

# How to control the laser emission in single longitudinal mode Como controlar la emisión de un láser en un solo modo longitudinal

V. González-Fernández<sup>1\*</sup>, E. Vasallo<sup>1</sup>, G. Pérez<sup>1</sup>, K. Grützmacher<sup>1</sup>, L.M. Fuentes<sup>2</sup>,  
C. Pérez<sup>1</sup>, M.I. de la Rosa<sup>1,S</sup>

1. Dpto. de Física Teórica, Atómica y Óptica, Universidad de Valladolid, Paseo Belén 7, CP 47011, Valladolid

2. Dpto. de Física Aplicada, Universidad de Valladolid, Paseo Belén 7, CP 47011, Valladolid

\* E-mail: [veronica.gonzalez.fernandez@uva.es](mailto:veronica.gonzalez.fernandez@uva.es)

S: miembro de SEDOPTICA / SEDOPTICA member

Received / Recibido: 27/05/2015

Accepted / Aceptado: 22/06/2015

DOI: 10.7149/OPA.48.2.141

## ABSTRACT:

In the pictures we show the interference patterns obtained with a solid Fabry-Perot etalon with the 532 nm radiation emitted by a Nd:YAG laser. In Fig. A using a seed laser, this means, only one longitudinal mode. In Fig. B without the seed laser, this is multimode emission. In this work we show how to control the emission of a resonant optical cavity in a single longitudinal mode.

**Key words:** optical resonator, Fabry-Perot interferometer, seed laser, longitudinal modes, Optics education

## RESUMEN:

En las fotografías se muestran los patrones de interferencia obtenidos con un etalón (Fabry Perot sólido) de la radiación de 532 nm emitida por un láser de Nd:YAG. En la Fig. A utilizando un láser de semilla, es decir emisión en un solo modo longitudinal. En la Fig. B sin láser de semilla, es decir emisión multimodo. En este trabajo se muestra cómo controlar la emisión de una cavidad óptica resonante en un único modo longitudinal.

**Palabras clave:** resonador óptico, interferómetro Fabry-Perot, láser de semilla, modos longitudinales, enseñanza de la Óptica

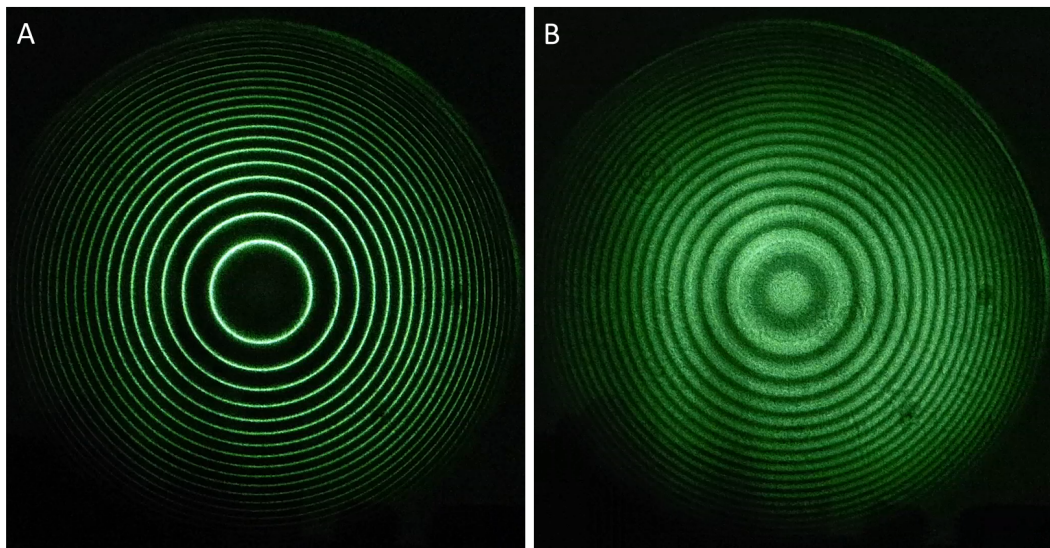


Fig 1: Patrón de interferencias generado mediante un etalón de la radiación del segundo armónico 532 nm de un láser Nd:YAG. En la imagen A, se ve un único modo longitudinal, en la imagen B, todos los modos resonantes en la cavidad

**REFERENCES AND LINKS / REFERENCIAS Y ENLACES**

- [1] W. T. Silfvast, *Laser fundamentals*. Cambridge University Press (1996).
- [2] F. L. Pedrotti, L. S. Pedrotti: *Introduction to Optics*. Prentice-Hall International Inc. (1996).
- [3] E. Hecht: *Óptica*. Addison Wesley Iberoamericana(2000).
- [4] W. Koechner: *Solid-State Laser Engineering*. Springer (2006)
- [5] *Operation and Maintenance Manual for the Powerlite 9000 Series Laser Continuum*(1993).

