

Construcción y análisis de un láser de Nd:YAG

ARIEL BERARDINO, LUCAS ESTERSON

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA. Grupo Tuki

ariberardino@hotmail.com, lucas.esterson@gmail.com
9 de Octubre 2015

Resumen

En este trabajo se estudió el funcionamiento básico de un láser de Nd:YAG. Además se caracterizó un diodo láser. Se levantó la curva de eficiencia y se comparó la corriente umbral, $(640 \pm 10) \text{mA}$, y la potencia máxima, $0,6 \text{W}$, con las reportadas. Se logró armar un láser de Nd:YAG con cavidad lineal y otro con cavidad en V. Se confeccionaron las curvas de eficiencia de ambos determinando las corrientes umbrales en $(1,43 \pm 0,08) \text{A}$ y $(0,78 \pm 0,04) \text{A}$ respectivamente. Además para el láser con cavidad en V se registraron distintos modos transversales variando los tornillos de ajuste de los grados de libertad vertical y horizontal del espejo curvo.

1. Introducción

En esta práctica se estudiaron las condiciones de estabilidad en cavidades resonantes y las características principales de un láser de Nd:YAG. Un láser está compuesto por tres componentes básicos: un mecanismo de bombeo, un medio amplificador y un medio de realimentación. El bombeo es la forma que tiene el sistema de recibir la energía necesaria para sostener la emisión láser. El segundo componente primordial de un láser es el medio activo o medio amplificador, en nuestro caso Nd:YAG. El amplificador o medio activo es el que recibe la energía del bombeo y la “transfiere” al haz láser que genera. El último elemento con que cuentan la mayoría de los láseres que existen es un mecanismo para realimentar la radiación (luz) emitida por el amplificador permitiendo de esta manera que el láser adquiera sus características distintivas, que son su gran colimación, alta coherencia y gran brillo. En el caso de luz, la realimentación se logra mediante espejos que re-inyectan una parte de la señal nuevamente en el amplificador de luz. Una cavidad resonante consiste en dos o más espejos alineados de manera tal que la luz emitida por el amplificador se refleja sobre sí misma recorriendo el mismo camino óptico muchas veces. Se coloca uno de los espejos de la cavidad resonante con una reflectividad menor que el 100%, de tal manera que parte de la luz que está oscilando salga de la cavidad produciendo un haz colimado que es lo que podemos medir como salida de nuestro láser.

Se pueden armar diferentes cavidades resonantes, cambiando la configuración de las mismas al variar la distancia entre espejos y los radios de curvatura de los mismos. En base a estas configuraciones, las cavidades resonantes se dividen en dos grandes grupos: cavidades estables y cavidades inestables. Las primeras tienen la particularidad de que la distribución de intensidades dentro de la cavidad no se modifica en los sucesivos pasajes de la luz a través de la cavidad. En las cavidades inestables el haz va divergiendo progresivamente y realiza pocos pasajes por el amplificador. Las cavidades estables son las más comunes y se usan en todos los

láseres que funcionan en forma continua. [1]

En particular, la cavidad en forma de V (que consiste en un espejo esférico entre un espejo de reflectividad no total y el medio activo), es estable en una amplia región del espacio. Para un espejo curvo de radio $R = 50 \text{cm}$, las zonas de estabilidad dependen de la distancia entre los brazos de éstas y su relación se puede ver en la figura 1.

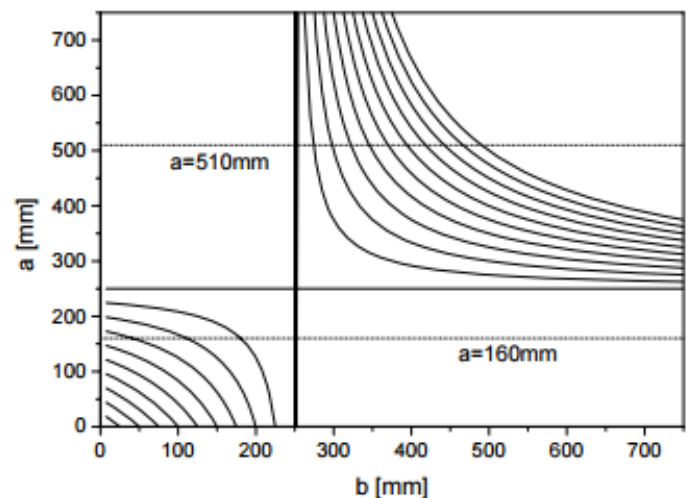


Figura 1: Zonas de estabilidad de una cavidad en V en función de los largos de los brazos a y b. Imagen tomada de [3].

