

CARACTERIZACIÓN DE UN LÁSER DE CO₂ DE ENFRIAMIENTO CONVECTIVO POR FLUJO RÁPIDO TRANSVERSAL

C. A. Rosito^{1,2}, G. D. Santiago¹ y V. D'Accurso²

(1) Facultad de Ingeniería UBA, Paseo Colón 850 (1063), Ciudad de Buenos Aires
(2) CEILAP, San Juan Baustita de la Salle (1605), Villa Martelli, Pcia. de Buenos Aires.
e-mail: gsantia@tron.fi.uba.ar

En una presentación anterior reportamos medidas del coeficiente de pequeña señal en mezclas de CO₂:N₂:He excitadas por un sistema de alta potencia (aprox. 10 kW) y enfriadas convectivamente por flujo rápido (aprox. 50 m/s) en una estructura recirculante. A partir de dichas experiencias se implementó un resonador plegado con número de pasos de 1 a 3 y con posición ajustable dentro de la zona de descarga cuyas dimensiones son 90 x 5 x 10 cm. Se parametrizó el láser para diversas mezclas de gases en proporciones variables en el rango 1:1.5-3:19-21 y presiones totales de 30 a 40 Torr. Correspondientemente se ajustó la posición de los espejos con el fin de maximizar la potencia de salida. Asimismo, para las distintas configuraciones del resonador, se registró el perfil del haz de salida con el fin de encontrar la distribución de potencia de salida más uniforme posible.

In a previous paper we reported measurements of small-signal gain in CO₂:N₂:He mixtures excited by a high power pumping system (aprox. 10 kW) and convectively cooled by a fast flow (aprox 50 m/s). With these data we built a multipass folded resonator whose position in the discharge zone (90 x 5 x 10 cm) can be adjusted. We characterized the laser for different mixtures in the range 1:1.5-3:19-21 and total pressures from 30 to 40 Torr. The position of the mirrors was adjusted as to maximize the output power. The output beam was recorded to obtain the smoothest intensity profile.

Presentamos los primeros resultados obtenidos sobre un láser de CO₂ continuo de alta potencia (longitud de onda de emisión 10.6 μm) diseñado y construido íntegramente en nuestro laboratorio y destinado al procesamiento de materiales.

Los principales problemas para el desarrollo de este tipo de láseres son la obtención de grandes volúmenes excitados y la necesidad de evitar la excesiva suba de la temperatura del gas.

En efecto, la ganancia en la banda de 10.6 μm está dada por:

$$\alpha(\nu) = A_{21} \frac{\lambda^2}{8\pi} g(\nu) \left[N_{00} - \frac{g_2}{g_1} N_{10} \right]$$

donde A_{21} es el coeficiente de Einstein de la transición, λ la longitud de onda, $g(\nu)$ la forma de la línea, N_{00} la población del nivel láser superior, N_{10} la del inferior y g_1 y g_2 las respectivas degeneraciones. La primera de dichas poblaciones está esencialmente determinada por la densidad de corriente del bombeo en la descarga y por los tiempos de relajación; en tanto que la segunda depende fuertemente con la temperatura traslacional. Por consiguiente, para obtener una buena ganancia es necesario no sólo aumentar la corriente de la descarga sino también mantener baja la temperatura del gas. Este requerimiento se consigue en este láser por medio del enfriamiento convectivo forzado.

En la figura 1 se muestra la estructura de recirculación del medio. Los gases son impulsados por un par de sopladores axiales contrarrotatorios (Prop.) movidos por dos motores trifásicos de 3 kW cada uno. La mezcla es acelerada hasta una velocidad de 50 m/s en una tobera (Tob.) para luego ingresar a la zona de descarga (Desc.) de 1000 mm de ancho y 100 mm de altura, donde es

excitada por medio de una descarga de corriente continua de alta potencia. Luego de salir de la zona de descarga los gases reducen la velocidad en un difusor (Dif.), cerrando así el circuito de circulación.

Una pequeña parte de la potencia depositada en la descarga es útil para proveer ganancia y el resto (del orden del 90% del total) es extraído en un par de intercambiadores de calor gas-agua (Int.) ubicados antes y después de la zona de descarga. Estos intercambiadores sirven también para remover el calor disipado en los motores de circulación dado que los mismos carecen de un sistema de refrigeración independiente.

