

# ACOPLADOR DE SALIDA PARA CAVIDADES SFUR CON MENORES PERDIDAS

G.D. Santiago<sup>†</sup>, C.A. Rosito<sup>†#</sup>, A.L. Peuriot<sup>#</sup>

<sup>†</sup> Facultad de Ingeniería, UBA. Paseo Colón 850 (1063). Cap. Fed.  
<sup>#</sup> CEILAP (CITEFA-CONICET). Zufriategui 4380 (1603), Villa Martelli, Bs. As.  
e-mail: [gsantia@citefa.gov.ar](mailto:gsantia@citefa.gov.ar)

Se estudió un nuevo tipo de acoplador de salida para cavidades inestables autofiltrantes (SFUR) con el objeto de tener control sobre la fracción de energía acoplada fuera de la cavidad. Este acoplador permite utilizar mayores magnificaciones, aprovechando mejor el medio activo; lo cual resulta útil en láseres de descarga transversal de gran volumen. En una cavidad SFUR el orificio de filtrado se elige de manera de realimentar el lóbulo central de la distribución de campo; perdiéndose una fracción apreciable de la energía. El nuevo espejo tiene, además de la abertura central, otra en forma de corona concéntrica con la primera. Los radios de esta corona se eligen de manera tal que se realimente la zona del frente de onda que está en fase con el lóbulo central, aprovechándose energía que en el diseño usual no se utiliza. Se presentan resultados obtenidos en un láser TEA de CO<sub>2</sub>.

A new output coupler, suitable for self-filtering unstable resonators (SFUR) was studied. This mirror shows a higher equivalent reflectivity, thus permitting larger magnifications and a better use of the active medium. This is useful in large volume transverse discharge lasers. The typical SFUR filtering aperture is chosen as to feedback the electric field's main lobe thus losing part of the energy. The new mirror has a second aperture, concentric with the principal one. The radii of this aperture are chosen as to transmit the secondary lobes in-phase with the central one. This choice reduces energy waste in the filtering process. Experimental results obtained with TEA CO<sub>2</sub> are shown.

## Introducción

Los resonadores inestables con aberturas filtrantes se caracterizan por tener un modo de salida de gran sección y buena calidad que se manifiesta en una baja divergencia. Desafortunadamente, en el filtrado se pierde energía que no es aprovechada en el haz de salida<sup>(1,2)</sup>.

En este trabajo mostramos un nuevo tipo de acoplador de salida para un resonador inestable confocal de la rama negativa el cual se caracteriza por realimentar una mayor fracción de la energía dentro de la cavidad manteniendo una buena calidad del modo.

## Cavidad SFUR

El resonador inestable autofiltrante (SFUR), introducido originariamente por Gobbi y Reali<sup>(3-5)</sup>, es una cavidad confocal inestable de la rama negativa en la que el acoplador de salida tiene una pequeña abertura que actúa como filtro espacial en el punto focal común a ambos espejos (fig. 1). El diámetro de la abertura se determina de tal manera que coincida con el "diámetro" de su imagen por difracción a través del espejo M<sub>2</sub>, que para el caso de un frente de onda plano es el tamaño del lóbulo central del disco de Airy. Bajo estos supuestos el radio de la abertura debe ser:  $a = \sqrt{0.61 f_2 \lambda}$ .

Esta elección del radio de la abertura es la que brinda la mejor discriminación entre modos y el menor coeficiente de pérdidas, es decir que es la de mayor reflectividad equivalente. Del total de las pérdidas una parte es potencia útil extraída de la cavidad, pero otra parte no se utiliza, la que se pierde en el filtrado cuando el frente de onda proveniente de M<sub>2</sub> atraviesa la abertura

rumbo a M<sub>1</sub>. En efecto, al dejar pasar solamente la parte central del lóbulo de difracción cierta cantidad de energía no aparece en la salida.