Este dispositivo oscila en los llamados modos transversales. Se puede demostrar que las posibles soluciones estacionarias para la distribución de intensidades dentro de la cavidad resonante sin paredes (abierta, como la de un láser), en función de la distancia al eje r (la coordenada usual en un sistema de referencia con simetría cilíndrica), son en este caso, teniendo en cuenta que tanto los espejos como el medio activo son finitos, una familia de funciones que llamamos $\text{TE}M_{pq}$ o “modo transversal electro magnético de

orden pq ". Los índices pq son números enteros que indican el orden de los polinomios de Hermite que forman parte de la expresión analítica de la solución. Una expresión general con la deducción detallada de estas funciones puede encontrarse en las referencias [4] y [5]. Estas soluciones se numeran con los subíndices pq que indican cuántos ceros tiene la intensidad en una dada dirección. [1] En la figura 2 se pueden ver los primeros modos.

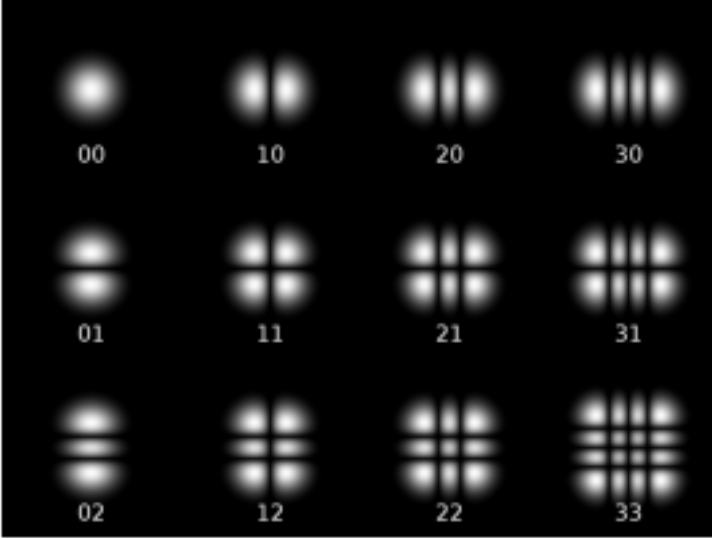


Figura 2: Primeros modos de las soluciones TEM_{pq} . Imagen tomada de [1].

2. Dispositivo Experimental

Se colocó un cristal de Nd:YAG, de emisión a $1064nm$, a la salida del sistema de enfoque del diodo láser, SDL 2371-P1 de 2W de potencia máxima a 2,4A, de manera que esté sobre el foco del mismo. Para enfocar el cristal se tuvo que ver "a ojo" un destello brillante en el mismo y buscar "a mano" el lugar donde el destello fuese lo más brillante y puntual posible. Una vez puesto en foco se utilizó un medidor de potencia, marca MELLES GRIOT y modelo 13PEM001, para medir la potencia del diodo láser en función de la corriente y así caracterizar la curva de eficiencia del diodo láser y corroborar que este estuviese funcionando en los valores tabulados [2]. Se realizaron dos configuraciones, una con cavidad lineal y otra en forma de V, se discutirá su armado por separado.

2.1. Cavidad Lineal

Para la realización del láser con cavidad lineal, se utilizó como medio activo el cristal de Nd:YAG, bombeado por el diodo láser. Se emplearon dos fuentes auxiliares para limitar la corriente del diodo y mantener la temperatura controlada alrededor de los $25^{\circ}C$, con el fin de evitar fluctuaciones en la longitud de onda del diodo [2].

