitores  $C_d$  se produce una chispa de alta corriente entre los terminales enfrentados que provocan la preionización del gas.

El capacitor de acumulación ( $C_a$ ) utilizado es de  $100 \text{ nF}$  con lo cual se pretende alcanzar una eficiencia de transferencia del  $75\%$ .

La separación entre los electrodos de Al perfilados es de  $33 \text{ mm}$  y su longitud es de  $68 \text{ cm}$ . El ancho de la descarga es del orden del centímetro.

El conjunto de capacitores  $C_d$  y los electrodos se encuentra encerrado en un cilindro de vidrio evacuable y estanco. La frecuencia de repetición máxima es de  $15 \text{ pps}$  limitada por las características de la fuente de alta tensión utilizada.

El funcionamiento de este sistema se estudia cuando se producen descargas en  $N_2$  puro, en  $CO_2$  puro y en mezclas de  $CO_2:N_2$  y en  $CO_2:N_2:He$  obteniéndose emisión láser en el U.V. ( $\lambda = 337 \text{ nm}$ ) y en el

I.R. en ( $\lambda=10,6 \mu\text{m}$ ).

El estudio preliminar, se basa en el análisis de la evolución temporal de los pulsos de corriente medidos en el punto 1 (carga de los capacitores  $C_d$ ), medidos en el punto 2 (carga y descarga de los mismos en el canal) y de la tensión entre electrodos para cada una de las mezclas mencionadas correlacionadas con la aparición del pulso láser.

El comando del disparo del osciloscopio se efectúa con el pulso de tensión poniéndose especial cuidado en asegurar que el mismo fuera reproducible a fin de comparar las diferentes curvas.

### DESCARGAS EN $N_2$

En la Fig. 2 se presentan los resultados obtenidos al producir descargas en 80 Torr de  $N_2$  fluyente utilizando una cavidad compuesta por un espejo plano dieléctrico de 50 mm de diámetro totalmente reflector a  $\lambda = 337 \text{ nm}$  y un sustrato de BK7 sin recubrimiento

como espejo de salida.

De la Fig. 2d puede observarse que la diferencia de tensión entre los electrodos crece rápidamente hasta alcanzar aproximadamente el valor de la tensión de fuente, momento en el que comienza a desarrollarse la descarga.

\*En ese intervalo de tiempo aparece el pulso de corriente (Fig. 2c y 2b) debido a la carga de los  $C_d$  tanto en el punto de medida 1 como en el 2 (ver Fig. 1).

A partir del instante en que comienza la descarga la diferencia de tensión decrece en tiempos del orden de 100 nseg hasta hacerse prácticamente nula mientras que vuelve a incrementarse la corriente medida en 1 y aparece un pulso de corriente de corta duración invertido en el punto de medida 2 (Fig. 2c y 2b).

Este último pulso es que atribuimos como el pulso de la descarga principal. Dicha afirmación es corroborada por la aparición del pulso de láser (Fig 2a) en el flanco de trepada del pulso de corriente de acuerdo a la teoría de funcionamiento de los láseres de Nitrógeno

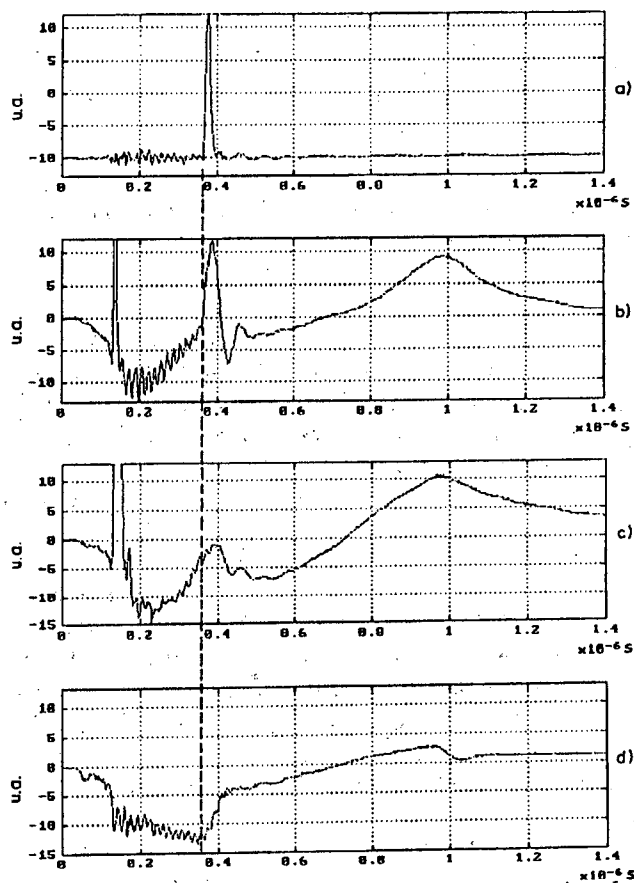


Fig. 2: Descarga en Nitrógeno: a) pulso Láser; b) pulso de corriente  $I_2$  en el punto 2; c) pulso de corriente total  $I_1$ ; d) pulso de tensión entre los electrodos.

