

DESARROLLO DE COMBUSTIBLES SÓLIDOS PARA PROPULSIÓN LÁSER

Carlos Rinaldi^{1,3,4}, Norberto G. Boggio^{1,3,4}, Daniel Rodríguez^{1,3}, Alberto Lamagna¹, Alfredo Boselli¹
Osvaldo Vilar², Jorge Codnia², M. Laura Azcárate^{2,4}

¹Instituto de Nanociencia y Nanotecnología, CNEA, Av. Gral Paz 1499 (1650) San Martín, Buenos Aires, Argentina

²Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones CEILAP (CITEFA-CONICET), Juan Bautista de La Salle 4397, B1603ALO, Villa Martelli, Buenos Aires, Argentina

³Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires
Av. Paseo Colón 850 - C1063ACV - Buenos Aires - Argentina

⁴ Carrera del Investigador del CONICET
e-mail : rinaldi@cnea.gov.ar

RESUMEN

En estos últimos años la propulsión láser ha ganado la atención de los grupos de investigación de propulsión alrededor del mundo. En primer lugar, han emergido los sistemas láser con media y ultra-alta energía que encontraron su aplicación en la propulsión láser. En términos del impulso específico, de la eficacia de la conversión de la energía y de la relación masa-potencia, la propulsión por ablación láser es superior a otros esquemas de propulsión. La eficiencia de acoplamiento, C_m , es en gran parte dependiente del material, del diámetro y la duración temporal del pulso láser. En consecuencia, estos fenómenos deben ser dominados mediante su estudio.

En este trabajo se utilizó un láser de CO₂ TEA pulsado operado en la línea de emisión 10P20, 10,247 m. La energía de salida del láser fue de 2,5 J por pulso, la frecuencia de repetición fue ajustada a 1 Hz y la duración del pulso era de 180 ns. Un análisis preliminar permitió definir la utilización de Zn como matriz de ablación en combinación con CaCO₃ para utilizarla como combustible sólido en sistemas de propulsión láser. Se determinó que la composición de la matriz determina el impulso máximo que puede transmitir el pulso láser.

Palabras clave: Propulsión, Ablación Láser, Propulsión Láser

INTRODUCCIÓN

El primer concepto de propulsión por láser fue propuesto por A. Kantrowitz del laboratorio de investigación de Avco Everett en 1972 [1]. A. Kantrowitz consideraba que un haz láser de alta energía enfocado utilizado como propulsor podría ser un sustituto muy atractivo de los sistemas químicos de propulsión.

En estos últimos años, debido al desarrollo de la tecnología láser, la propulsión láser ha ganado la atención de los grupos de investigación de propulsión alrededor del mundo. En primer lugar, han emergido los sistemas láser con media y ultra-alta energía que encontraron su aplicación en la propulsión láser. Por ejemplo, en octubre de 2000, Leik Myrabo del Instituto Politécnico de Rensselaer y otros científicos de la fuerza aérea de Estados Unidos y la NASA utilizaron un láser infrarrojo pulsado de 10 kW de potencia logrando impulsar con éxito una pieza en forma de bellota con un diámetro de 12.2 cm y una masa de 50 g a una altura de 71 m [2]. Por otra parte, el rápido desarrollo de los láseres de pulsos ultra-cortos hace que la propulsión por ablación láser sea una

técnica muy prometedora en el campo de la propulsión [3]. En términos del impulso específico, de la eficacia de la conversión de la energía y de la relación masa-potencia, la propulsión por ablación láser es superior a otros esquemas de propulsión. En este sentido los resultados experimentales más actuales en los que se utilizan micro-esferas de materiales metálicos y no-metálicos muestran que la eficiencia de acoplamiento, C_m , es en gran parte dependiente del material, del diámetro y la duración temporal del pulso láser [4]. En consecuencia, estos fenómenos deben ser dominados mediante su estudio.

