

## RESONADOR INESTABLE AUTOFILTRANTE EN ANILLO PARA UN LASER DE CO<sub>2</sub> TEA

G. D. Santiago<sup>(1)</sup>, A. L. Peuriot<sup>(2)</sup> y C. A. Rosito<sup>(1,2)</sup>

(1). Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Paseo Colón 850 (1063), Buenos Aires  
 (2) Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones (CEILAP). CITEFA-CONICET. Zufriategui 4380 (1603), Villa Martelli, Provincia de Buenos Aires  
 e-mail: gsantia@fi.uba.ar

Presentamos un resonador inestable en anillo que se desempeña en forma semejante a un resonador inestable autofiltrante (SFUR). El resonador del tipo confocal utiliza dos aberturas ubicadas en los puntos focales. Una de ellas es el espejo de salida con una abertura más grande que la nominal y la otra filtra el haz con un iris de radio inferior al nominal. Con una elección adecuada de dichas aberturas es posible obtener sobre el espejo de salida un modo de diámetro superior al que se obtendría con un SFUR de la misma magnificación. Este resonador se ensayó en un láser de CO<sub>2</sub> TEA. Se midieron mayores diámetros del modo y energía de salida que los obtenidos con SFUR tradicional de la misma magnificación geométrica.

We present an unstable ring resonator that performs similarly to an unstable self-filtering resonator. The resonator of the confocal type uses two apertures located at the focal points. One of them whose size is larger than the nominal value is the output coupler, and the other one is a spatial filter whose size is smaller than the nominal value. A proper choice of those apertures brings on the output coupler an expanded beam, larger than the mode obtained in a SFUR with the same magnification. The resonator was tested in a TEA CO<sub>2</sub> laser. We measured larger output beam diameter and output energy than the ones obtained in a conventional SFUR.

### 1. Introducción

Gobbi y Reali<sup>(1,3)</sup> han propuesto y probado experimentalmente el resonador inestable autofiltrante (SFUR). Asimismo, otros investigadores aplicaron el principio del SFUR a los láseres de gran ganancia<sup>(4,7)</sup>. En esencia, el SFUR es una cavidad inestable confocal de la rama negativa conformada por dos espejos de distancias focales  $f_C$  y  $f_L$  ( $f_L > f_C$ ) y el módulo de la magnificación geométrica es  $m = |f_L / f_C|$ . En el punto focal de la cavidad se coloca un espejo de abertura  $2a$  que provee un filtro espacial del modo y sirve de acoplamiento de salida. El radio óptimo  $a$  de dicho orificio está dado por  $a = (0.61 f_C \lambda)^{1/2}$  y el diámetro resultante del modo está dado por  $\Phi \approx 2ma$ .

Este resonador es muy simple y brinda un modo casi gaussiano de muy alta calidad. Asimismo las pérdidas por paso son notablemente más bajas que las que corresponden al límite geométrico  $1/m^2$ . Sin embargo, Siegman<sup>(8)</sup> señaló un problema de estos resonadores que está conectado con la extracción eficiente de energía en medios amplificadores de gran sección transversal.

El número de Fresnel de un amplificador de radio  $A$ , largo  $L$  y longitud de onda  $\lambda$  está dado por<sup>(8)</sup>:

$$N_{FA} = A^2 / L \lambda \quad (1)$$

En condiciones de máxima extracción de energía el diámetro del modo debe aproximarse al diámetro del amplificador, lo que lleva a<sup>(8)</sup>:

$$N_{FA} \approx 2m (f_L / L) \quad (2)$$

El valor máximo de la magnificación está dado por las pérdidas aceptables, por lo que el único parámetro ajustable es la razón  $f_L/L$ . Por lo tanto, para extraer la mayor parte de la energía puede ser necesario utilizar un espejo de distancia focal mucho más grande que el largo del medio amplificador.

Este problema puede ser solucionado abandonando la estructura de resonador en línea para pasar a otro en anillo con dos aberturas, con el fin de desacoplar el número de Fresnel  $N_{FA}$  de la magnificación geométrica  $m$ .