La excitación se consigue por medio de una fuente trifásica capaz de entregar de 2.5 a 3.3 kV. y corrientes de hasta 20 A; la tensión de salida se ajusta por medio de un autotransformador. El sistema de electrodos consta de un cátodo tubular de cobre de 20 mm de diámetro enfriado internamente por agua y 60 ánodos de bronce de 70 mm de largo y sección transversal elíptica (13 mm x 5 mm). Cada uno de ellos está individualmente limitado en corriente por una resistencia de 12 kΩ conformada por grupos de 10 resistencias de 4.7 kΩ / 25 W, en arreglos serie-paralelo con el fin de aumentar la capacidad de disipación.

El enfriamiento por agua del cátodo permite extraer fácilmente el calor generado por la caída catódica, que de otra forma debería ser extraído por la circulación del gas. Este punto es importante dado que la separación entre cátodo y ánodo es de unos pocos centímetros y la caída de tensión en la descarga es inferior a 2000 V, que comparada con una caída de tensión en la zona catódica de algunos centenares de volts, permite concluir que la fracción de potencia disipada en esta región es una parte significativa del total.

Los ánodos fueron dispuestos sobre placas cerámicas, de forma tal que se alcanza una zona excitada de 900 mm

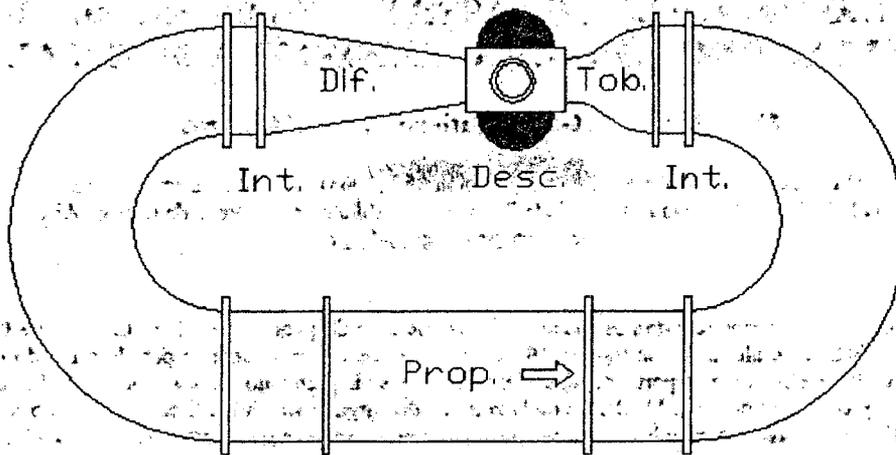


Figura 1: Esquema del sistema de recirculación

de longitud. El cátodo y, los ánodos se encuentran ubicados dentro de la zona de descarga de manera tal que la corriente eléctrica es casi perpendicular a la dirección del flujo de los gases (figura 2). Esto asegura un corto tiempo de pasaje de la mezcla a través de la zona de bombeo y por lo tanto una menor elevación de la temperatura.

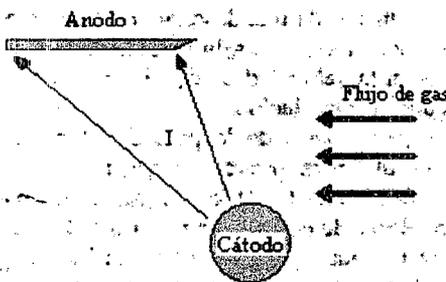


Figura 2: Esquema de los electrodos

En la figura 3 se observa el perfil típico de ganancia relevado dentro de la zona de descarga [1]. Con el fin de extraer la energía almacenada dentro del medio activo se implementó un resonador plegado de tres pasos en base a un espejo cóncavo de 10 m de radio de curvatura, dos espejos planos de reenvío y un espejo semitransparente plano (reflectividad 60%) a la salida. El

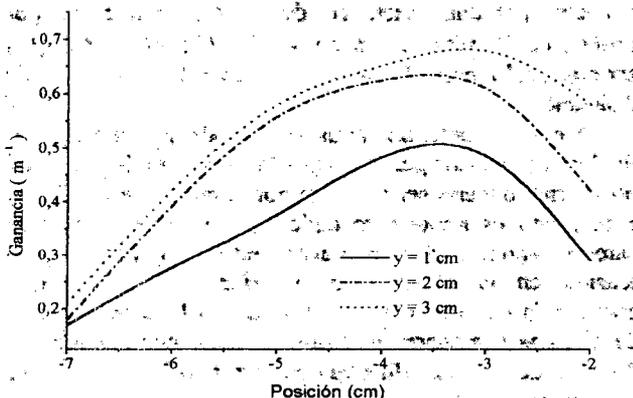


Figura 3. Ganancia de pequeña señal para distintas posiciones horizontales (x) y verticales (y). Mezcla 1:1,5:16,5.