METODOLOGÍA

El sistema experimental desarrollado se muestra en la figura N°1. Se utilizó un láser de CO₂ TEA pulsado operado en la línea de emisión 10P20, 10,247 m. La energía de salida del láser era de 2,5 J por pulso, la frecuencia de repetición fue ajustada a 1 Hz y la duración del pulso era de 180 ns. El haz fue enfocado sobre la muestra, con una lente plano-convexa de 12,7 cm de distancia focal obteniéndose en el punto de ablación sobre la pastilla un diámetro de 1 mm.

Con el fin de determinar la composición metal / sal de Ca de la pastilla combustible fue necesario realizar por un lado, un estudio de la selección de la matriz y, por otro, de las condiciones de ablación.

Para la selección del metal debe tenerse en cuenta que el proceso de ablación debe estar gobernado y perfectamente caracterizado por una determinada matriz, que al estar en gran proporción permita controlar dicho proceso y, además, disminuir las fluctuaciones debidas a los cambios de composición y estructura. Un análisis preliminar permitió definir la utilización de Zn como matriz de ablación. Esta elección se basó en que éste es un elemento que favorece el proceso de ablación por sus propiedades físicas y térmicas [5] tales como: bajo potencial de ionización, alto coeficiente de absorción y alta densidad electrónica. También mejora la homogeneidad y cohesión de la muestra, resiste el golpe mecánico y permite la evaporación de la superficie de la pastilla antes que ocurra el "crumbling" (desmigarse) [6]. Por lo tanto, se prepararon pastillas mezclando Zn metálico en polvo (Mallinckrodt, 99,99%) y agregando diferentes cantidades de CaCO₃ (Aldrich powder 99,99%). Las pastillas, de 0,5 g y 10 mm de diámetro por 1,5 mm de espesor, se realizaron en una prensa con una presión de aproximadamente 1,5 toneladas / cm² durante 5 minutos. Esta presión reduce fuertemente los efectos del tamaño de partícula, incrementando la homogeneidad de la superficie de la muestra y reduciendo su contenido de humedad.

Las pastillas sintetizadas fueron colocadas en el sistema que se muestra en la Figura 1, el cual consiste en un péndulo de torsión desarrollado en el laboratorio.

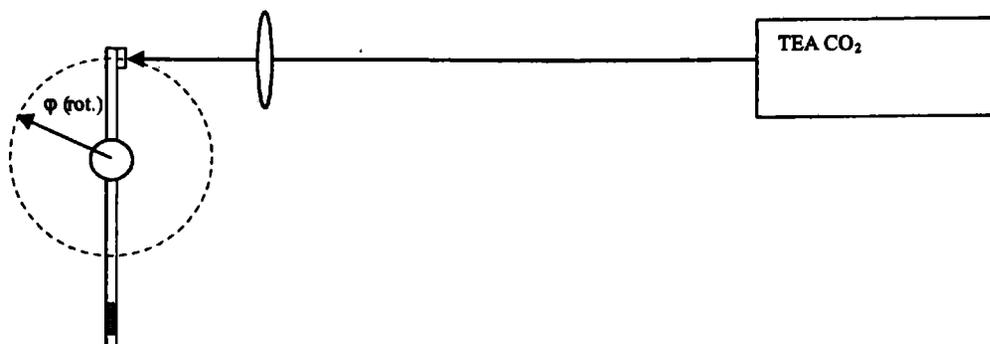


Figura 1: Diagrama experimental

Las fotografías de las Figuras 2 y 3 muestran el ángulo desde donde se obtuvieron las imágenes para medir la velocidad angular que producía el pulso láser sobre cada pastilla irradiada.



Figura 2 : Impacto del pulso láser $t=0$



Figura 3: Impacto del pulso láser $t=10s$

La velocidad angular se midió utilizando el programa de procesamiento de imágenes Imagej [7].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 4 para las 4 pastillas con distinta composición Zn / CaCO_3 procesadas. Como puede observarse la composición de la pastilla determina el máximo impulso que se puede alcanzar en estas condiciones experimentales.