La figura 1 muestra el resonador propuesto. La cavidad tiene dos espejos cóncavos:  $f_C$  (corto) y  $f_L$  (largo). En el foco del espejo corto está el espejo de salida el cual tiene una abertura de diámetro  $D = 2a\delta$  donde  $\delta$  es un parámetro arbitrario de expansión del haz mayor que la unidad. El haz colimado que se propaga desde la abertura, se enfoca por medio de  $f_C$  y se filtra con un diafragma de abertura  $d = 2a/\delta$ . El haz diverge hacia un espejo plano auxiliar, donde se refleja y recorre una distancia  $f_L$ . Se colima con el espejo  $f_L$  y el haz, con un diámetro expandido a  $\Phi = 2am\delta$ , pasa por el amplificador para luego incidir sobre el espejo de salida.

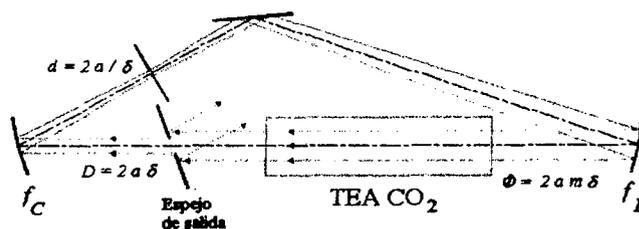


Figura 1. Esquema del resonador.

## 2. Parte Experimental

Se construyó y ensayó el resonador descrito para dos magnificaciones:  $m = 1.5$  ( $f_c = 1$  m y  $f_L = 1.5$  m) y  $m = 2.5$  ( $f_c = 1.5$  m y  $f_L = 3.75$  m). Los espejos de salida, de acero inoxidable, se maquinaron y pulieron en CITEFA y luego se recubrieron con una capa de oro. El amplificador de CO<sub>2</sub> TEA tiene un largo de 600 mm, 30 mm de ancho y separación de electrodos de 25 mm. En los extremos hay ventanas de ZnSe, con recubrimiento antirreflectante en ambas caras. El número de Fresnel del amplificador es próximo a 28.

Para cada una de las magnificaciones, se variaron las aberturas del espejo de salida. El diámetro del modo se determinó midiendo la mancha que se obtiene sobre un papel de fax ubicado a 0.2 m de la abertura.

La figura 2 muestra la variación de los diámetros de los modos en función del factor  $\delta$  y compara las medidas experimentales (triángulos) con la recta teórica, calculada según  $\Phi = 2am\delta$ .

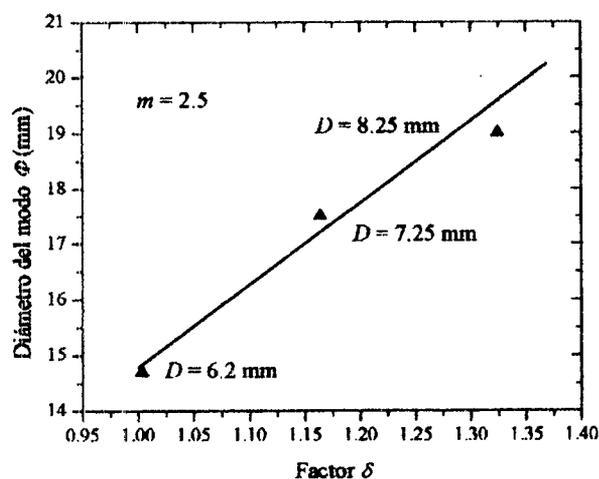
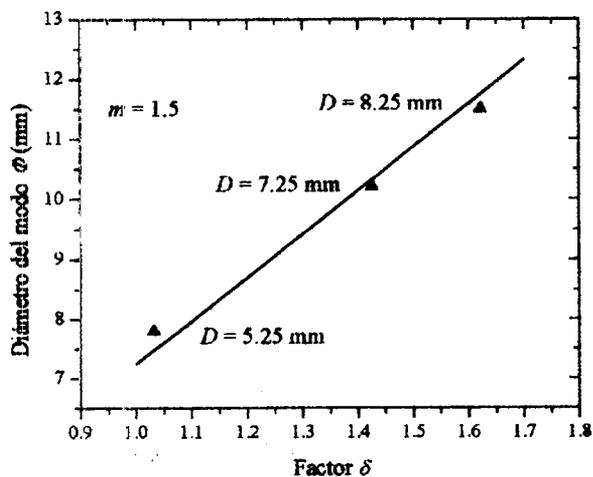


Figura 2. Registro del diámetro del haz de salida en función de  $\delta$  para ambas magnificaciones.

Los diámetros de los modos concuerdan con la recta teórica, dentro de un error experimental del 2.5 % para  $m = 1.5$  y del 1.7 % para  $m = 2.5$ .

