

PROGRAMA DE COMPUTO PARA ESTIMAR LA POTENCIA DE SALIDA DE UN LASER INFRARROJO.

Rodrigo Acevedo^{*}, Jose E. Alfonso^{**}, Paulo Orozco^{***}

Departamento de Física
Universidad Nacional, Santafé de Bogotá.

*Físico U.N. ** Estudiante posgrado U.N.

*** PhD. Profesor asociado U.N.

RESUMEN.

Se presentan los elementos conceptuales que condujeron a la elaboración de un programa de cómputo en Fortran para calcular la potencia de un laser de CO_2 que se desee construir. En el cálculo se toman en cuenta variables geométricas y ópticas. Debido a que se hacen aproximaciones en las condiciones físicas referentes al funcionamiento de un oscilador laser y para simplificar los cálculos, la aplicación del programa se restringe a potencias en el intervalo de cinco a doscientos cincuenta vatios, operando en onda continua. El cálculo proporciona valores de la potencia que difieren ciertamente de los resultados experimentales, pero dan al usuario una información gruesa sobre el funcionamiento de un equipo laser que se pone en marcha. Tal es el caso al aplicar el programa a un equipo construido en del Departamento de Física de la Universidad Nacional.

ABSTRACT.

The concepts leading to the production of a FORTRAN computer program to predict the output power of a CO_2 laser to be constructed are presented. In our calculation optical and geometrical parameters are taken into account. The physical assumptions and approximations made the program restricted for applications to lasers producing from 5 to 250 watts working in continuous wave mode. The computer prediction and the experimental results certainly differ, but they are a rough guide to the proper functioning of a new design, such is the case when the construction conditions of a laser developed at the Physics Department were entered in the program.

1. INTRODUCCION.

En términos generales, se puede decir que las variables asociadas a la potencia suministrada por un laser son de tipo macroscópico y microscópico. Entre las primeras está la geometría de la cavidad (longitud, radios de curvatura de los espejos que la forman y la distancia entre ellos) y las propiedades ópticas de los espejos: reflectividad de los espejos posterior y delantero que forman la cavidad, pérdidas por absorción en ellos y dispersión debida a la superficie del espejo de salida.

En cuanto a las variables microscópicas, una de las más importantes es la ganancia de pequeña señal (α_0), la que tiene que ver con la absorción de la radiación de la onda electromagnética por parte del medio activo (mezcla de gases), una vez se ha suministrado la energía para producir la inversión de población entre los niveles laser. Otra variable microscópica involucrada en el cálculo de la potencia que entrega un laser, es el llamado parámetro de saturación de la ganancia (I_s), que suministra información sobre el máximo valor de amplificación que puede alcanzar la intensidad de la onda electromagnética incidente por efecto de los procesos de emisión estimulada.

Lo expuesto anteriormente centra la atención sobre las cantidades que deben manejarse para poder realizar cálculos de la potencia generada por un laser de CO_2 . Se requerirá cuantificar las variables microscópicas a través de parámetros macroscópicos que determinen su comportamiento. Con esto en mente, se desarrolló un programa de cálculo que toma resultados experimentales reportados en la literatura especializada [1,2,3,4], de la dependencia de α_0 como función de parámetros macroscópicos tales como la corriente de descarga del laser en funcionamiento, diámetro de la cavidad y flujo de evacuación de la mezcla de gases. La variable I_s se evaluó en función del diámetro del haz en el espejo de salida y la corriente de descarga del laser.

2. PRESENTACION DEL METODO DE CALCULO.

El programa de cómputo consta de dos partes esenciales:

- i. Determinación de los valores de α_0 e I_s para las condiciones de trabajo en las que va a operar el laser.
- ii. Determinación de las características ópticas óptimas de los

espejos que se van a utilizar en la construcción del laser.