Para la cavidad lineal se dispuso al medio activo de forma paralela a un espejo plano de reflectividad 98% ambas perpendi-

culares al eje óptico de modo que el haz del láser estuviese a la misma altura en todo su recorrido. Estos dos elementos distaban $d = (37,0 \pm 0,5)cm$ uno del otro. Se alineó de tal manera que el haz recorra el mismo camino óptico en sus sucesivos rebotes con los espejos. Para lograr esta alineación se utilizó como ayuda un láser de He-Ne. En la figura 3 se puede apreciar el dispositivo experimental.

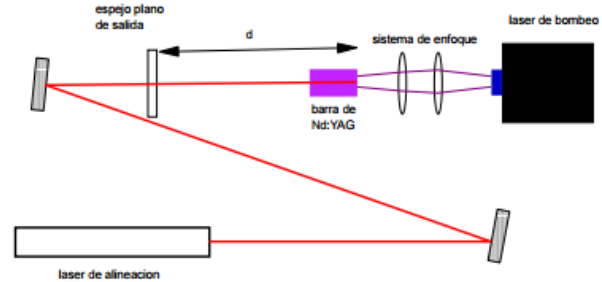


Figura 3: Dispositivo experimental para la cavidad lineal. Imagen tomada de [1].

Una vez logrado esto se midió la potencia del láser en función de la corriente de bombeo utilizando el medidor de potencia y así caracterizar la curva de eficiencia del láser con cavidad lineal.

2.2. Cavidad en V

Para este dispositivo se colocó al medio activo en uno de los extremos, a un espejo plano de reflectividad 95% en otro, y a un espejo curvo de $50cm$ de radio en la "esquina" de la V. Ver figura 4. Se usó el láser con cavidad lineal para alinear esta cavidad de tal manera que el haz recorra el mismo camino óptico a medida que rebotaba en los espejos. Como la longitud de onda, $\lambda = 1064nm$, del láser con cavidad lineal no es visible a los ojos se utilizó una tarjeta infrarroja para saber dónde estaba el haz de luz. Se usó la cámara de un celular Nokia Lumia 635 para terminar de ajustar los espejos para que converjan las múltiples reflexiones en el mismo punto del espejo curvo. El primer brazo de la V estaba a una distancia $a = (37,0 \pm 0,5)cm$, el segundo brazo a una distancia $b = (45,0 \pm 0,5)cm$. Y la V formaba un ángulo de 12° aproximadamente.

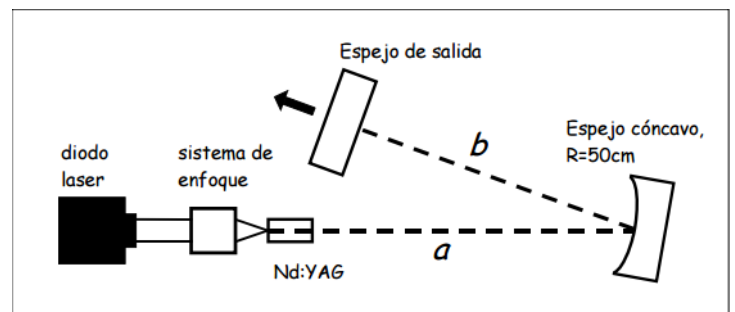


Figura 4: Dispositivo experimental para la cavidad en V. Imagen tomada de [3].

Para esta cavidad también se midió la potencia del láser en función de la corriente de bombeo poniendo el medidor de potencia a 22cm, aproximadamente, del espejo de salida. Y al ser más estable que la lineal, permitió, al variar levemente la alineación del espejo curvo, observar los primeros modos transversales y se registraron las funciones TEM_{0q}.

3. Análisis y Discusión

3.1. Caracterización diodo láser

Se levantó la curva de eficiencia, es decir la potencia de láser en función de la corriente de bombeo para el diodo láser, como se puede ver en la figura 5.