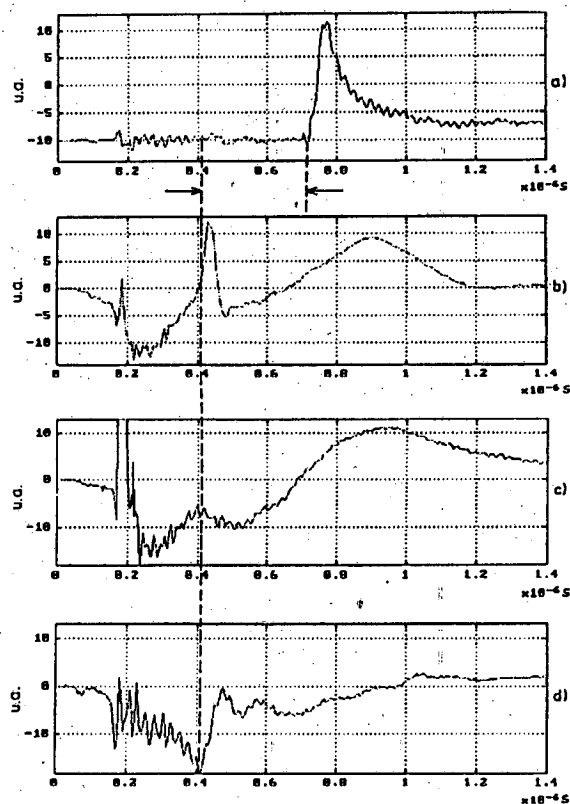


Fig. 3: Descarga en mezclas de Dióxido de Carbono y Nitrógeno: a) pulso Láser; b) pulso de corriente  $I_2$  en el punto 2; c) pulso de corriente total  $I_1$ ; d) pulso de tensión entre los electrodos.

molecular.

Con este sistema de excitación se han obtenido pulsos de 10 mJ de energía y 10 nseg de duración a 24 kV y una repetición de 5 pps. A frecuencias de repetición de 11 pps se obtuvieron potencias medias de 85 mW.

### DESCARGAS EN $CO_2$

En las Fig. 3 y 4 se presentan los resultados obtenidos al realizar descargas en mezclas fluyentes de  $CO_2:N_2$  (1:1) a presiones de 200 Torr y en  $CO_2$  puro a presiones de 100 Torr respectivamente utilizando una cavidad óptica no optimizada compuesta de un espejo curvo ( $R=10$  m) de Cu de 50 mm de diámetro totalmente reflector a  $\lambda=10,6\mu m$  y un substrato plano de Ge como espejo de salida.

El análisis y resultados de las curvas es similar al obtenido para descargas de  $N_2$  con la salvedad que el

pulso de luz aparece retardado respecto del pulso de corriente de la descarga principal.

El retraso es menor cuando hay  $N_2$  presente en la descarga debido a la mayor ganancia del medio láser.

Se han obtenido energías de 1,5 J en mezclas (1:1) de  $CO_2$  y  $N_2$  a una presión de 250 Torr, frecuencias de repetición de 11 pps y 25 kV de tensión de fuente. Con el agregado de 50 Torr de He la energía obtenida es de 2.2 J en las mismas condiciones anteriores. El ancho de pulso principal es de 75 nseg y la relación entre los máximos del pulso principal y secundario es de 5:1.

El haz es de sección rectangular ( $38 \times 15$ )  $cm^2$  con una divergencia de  $8 \times 10^{-3}$  mrad y alta homogeneidad espacial.

En descargas en  $CO_2$  puro se obtuvieron energías 100 mJ en pulsos de 150 nseg a presiones de 100 Torr y tensiones de 20 kV. Con el agregado de 50 Torr de He, la energía se incrementó a 150 mJ manteniendo la buena forma temporal del pulso.

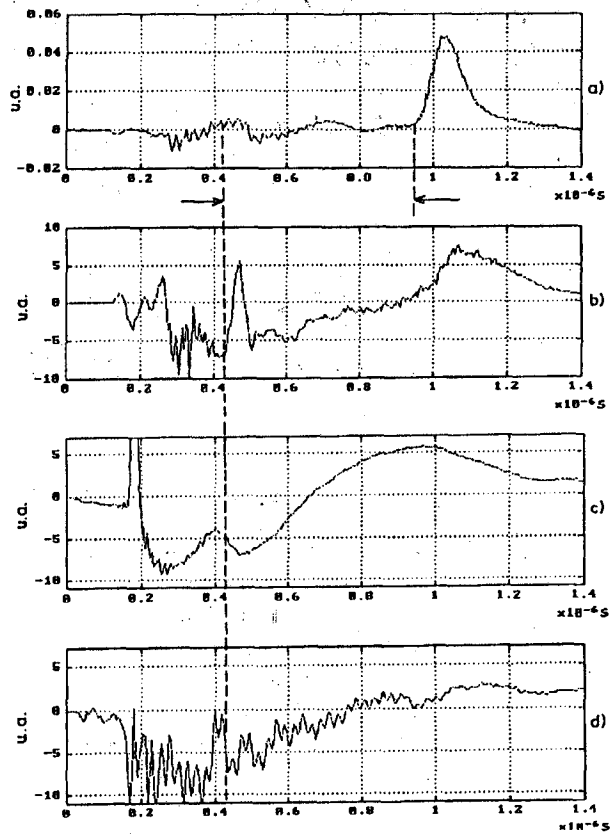


Fig. 4: Descarga en mezclas de Dióxido de Carbono: a) pulso Láser; b) pulso de corriente  $I_2$  en el punto 2; c) pulso de corriente total  $I_1$ ; d) pulso de tensión entre los electrodos.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Señor José V. Silvestri por la realización de parte del circuito de dis-

paro de la válvula tiratrón; al Señor José Luque por la realización de piezas mecánicas; al Señor Luis Fidalgo por los trabajos de pulido realizados y al Señor Carlos Morales por la realización de los dibujos.