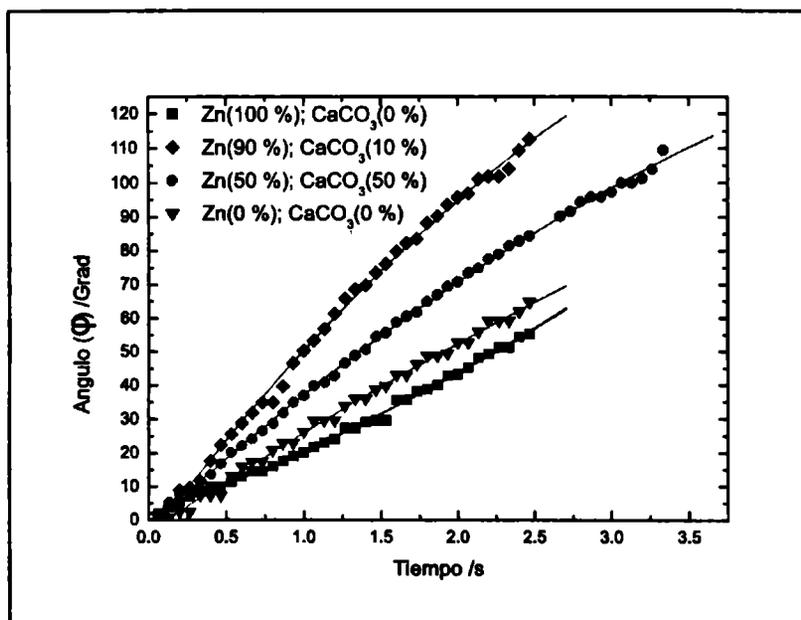


Figura 4. Ángulo de rotación en función del tiempo. Las líneas rojas indican el ajuste realizado.

Tabla I: Velocidad angular y composición de las pastillas sintetizadas

| Composición | Velocidad Angular (grad/s) |
|------------------------------------|----------------------------|
| Zn(100 %); CaCO ₃ (0 %) | 16.0 ± 0.3 |
| Zn(90 %); CaCO ₃ (10 %) | 62.0 ± 0.6 |
| Zn(50 %); CaCO ₃ (50 %) | 42.0 ± 0.3 |
| Zn(0 %); CaCO ₃ (0 %) | 30.8 ± 0.3 |

La **Tabla I** muestra que la velocidad angular, determinada a partir de los datos de la Figura 3, aumenta conforme disminuye la concentración de CaCO₃, pero es menor cuando se utiliza cualquiera de los componentes puros. Esto se debe a los procesos propios que gobiernan los fenómenos de ablación láser [8], tales como la absorción del pulso láser, repulsión coulombica, generación de plasma y expulsión del material ablacionado.

CONCLUSIONES

Se desarrolló un método para sintetizar pastillas en base a Zinc como combustible sólido para utilizarlo en sistemas de propulsión láser. Se determinó que la composición de la matriz determina el impulso máximo que puede transmitir el pulso láser. Por otra parte se desarrolló un procedimiento basado en un péndulo de torsión para medir el impulso generado por el pulso láser sobre las pastillas.

REFERENCIAS

1. A. Kantrowitz, "Propulsion to orbit by ground-based lasers," *Astronautics & Aeronautics (A/A)* **10**, 74-76 (1972).
2. D. Darling, "The encyclopedia of astrobiology, astronomy, and spaceflight," <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/L/laserprop.html>.
3. A. V. Pakhomov, and D. A. Gregory, "Ablativ e laser propulsion: an old concept revisited," *AIAA Journal* **38**, 725-727 (2000).
4. Nan Zhang, You-Bo Zhao, and Xiao-Nong Zhu, Light propulsion of microbeads with femtosecond laser pulses, *Optics Express* **12**, 15, 3590, (2004).
5. Z. Chen, *J. Anal. At. Spectrom.*, **14** (1999) 1823-1828
6. P. Musil et., *Spectrochimica Acta Part B* **55** (2000) 1747-1758
7. Wayne Rasband, National Institute of Health, USA <http://rsb.info.nih.gov/ij/>
8. I. Cabanillas-Vidosa, C. A. Rinaldi, J.C. Ferrero *Journal Applied Physics* , **102**, 013111, 2007