

CARACTERIZACIÓN DE UN LÁSER DE CO₂ PARA EL PROCESAMIENTO TÉRMICO DE MATERIALES CERAMICOS DE ALTA TECNOLOGÍA

H. García, A.Casas, E. Solarte

Universidad del Valle, Departamento de Física, A.A. 25360, Cali, Colombia

(Recibido 27 de Sep.2005; Aceptado 31 de Mar. 2006; Publicado 16 de Jun. 2006)

RESUMEN

Se diseñó un láser de CO₂ de flujo continuo, refrigerado con agua circulante en ciclo cerrado y con tubo de descarga DC desacoplado del resonador. Entre los espejos del resonador y las ventanas Brewster se dejó espacio suficiente para introducir dispositivos que permitan modular el láser, dejando la posibilidad de producir pulsos de alta potencia. El láser trabaja en modo continuo permitiendo una salida promedio de 17 W en el modo TEM₀₀. Se presenta la caracterización del sistema a través de las curvas de potencia – voltaje de descarga y de potencia – presión; y de la potencia máxima alcanzada para diferentes composiciones de la mezcla de gases de descarga. Las mediciones de la cintura arrojaron un valor de (2.31 ± 0.07) mm., y para ángulo de divergencia del haz se obtuvo (1.5 ± 0.3) mrad. La longitud de onda de emisión resultó en (10.7 ± 0.8) μ m. Las distribuciones de intensidad en modos TEM₀₀ y TEM₀₁ fueron observadas y medidas.

Palabras claves: Láser de CO₂, Recocido por Láser, Tratamiento Térmico, Ceramicos.

ABSTRACT

A continuous wave CO₂ laser has been designed and built. The system is water cooled and the DC discharge tube is separated from the optical resonator, leading enough space to assemble a cavity modulator to produce high power pulses. This system produces about 17 W (cw), working in the TEM₀₀ mode. In this work the results of the optical and electrical system characterization are presented. Typical curves of laser power as a function of the discharge voltage for different pressure values, and the dependence of the maximum emitted power with the gas mixture composition, were measured. Optical measurements of the laser beam parameters allowed to determine the beam waist as (2.31 ± 0.07) mm; the laser beam divergence as (1.5 ± 0.3) mrad, and the laser wavelength as (10.7 ± 0.8) μ m. The laser intensity distributions in the TEM₀₀ and the TEM₀₁ modes were observed and measured.

Keywords: CO₂ laser, Laser Annealing, Thermal treatment, Ceramics.

1. Introducción

La utilización eficiente de un láser en procesos de producción, tratamiento o maquinado de materiales requiere conocer con mucha precisión, no sólo la potencia emitida en una condición dada de operación del sistema, sino además conocer los parámetros ópticos del haz láser. Con este propósito, el sistema láser construido recientemente en la Universidad del Valle [1], ha sido caracterizado mediante medidas integrales y diferenciales de la potencia del haz emitido, así como a través de mediciones espectrales. Los parámetros ópticos principales de un haz láser, con distribución gaussiana, son la longitud de onda de emisión, λ , la Cintura del haz,

$W(z)$, el parámetro confocal o distancia de Rayleigh, Z_R , y la divergencia angular del haz, α . La teoría de la óptica de haces gaussianos [2] permite escribir para ellos las siguientes expresiones:

$$W(z)^2 = W_0^2 \left[1 + \left(\frac{z\lambda}{\pi W_0^2} \right)^2 \right] \tag{1}$$