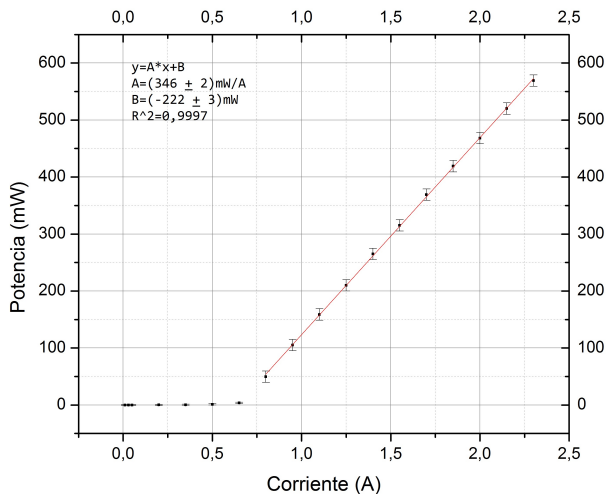


Figura 5: Curva de eficiencia para el diodo láser

Como se observa en el gráfico, la potencia de láser es prácticamente nula hasta la corriente umbral donde deja de ser cero y pasa a tener un comportamiento lineal con la corriente de bombeo. De los parámetros proporcionados por el ajuste lineal se calculó esta corriente umbral en $(640 \pm 10) \text{ mA}$. Este valor de corriente umbral no coincide con el tabulado en la guía de la página de la materia por un 10 %, sin embargo sí lo hace con valores obtenidos por otros grupos en el cuaderno de la práctica de láser. También se puede observar en el gráfico que la potencia máxima alcanzada por el diodo láser fue de 0,6W cuando en la guía dice que la máxima potencia es 2W.

3.2. Cavidad lineal

En la figura 6 se puede observar la curva de eficiencia del láser con cavidad lineal.

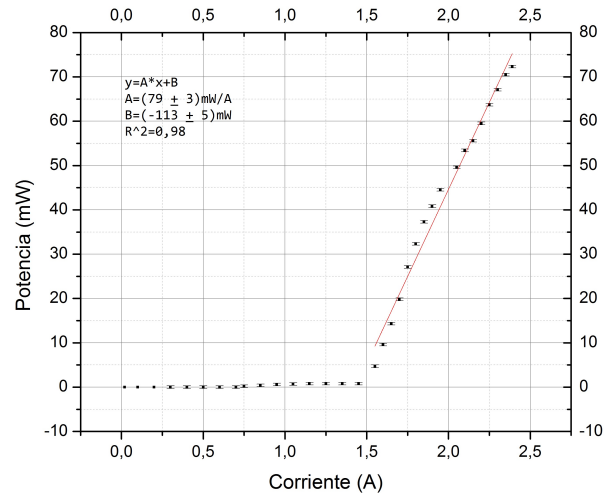


Figura 6: Curva de eficiencia para la cavidad lineal

La corriente umbral, calculada con los parámetros del ajuste lineal dio $(1,43 \pm 0,08) \text{ A}$. Se ve montado sobre la recta un comportamiento sinusoidal de la potencia en función de la corriente. Creemos que este efecto se debe a algún fenómeno físico que no estamos teniendo en cuenta y no a un mero error estadístico. Este pensamiento fue basado a que también se dio este fenómeno en otras curvas de potencia de trabajos anteriores realizados por otros grupos de estudio. De todas maneras no se analizará en este trabajo.

3.3. Cavidad en V y modos transversales

Como se puede ver en la figura 7 también se levantó la curva de eficiencia para el láser con cavidad en V.