**1. Introducción**

Las fotografías y el [vídeo](#) se han realizado en el laboratorio de Espectroscopia Láser en Plasmas de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Valladolid, en él participan tres alumnos de Grado y Doctorado de Ciencias Físicas, junto a profesores de la Facultad. Se ha utilizado un láser Nd:YAG pulsado, 8 ns, y de alta potencia 50 MW/cm<sup>2</sup> (de la firma Continuum, Powerlite), con una tasa de repetición de 10 Hz, que emite en 1064 nm. Este láser bombea a otro, basado en cristales no lineales, para lo que es necesario que emita en un solo modo longitudinal (SLM). Lo que vamos a mostrar aquí es cómo se lleva a cabo el control de la emisión SLM en láseres de alta potencia.

Es bien conocido que un láser cuenta con tres elementos fundamentales: un medio activo, una fuente externa de energía o sistema de bombeo y una cavidad óptica resonante. En el medio activo es donde se producen los procesos de excitación que determinan la longitud de onda de la radiación láser. La cavidad resonante es habitualmente un interferómetro Fabry-Perot [1-3], consistente en dos espejos enfrentados en cuyo interior se encuentra el medio activo. Dentro de la cavidad sólo pueden existir ondas estacionarias, es decir, aquellas para las que la longitud de la cavidad es un múltiplo entero de su semilongitud de onda. Evidentemente puede haber dentro de la cavidad muchas ondas que cumplan esta condición, son los llamados modos longitudinales. La separación entre los distintos modos de una cavidad, viene dada por la siguiente relación:

$$\Delta\nu = \frac{c}{2nL} \tag{1}$$

Siendo *n* el índice de refracción, *L* la longitud de la cavidad y *c* la velocidad de la luz en el vacío.

En el láser Nd:YAG que utilizamos la cavidad tiene una longitud de 60 cm [4], por tanto, y aplicando (1), se obtiene una separación entre los modos longitudinales de 250 MHz. Sin embargo la curva de emisión del medio activo (curva de ganancia) es considerablemente más ancha, en este caso la anchura a altura mitad es aproximadamente 120 GHz, como se muestra en la Fig. 2.

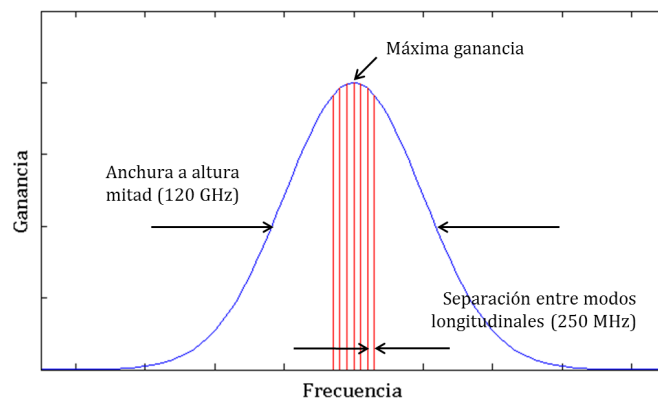


Fig. 2. Curva de ganancia del láser con los modos longitudinales

Debido a la competición entre modos, los modos longitudinales más próximos al centro de la curva de ganancia capturan más energía a expensas de los más alejados del centro, lo que se traduce en un

estrechamiento de la curva de ganancia. Aun así la emisión no es todavía SLM, para ello es necesario hacer “algo” más, que en este caso consiste en la utilización de un láser de semilla [4].

Se denomina así porque inyecta una radiación continua (la semilla), de muy pequeña anchura espectral, y con una longitud de onda muy cercana a la que se quiere obtener de la cavidad del láser original. Además, es una radiación mucho más potente que cualquier emisión espontánea que pueda provenir del medio activo. Al ser de una longitud de onda muy cercana a uno de los modos propios de la cavidad, sobrevive en la cavidad y al ser mucho más potente que cualquiera de las otras emisiones, se apodera de toda la energía existente en la cavidad, extinguiendo al resto de modos. El láser de semilla empleado aquí emite una radiación centrada en la curva de ganancia, con una anchura espectral muy pequeña, de unos 5 kHz, y una intensidad seis órdenes de magnitud superior a cualquier emisión espontánea [5].