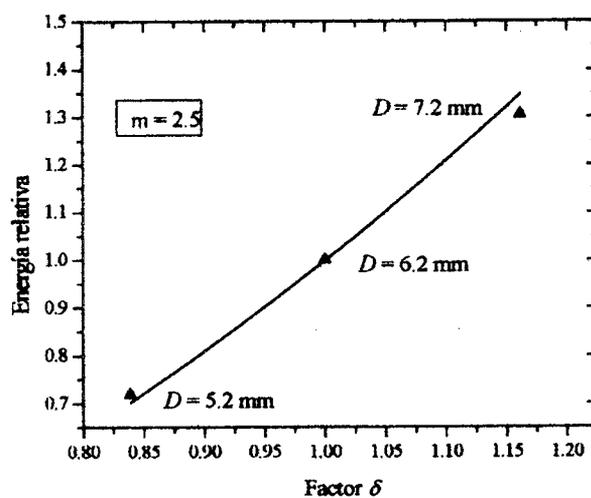
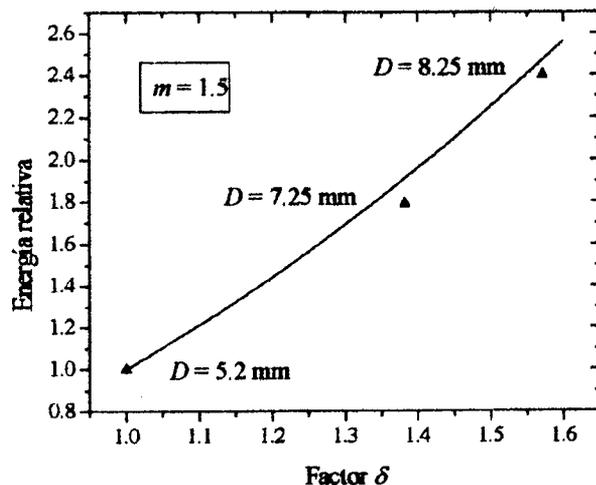


Figura 3. Energía normalizada en función de  $\delta$  para ambas magnificaciones.

La figura 3 es el gráfico de energía relativa respecto de un SFUR con  $\delta=1$  y muestra el aumento de energía con el factor  $\delta$ . Éste está limitado por la separación de los electrodos y el diámetro de las ventanas del amplificador TEA.

Las medidas de energía concuerdan, dentro del error experimental, con la curva teórica que se obtiene integrando el cuadrado del campo del modo SFUR. El modo teórico se obtiene simulando una cavidad vacía SFUR en anillo de abertura  $a\delta$  en la ida, y con un iris de abertura  $a/\delta$  en la vuelta<sup>(9-10)</sup>. El programa de cálculo encuentra los modos de menores pérdidas para una dada simetría y calcula el autovalor  $\gamma$  del campo eléctrico.

Para medir el autovalor del modo se introdujo en la cavidad, después del espejo de salida, una lámina de ZnSe con un recubrimiento antirreflectante en una cara. Se midió simultáneamente la radiación que se refleja en la lámina (17%) y la radiación del láser, por medio de sendos detectores piroeléctricos. Las reflectividades efectivas se muestran en la siguiente tabla:

TABLA 1: Reflectividades calculadas y medidas

$m$	$R_{\text{calculada}}$	$R_{\text{medida}}$
1.5	0.65	0.62
2.5	0.28	0.27

A fin de determinar la divergencia del modo correspondiente a  $m = 2.5$ , se dejó propagar la radiación láser y con un escáner se obtuvieron las imágenes a diferentes distancias, figura 4(a-d). A 0.2 m se manifiestan los anillos de difracción de Fresnel de la abertura; a 1.6 m vemos la mancha central de Poisson-Arago; a 9.1 m evoluciona a una mancha en que se concentra la energía del modo y finalmente a 21 m diverge la mancha.