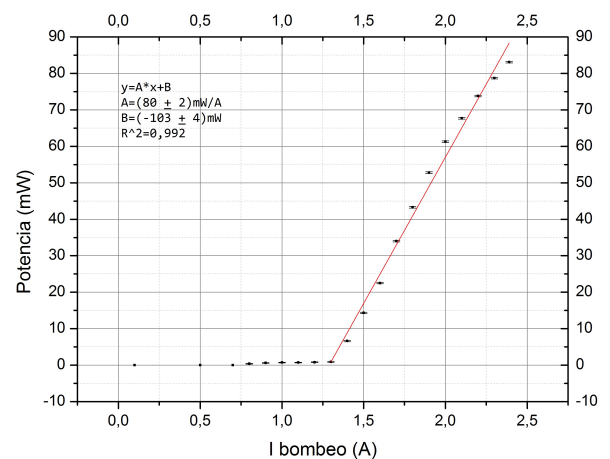


Figura 7: Curva de eficiencia para la cavidad en V

La corriente umbral, calculada con los parámetros del ajuste

lineal, en este caso dio $(1,29 \pm 0,06)A$. Esta corriente umbral es menor a la calculada para el láser de cavidad lineal, aun cuando el espejo utilizado era de reflectividad 95 % (menor al de la cavidad lineal). Esto puede deberse a que este tipo de cavidad es más estable y por ende necesita menos corriente para empezar a lasear. Por último, variando los grados de libertad del espejo curvo se hallaron los modos transversales. Se pueden ver en la figura 8 algunas de las primeras funciones TEM_{pq}.

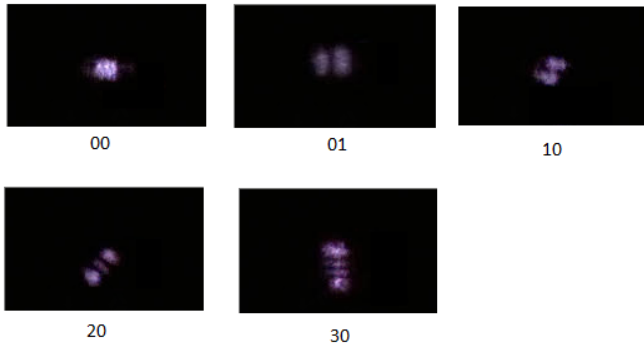


Figura 8: Distintos modos encontrados donde los números de las imágenes indican los modos pq respectivamente

No se encontraron más modos porque movimos de más uno de los tornillos del espejo curvo y dejó de lasear por lo que se tenía que volver armar el láser con cavidad lineal para alinearlo y nos quedamos sin tiempo. Una sugerencia importante es utilizar una cámara web infrarroja al momento de alinear la cavidad en V ya que hacerlo mediante la tarjeta infrarroja nos llevó mucho tiempo y no estábamos seguros que lo estuviesemos alineando bien. Tuvimos “suerte” que al sacar el espejo dieléctrico el láser con cavidad en V estuviese laseando.

4. Conclusiones

Se caracterizó un diodo láser, SDL 2371-P1 de 2W de potencia máxima a 2,4A, levantando la curva de eficiencia y calculando la

corriente umbral, $(640 \pm 10)mA$, y la potencia máxima, 0,6W. Si bien la corriente umbral difiere en un 10 % con la tabulada [2] se notó que coincidía con la calculada por otros grupos en el cuaderno de esta práctica. La potencia máxima es aproximadamente tres veces menor a la tabulada [2]. Se logró armar un láser con cavidad lineal y se analizó su curva de eficiencia, calculando la corriente umbral en $(1,43 \pm 0,08)A$. En la curva se vio un comportamiento sinusoidal montado sobre la recta de la potencia en función de la corriente. Creemos que este comportamiento es producto de algún fenómeno físico que no se llegó a estudiar pero que se dio en muchos gráficos de eficiencia de distintos grupos que realizaron esta práctica. Se logró armar también un láser con cavidad en V y se analizó su curva de eficiencia, calculando la corriente umbral en $(1,29 \pm 0,06)A$. Esto puede deberse a que este tipo de cavidad es más estable y por ende necesita menos corriente para empezar a lasear. Se registraron distintos modos transversales para el láser con cavidad en V. Es importante mencionar que para la alineación del láser con cavidad en V resultaría mucho más eficiente utilizar una cámara web infrarroja en vez de la tarjeta infrarroja.

Referencias

- [1] http://users.df.uba.ar/bragas/Labo5_1er2011/laser2k.pdf
- [2] http://users.df.uba.ar/bragas/Labo5_1er2011/Notas%20sobre%20diodos%20de%20bombeo.pdf
- [3] http://users.df.uba.ar/bragas/Labo5_1er2011/LaserotrasCavidades.pdf
- [4] Láser Fundamentals, W. Silfvast, Cambridge University Press, 1996.
- [5] Láser electronics, J. Verdeyen, Prentice Hall, 1995.