## 2. Descripción del montaje experimental

El control habitual de la emisión SLM del láser se realiza en el laboratorio con un montaje simple, para la radiación (visible) de 532 nm, obtenida del fundamental 1064 nm mediante un cristal doblador de frecuencia. En la fotografía de la Fig. 3 se observa este montaje que consta de un etalón, es decir un interferómetro de Fabry-Perot sólido con la longitud de la cavidad fija que proporciona una separación de modos de 30 GHz, y una lente divergente, de focal  $f = -50$  mm, de manera que expanda el haz, y se asegure que se produzca el patrón de interferencia en una pantalla alejada. Éste consta de un conjunto de círculos concéntricos, alternando zonas de luz y oscuridad [2, 3], del tipo de los que aparecen en las fotografías de la Figs. 1 y 3.

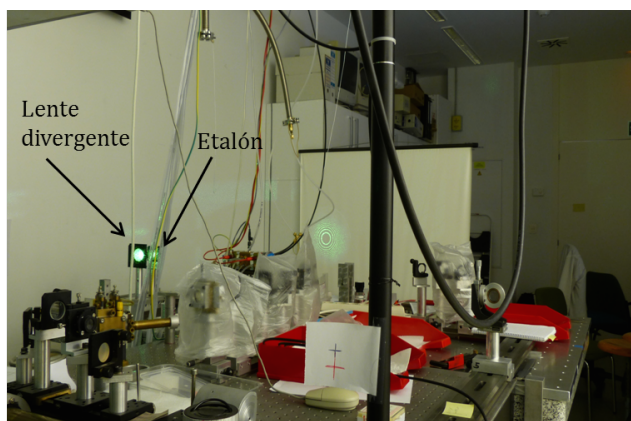


Fig. 3. Montaje del sistema de control de la emisión del láser Nd:YAG en un SML, el elemento de color verde es el etalón, precedido de la lente divergente.

## 3. Resultado: video y fotografías

El resultado puede verse en el [vídeo](#) adjunto, donde se puede apreciar claramente el cambio en el patrón de interferencias al activar y desactivar el láser de semilla. En dicho vídeo se ve cómo el láser mantiene perfectamente su único modo longitudinal mientras el láser de semilla se mantiene conectado, y cómo al desactivarlo, desconectando un interruptor, los anillos de interferencia se ensanchan y pierden nitidez, síntoma de que están sobreviviendo todos los modos posibles dentro de la cavidad. Al volver a activarlo, se observa cómo se recupera el único modo longitudinal después de un pequeño tiempo de estabilización.

Por otro lado se ha realizado un montaje en el cual se unen las dos fotografías de la Fig. 1 en la Fig. 4. Se aprecia claramente la diferencia entre ambas situaciones, con y sin semilla. Además se comprueba que el único modo longitudinal emergente se corresponde con el modo central de la cavidad, pues está situado justo en la mitad de los anillos más gruesos, lo cual indica que el láser de semilla está bien alineado dentro de la cavidad, pues se selecciona el modo central, es decir el de mayor ganancia.

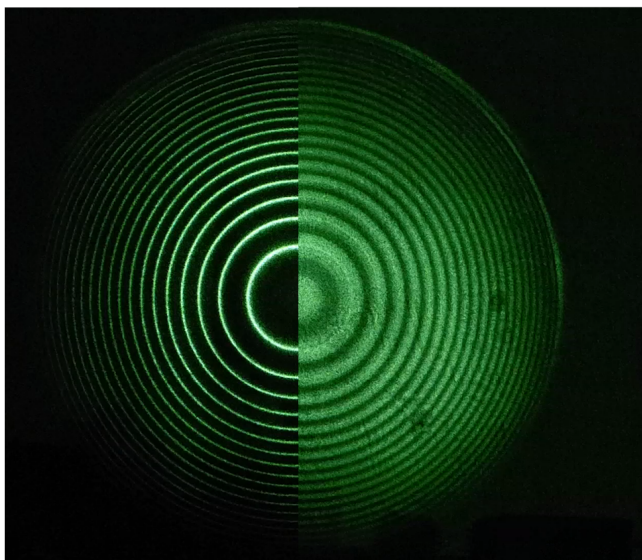


Fig. 4. Montaje conjunto de las dos fotografías de la Fig. 1. En la parte izquierda SLM, en la derecha emisión multimodo.

### **Agradecimientos**

Los autores agradecen a la DGICYT (Ministerio de Economía y Competitividad) por el proyecto ENE2012-35902 (Fondos FEDER), y la beca BES-2013-063248 concedida a V. González-Fernández, en el marco del proyecto.