largo total de la cavidad es de 5 m por lo que resulta un resonador, estable de tipo semiconfocal. Los espejos totalmente reflectores fueron montados sobre soportes refrigerados por agua y ubicados dentro de la zona de baja presión. El espejo de salida se encuentra montado externamente al sistema de recirculación para posibilitar la alineación, por lo que se utiliza una ventana de ZnSe con recubrimiento antirreflejante para permitir la salida de la radiación al exterior.

En la figura 4 se muestra la potencia obtenida en función de la fracción parcial de nitrógeno. Esta fracción parcial juega un papel importante dado que la excitación del CO₂ ocurre a través de colisiones con moléculas de N₂ excitadas. Como comparación con los láseres de CO₂ excitados longitudinalmente y enfriados difusivamente se observa que la fracción de N₂ necesaria para obtener la potencia máxima es más elevada [2].

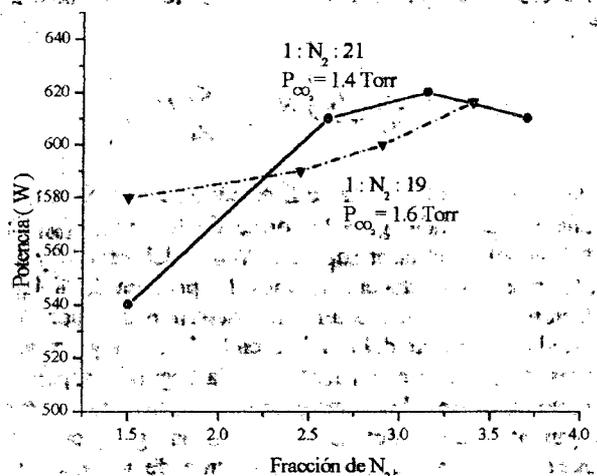


Figura 4. Potencia de salida vs fracción de N₂

La figura 5 muestra la dependencia de la potencia de salida con la corriente de excitación. Como es de esperar dicha potencia aumenta con la corriente salvo para el punto correspondiente a 7.3 A en el que se nota una reducción que está conectada con una inestabilidad en la descarga posiblemente debida a contaminación de la mezcla ya que el sistema fue operado a ciclo cerrado sin reposición o regeneración del medio.

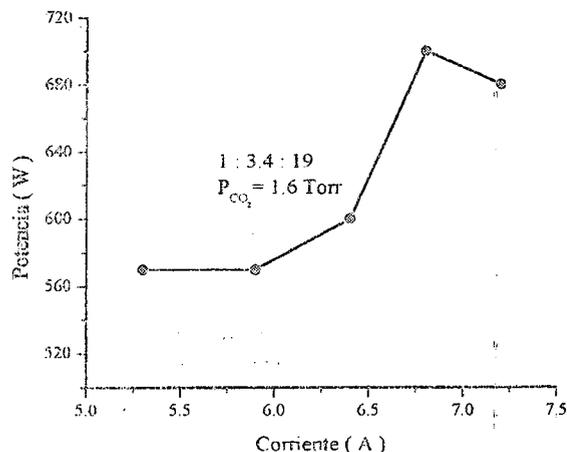


Figura 5. Potencia de salida vs corriente

Las figuras 6 y 7 repiten las medidas anteriores para otra posición horizontal del resonador dentro de la zona excitada.

En la figura 8 se observa el modo emitido por el láser registrado a distintas distancias sobre dos materiales. La figura 8a fue obtenida a 2 m de la salida sobre una placa de material semejante al amianto de 5 mm de espesor. Se puede apreciar que el modo presenta una deformación en la dirección en la que la ganancia toma los mayores