$$Z_R = \frac{\pi W_0^2}{\lambda} \tag{2}$$

$$\alpha = \text{Arc tan} \left(\frac{W_0}{z_R} \right) \tag{3}$$

Siendo W_0 la mínima cintura y Z_R se interpreta como aquella distancia, desde la mínima cintura, para la que el tamaño del haz ha aumentado en un factor $\sqrt{2}$. La variación del tamaño transversal del haz con la distancia a la cintura mínima tiene una asíntota cuyo ángulo con el eje del haz está dado por α . En el modo TEM_{00} α da el ángulo de divergencia del haz. De los datos experimentales de intensidad vs. Posición, o distribución de intensidad, se hace un ajuste gaussiano del cual se obtiene la cintura, $W(z)$, del haz para diferentes posiciones z , y de estas mediciones se pueden determinar los demás parámetros. La distribución de intensidad de los modos de un láser se determina experimentalmente como función de los parámetros, q , de un instrumento (filtro, analizador o perfilómetro) indicando la intensidad, $I(q)$, que es transmitida y medida por el instrumento en un intervalo $(q, q+2dq)$ o $(q \pm Dq)$. Dq se denomina ventana del instrumento. El procedimiento experimental puede realizarse de dos formas: O bien se desplaza el perfilómetro (en este caso dos hojillas afeitar separadas 0.4mm, adosadas al sensor piroeléctrico de un medidor de potencia) por el plano transversal del haz láser, con un paso de 1mm, como ilustra en la Figura 1.a; ó se centra el sensor del medidor de potencia con respecto al centro del haz y abarcándolo, y luego se desplaza una fina cuchilla a través del haz, (con un paso de 0.25mm) como ilustra Figura 1.b. Con el fin de hallar los parámetros característicos de un haz gaussiano (W_0, λ) se procede a linealizar la Ecuación 1, lo que se realiza asignando nuevas variables:

$$y = W^2; \quad x = z^2; \quad \text{con:} \quad m = \frac{\lambda^2}{\pi^2 W_0^2} \quad \text{y} \quad b = W_0^2 \tag{4}$$

Siendo este ajuste de la forma $y = mx + b$.

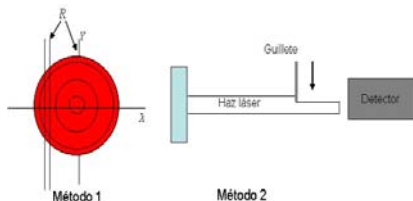


Figura N₀ 1. Ilustración de los métodos de toma de perfiles espaciales. Método 1 es diferencial, el método 2 es integral.

2. Resultados Experimentales

El registro de los datos de intensidad se realizó a diferentes distancias, z , entre la salida del láser y el perfilómetro (método 1). El primer registro de datos se realizó a una distancia de 5cm y el último registro de datos se realizó a 175cm. Los perfiles típicos obtenidos se presentan en la Figura 2.

De los resultados obtenidos del tamaño de la cintura, $W(z)$, para cada distancia, z , se obtiene una regresión lineal, mostrada en la figura 3, para la cual se obtienen los siguientes valores:

$$W^2 = (5.35 \pm 0.35) + (2.17 \times 10^{-6} \pm 2.13 \times 10^{-7}) z^2 \quad (5)$$

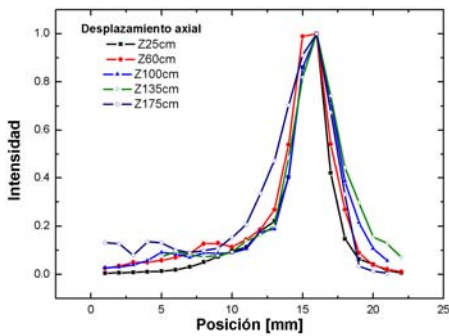


Figura 2. Perfiles del haz láser a diferentes distancias z , medidas desde el espejo de salida.

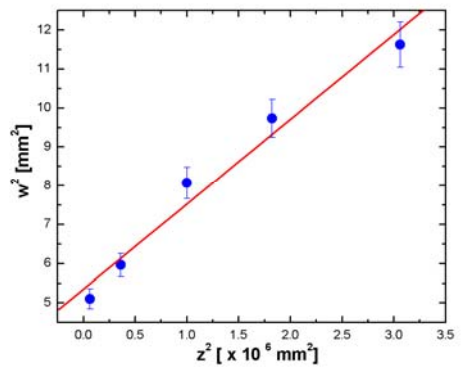


Figura 3. Ajuste lineal para dependencia hiperbólica de la cintura del haz con la distancia

Los resultados de cintura mínima, W_0 , y longitud de onda, λ , obtenidos de la regresión son: $W_0 = 2.31 \pm 0.07 \text{ mm}$; $\lambda = 10.7 \pm 0.8 \text{ micrómetros}$; y se halla el valor $Z_R = (1.57 \pm 0.22) \text{ m}$, para la distancia de Rayleigh; así, $W(\pm Z_R) = \sqrt{2} W_0 = 3.26 \text{ mm}$, y para la divergencia del haz se obtiene el valor $(1.5 \pm 0.3) \text{ mrad}$. En la Figura 4 se observa la grafica de la función W vs. z obtenida de los valores calculados para W_0 y λ en la regresión.