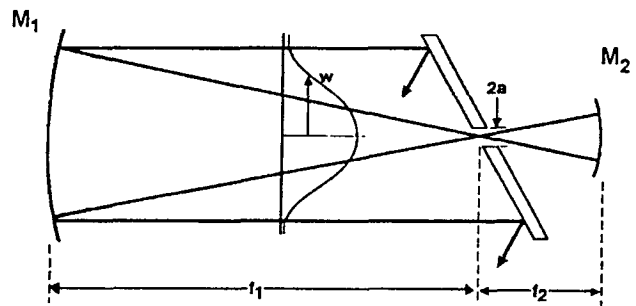


Figura 1. Esquema de la cavidad SFUR. El modo dominante próximo al Gaussiano, tiene una cintura  $w \approx m \cdot a$ , donde  $m = -f_1/f_2$ .

La figura 2 muestra cómo aprovechar mejor la energía. La idea consiste en realimentar parte del frente de onda que se refleja de M<sub>2</sub>, la parte del campo que se encuentre en fase con el lóbulo central.

Los cálculos muestran que se puede obtener un autovalor mayor, eligiendo convenientemente el radio y ancho del anillo secundario.

## Modelado

Se considera una función  $M(r)$ :

$$M(r) = 1, \quad 0 \leq r \leq r_1 \quad \text{y} \quad r_2 \leq r \leq r_3 \quad (1)$$
$$0, \quad \text{para cualquier otro } r.$$

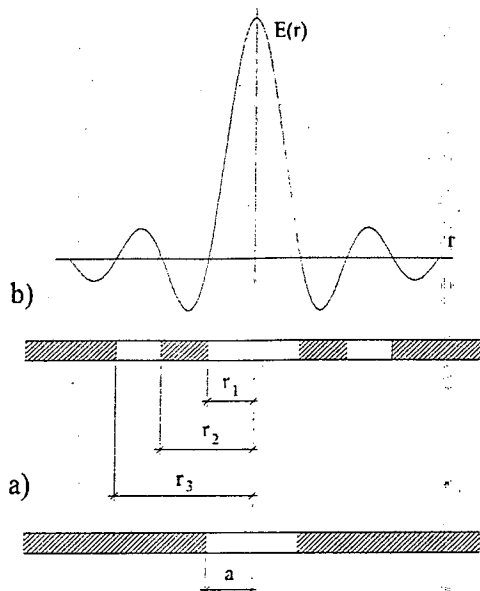


Figura 2. Diagrama explicativo de la función de las aberturas: a) SFUR, b) SFUR modificado.

que representa la abertura de la figura 2b. Los autovalores  $\gamma$  y el campo  $u(r)$  sobre el espejo de salida se calculan por el método iterativo de Fox y Li, en base a la integral de difracción para un pasaje de ida y vuelta dentro de la cavidad. <sup>(1,6)</sup>

$$u(r) = -k_1 k_2 \int_0^a r' M(r') J_0(k_1 r r') G(r') dr' \quad (2)$$

donde:

$$G(r') = \int_0^a u(r'') r'' M(r'') J_0(k_2 r' r'') dr''$$

$$k_1 = k_2 / m \quad \text{y} \quad k_2 = 1.22\pi,$$

$J_0$  es la función de Bessel de primer especie y orden cero y  $m = -f_1/f_2$  es la magnificación del resonador tomada como número positivo por conveniencia. Los radios  $r$ ,  $r'$  y  $r''$  están normalizadas al radio del disco de Airy  $a$ .

Dado los  $r_k$  ( $k=1$  a  $3$ ) para la abertura (1), y utilizando (2), se calcula el autovalor del modo dominante para este juego de radios. El conjunto óptimo de radios que maximiza el autovalor  $\gamma$  para cada magnificación se determina por un proceso iterativo. <sup>(7)</sup>

En la figura 3 se muestran los radios óptimos calculados para distintas magnificaciones. Puede notarse que el primer radio difiere muy poco del óptimo para un SFUR convencional ( $r_1 \approx 1$ ).

En la figura 4 se observa la mejora relativa en la reflectividad equivalente respecto del SFUR convencional. El efecto se hace más notorio para mayores magnificaciones.