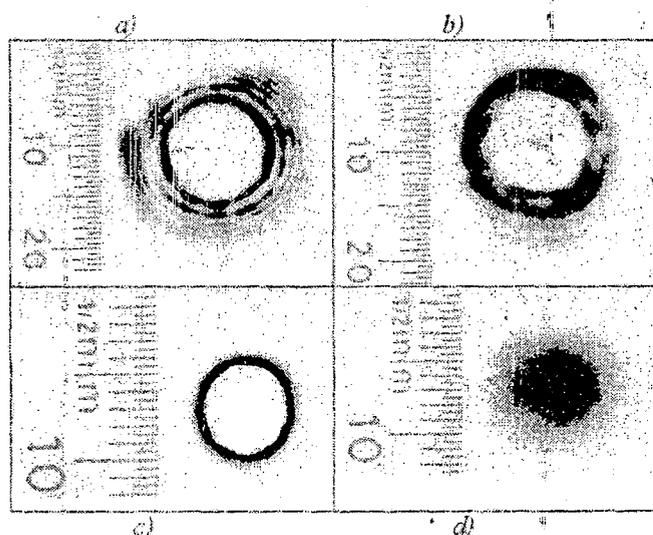


Figura 4. Evolución del modo: a) 0.2 m, b) 1.6 m, c) 9.1 m y d) 21 m del espejo de salida.

Se digitalizó la mancha del papel de fax que se muestra en la Figura 4(d), con una cámara CCD de 320 por 240 píxeles. En la figura 5 se observa el perfil de un diámetro de ese modo y superpuesto con una función que surge de propagar el modo teórico del láser hasta una distancia de 21m.

Se puede observar que el lóbulo central sigue cercanamente al modo teórico. Desafortunadamente, el papel de fax tiene un rango dinámico muy reducido, del orden de 3:1, por lo que no fue posible registrar las alas del modo que habrían revelado las diferencias entre el modo teórico y el real.

Finalmente, midiendo las manchas sobre una muestra de grafito especial, a 21m y a 25.8 m se determinó la divergencia (a ángulo mitad):  $\theta_{1/2} \approx 0.7$  mrad.

### 3. Conclusiones

- Se logró obtener un modo de mayor diámetro que en el SFUR tradicional, en buena concordancia con el valor teórico.

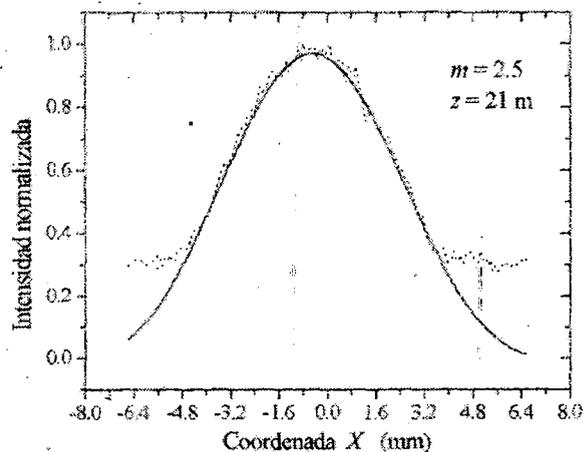


Figura 5. Línea punteada: corte del haz a 21 m del espejo de salida, línea llena: mejor ajuste al modo calculado.

- Correspondientemente, la energía de salida creció según una teoría simple.
- El autovalor medido de potencia se halla dentro del 5% del valor calculado.
- La divergencia del haz se encuentra próxima a la de un modo gaussiano del mismo diámetro.
- El perfil del modo es similar al determinado numéricamente.

### Referencias

- 1 - P.G. Gobbi y G.C. Reali, Optics Comm, **52** (1984), 195-8.
- 2 - P.G. Gobbi, S. Morosi, G.C. Reali y A.S. Zarkasi, Appl. Optics, **24** (1985), 26-33.
- 3 - P.G. Gobbi y G.C. Reali, Optics Comm, **57** (1986), 355-9.
- 4 - V. Nassisi y M. Primavera, Optics Comm, **102** (1993), 452-6.
- 5 - L. H. Min y K. Vogler, Optics Comm, **74** (1989), 79-83.
- 6 - R. Barbini, A. Ghigo, K.N. Iyer, A. Palucci y S. Ribezzo, Optics Comm, **60** (1986), 239-43.
- 7 - G.D. Santiago, C.A. Rosito y A.L. Peuriot, Anales AFA, **10** (1998), 82.
- 8 - A.E. Siegman, Optics Comm, **88** (1992), 295.
- 9 - G.D. Santiago, A.L. Peuriot, C.A. Rosito, G.J. Forchesatto y E.J. Quel, Proceedings Optilas **95** (1995), 316-9.
- 10 - A. L. Peuriot, G.D. Santiago, G.J. Forchesatto, C.A. Rosito y E.J. Quel, Anales AFA, **7** (1995), 257-60.