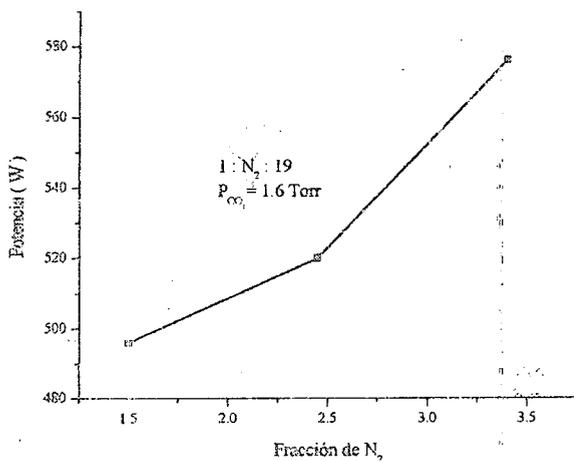


Figura 6. Potencia de salida vs fracción de N₂

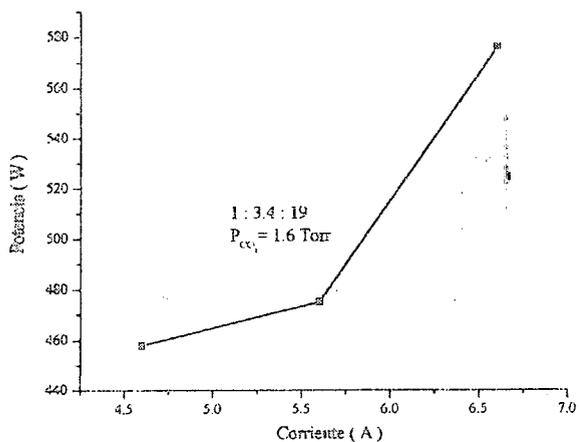


Figura 7. Potencia de salida vs corriente

valores (figura 3). En la figura 8b el mismo material fue colocado a 30 cm de la salida del láser; en este caso la muestra fue perforada sin necesidad de recurrir a lentes de enfoque. Por último en la figura 8c se utilizó una cerámica refractaria la que resultó vitrificada. Por tratarse de un resonador semiconfocal el diámetro del modo se reduce en las regiones próximas al espejo de salida, lo que determina un menor aprovechamiento del volumen excitado. Esto será mejorado por medio de un resonador inestable con superposición de haces [3].

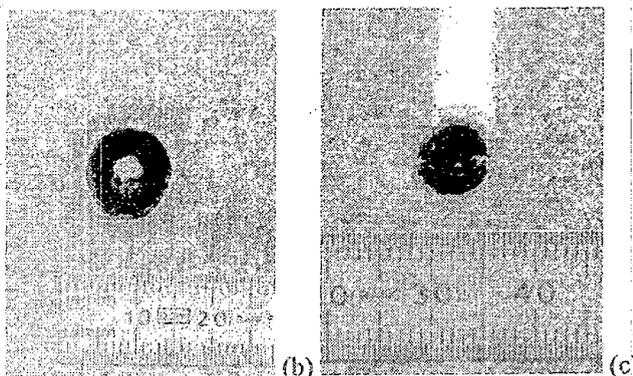
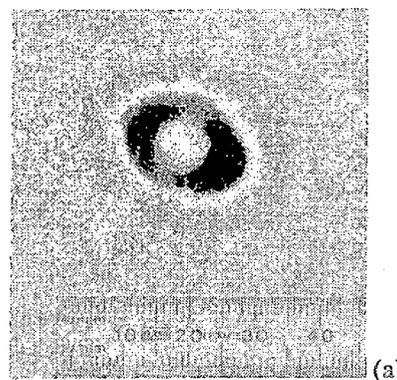


Figura 8. Registro del modo de salida.

Conclusiones

Se parametrizó el láser en función de la fracción de N₂ y se encontró que para presiones de CO₂ en el rango de 1.4 a 1.6 Torr la mejor proporción es 1:3.5:20 aproximadamente. La potencia de salida se incrementa notoriamente para corrientes superiores a 6.5 A por ende, un aumento de la corriente de bombeo (manteniendo la estabilidad de la descarga), permitirá obtener potencias superiores. El modo de salida está influido por la distribución espacial de ganancia. Para obtener un haz más homogéneo se debe obtener una distribución de ganancia más uniforme.

Para incrementar el diámetro del haz y extraer más energía de la cavidad se debe recurrir a un resonador de tipo inestable.

Referencias

- [1] M. A. Carnero, V. D'Accurso, C. A. Rosito y G. D. Santiago, *Anales AFA*, 11 (1999), 124.
- [2] W. J. Wittenan, "The CO₂ Laser", Springer-Verlag, (1987)
- [3] C. A. Rosito and G. Santiago, *Optical Eng.*, 35 (1996), 81