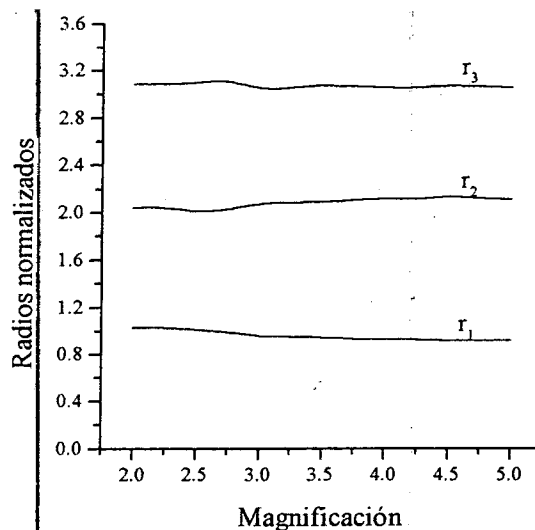


Figura 3. Radios para mínimas pérdidas del acoplador de salida-abertura en función de la magnificación  $m$  para la cavidad SFUR modificada.

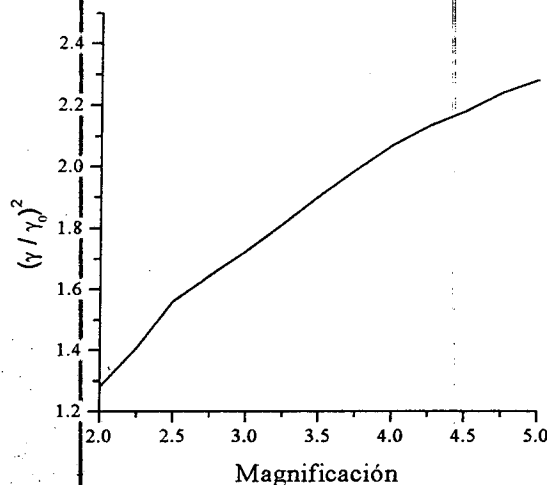


Figura 4. Reflectividad equivalente relativa a la cavidad SFUR en función de la magnificación  $m$ .

### Resultados Experimentales

Se diseñó una cavidad de magnificación  $m=3$  para un láser de  $\text{CO}_2$  de descarga transversal tipo TEA. El acoplador de salida (filtrado) está formado por dos partes en acero inoxidable, maquinadas por electroerosión y pulidas en un solo conjunto, figura 5. El espejo de colimación ( $M_1$ ) del SFUR se ubica dentro del canal de descarga. El volumen activo útil está limitado por la ventana de  $\text{NaCl}$  en ángulo de Brewster que separa la descarga del resto del resonador, a un diámetro de 32 mm.

El láser se operó con una mezcla 2:1:4 de  $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}$ , a 35 KV.

La emisión del láser se registró sobre papel termosensible de fax, cuidando no saturar la impresión.

Las imágenes fueron posteriormente relevadas con una cámara de video de 512 x 480 pixels de resolución.

En la figura 6 se puede observar el modo emitido a 60 cm del acoplador de salida (donde se empieza a observar el spot central de Poisson-Arago) y a 3,10 m del mismo donde se transforma en una mancha. Registrando el haz a 3,10 y 5,40 m, se midió una divergencia de 0,8 mrad.

A 5 m del láser se observa astigmatismo en el haz en la dirección horizontal debido a la ventana en ángulo de Brewster (24 mm de espesor). En la dirección vertical el haz presenta un perfil de intensidad casi simétrico y de variación suave, como muestra la figura 7.

Al igual que para el SFUR convencional, se comprobó que la cavidad discrimina eficientemente los modos de orden superior.

Para verificar las predicciones del modelo se midió la fracción de energía realimentada dentro de la cavidad ( $\gamma^2$ ). Para ello, se introdujo próxima a la sección amplificadora una lámina de ZnSe y se midieron las intensidades reflejadas por la lámina en los dos sentidos de propagación. El valor de reflectividad equivalente, corregido tomando en cuenta la reflectividad medida de los espejos de acero inoxidable ( $80 \pm 2\%$ ), dio  $\gamma^2 = 0,39 \pm 0,05$ . El valor teórico para la cavidad vacía  $\gamma^2 = 0,36$  se encuentra comprendido en el intervalo de incerteza de la medida experimental, lo que confirma la reducción de las pérdidas respecto de la cavidad SFUR clásica.