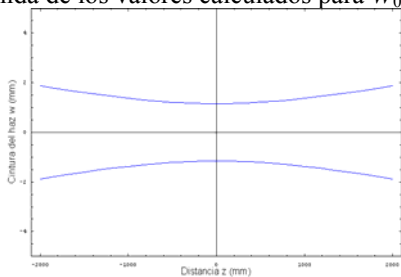


Figura 4. Evolución del tamaño transverso del haz gaussiano con la distancia z .

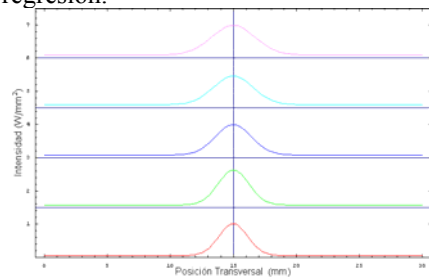


Figura 5. Ensanchamiento del perfil con la distancia z .

La evolución del tamaño transverso del haz W , con la distancia z , de acuerdo con los datos medidos y calculados del ajuste, se ilustra en la Figura 5.

En la Figura 6 se presenta la medición de la distribución de potencia en los modos TEM₀₀ (Figura 6 a) y TEM₀₁ (Figura 6b). La derivación numérica fue realizada con el software ORIGIN.

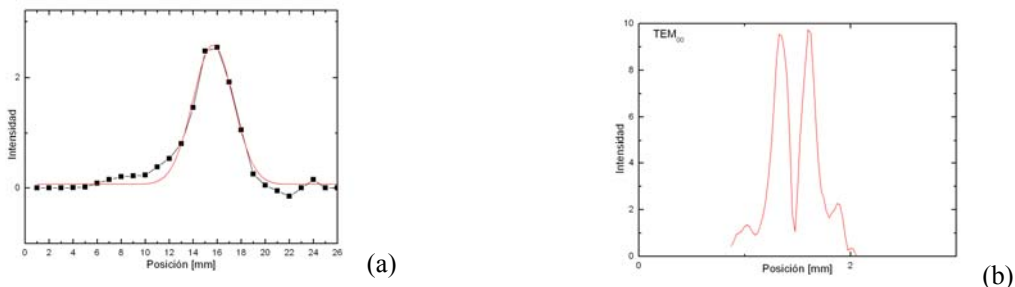


Figura 6. Distribución de intensidad en los modos TEM00 (a) y TEM01 (b)

Las curvas de Potencia vs Presión y de Potencia vs Voltaje se presentan en las figuras 7 a y b.

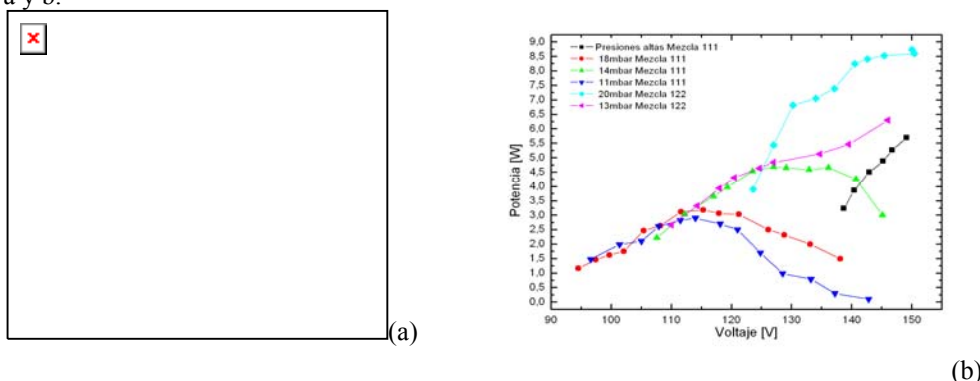


Figura 7. Características de Potencia en función de los parámetros de la descarga. (a) Muestra el efecto de la Presión de la mezcla; (b) Muestra el efecto del Voltaje de descarga.

Conclusiones

Se ha caracterizado un láser de CO₂ para ser empleado en tratamiento y producción de materiales a baja potencia. Los resultados muestran que el aparato produce luz láser en el rango de los 20 W. Los modos transversales pueden sintonizarse con el resonador y con la mezcla se controla la potencia total y el umbral de láseo.

Referencias

[1] Alvaro Casas Bedoya, “Construcción de un laser de CO₂”, Trabajo de Grado, UValle, 2005
 [2] Jose Guerra Perez, “Física del Laser”, Universidad Complutense de Madrid, 15 Abril 2004.