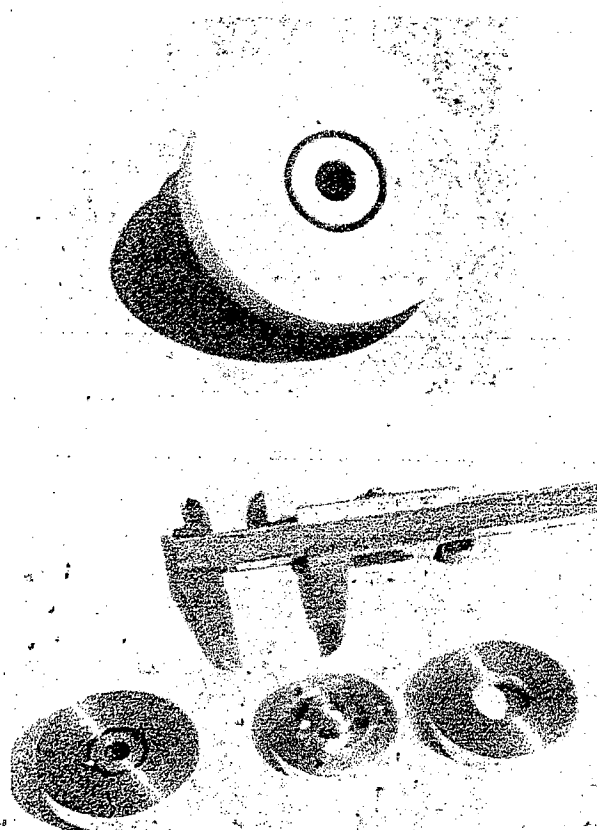


Figura 5. Superior: Espejo pulido; inferior: antes de pulir despiece del mismo.



Figura 6. Registros de la forma del haz de un pulso láser sobre papel de fax, a 60 cm (imagen inferior) y 3,10 m del espejo de salida (imagen superior). Escala 2:1.

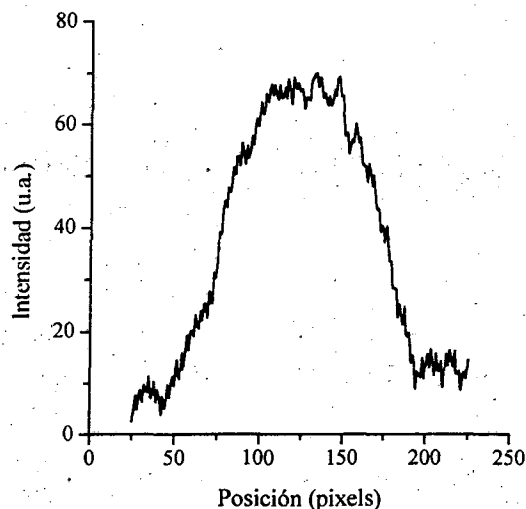


Figura 7. Perfil transversal de intensidad a 5 m del acoplador.

### Agradecimientos

Queremos expresar nuestro reconocimiento al Taller de Prototipos de CITEFA por el maquinado de los espejos y al Sr. Luis Fidalgo por el impecable trabajo de pulido.

### Referencias

- 1) Peuriot A.L. et al, *Anales AFA*, 7 (1995) 257-260.
- 2) Siegman A.E., *Optics Comm.* 88 (1992) 295-297.
- 3) Gobbi P.G. and Reali G.C., *Optics Comm.* 52 (1984) 195.
- 4) Gobbi P.G., Morosi S., Reali G.C. and Zarkasi A.S.; *Appl. Optics* 24 (1985) 26.
- 5) Gobbi P.G. and Reali G.C., *Optics Comm.* 57 (1986) 119.
- 6) Siegman A.E., *Lasers*, University Science Books, 1986. Cap. 20, pág. 781.
- 7) Press W.H. et al, *Numerical Recipes* (Second Edition) Cambridge Univ. Press, 1992. Capítulo 10.