El primer punto se resuelve utilizando los resultados experimentales, reportados en la literatura [1,2,3,4]. Se organizaron tablas de estas variables en función de parámetros macroscópicos como son la corriente de descarga, el diámetro de la cavidad y el flujo de la mezcla, en el caso de α_0 . Adicionalmente se recolectaron datos para I_s en función del diámetro del haz laser en la ventana de salida y la corriente de descarga. Estas informaciones se consignaron en arreglos matriciales dentro del programa de cómputo.

Para hallar α_0 el programa realiza un promedio de los diferentes valores que se ajustan a la solicitud del usuario del programa (ver tabla de datos). I_s se determina mediante el valor de la corriente de descarga y el diámetro del haz laser en el espejo de salida, ecuación (4), con estos dos valores se determina un valor medio.

Una vez establecidos los valores de α_0 e I_s , se incluyen las propiedades ópticas utilizando el método propuesto por C. Rosito y B. Echeverri [5]. En esencia se trata de encontrar el valor de reflectancia óptima del espejo de salida; hallado éste, se calcula el valor de la eficiencia óptica óptima de la cavidad, es decir, el porcentaje máximo de intensidad por unidad de longitud que se puede extraer de ella. Los valores de reflectancia óptima (R_{opt}) y eficiencia óptica óptima (μ_{opt}) se pueden calcular mediante [5].

$$2\alpha_0 = \frac{(1-R_{opt})(1-R_{opt}-A)}{AR_{opt}} - LN R_{opt} \quad (1)$$

$$\mu_{opt} = \frac{(1-R_{opt}-A)(2\alpha_0 L + LN R_{opt})}{2(1-R_{opt})\alpha_0} \quad (2)$$

Donde A son las pérdidas debidas a la absorción y dispersión en el espejo de salida.

Finalmente, el programa utiliza los valores establecidos anteriormente para calcular la potencia mediante la expresión de la ecuación (3):

$$P = \frac{\mu_{opt} \alpha_0 L I_s \pi D^2}{4} \quad (3)$$

Aquí D es el diámetro del haz a la salida del espejo que se calcula mediante la relación $2W_2 = D$ y la ecuación (4).

$$W_2^4 = \left(\frac{\lambda R_2}{\pi} \right)^2 \frac{R_1 - L}{R_2 - L} \frac{L}{R_1 + R_2 - L} \quad (4)$$

Donde R_1 y R_2 son los radios de curvatura de los espejos de la cavidad.

Cuando el radio del espejo de salida se toma como infinito, la ecuación (4) queda de la forma:

$$W_2^4 = \left(\frac{\lambda R_2}{\pi} \right)^2 (R_1 - L) L \quad (5)$$

3. DESCRIPCION DEL PROGRAMA.

El programa de cómputo inicia presentando dos opciones al usuario para realizar el cálculo de la potencia: a- Entrando valores exactos de radios de curvatura y longitud de la cavidad.

b- suministrando intervalos de radios de curvatura y longitud de cavidad. La selección dependerá de si se quiere hacer un estimativo de la potencia sin tener en cuenta los rangos de incertidumbre en los radios de curvatura, que se dan generalmente en la construcción de los espejos, caso a, o si se quiere tener un valor de potencia donde se involucren todos los efectos de imprecisión debidos a la geometría del resonador laser (cavidad más espejos), en cuyo caso se optará por b.

A continuación, el programa pide los siguientes datos de entrada: caso a- Radios de curvatura de los espejos (R_1, R_2) y longitud de la cavidad (L).

Caso b- Solicita la entrada de los valores mínimos y máximos de R_1 , R_2 y L. Suministrados estos datos el programa mantiene

constantes a R_1 y R_2 e itera L desde su mínimo valor hasta su máximo valor en pasos de unidad, luego deja fijo R_1 itera R_2 en dos unidades e itera L, por último itera R_1 en dos unidades, repitiéndose el proceso hasta alcanzar los valores extremos de los radios.

Los valores de entrada de radios de curvatura al programa tienen como límites inferior y superior dos y cien metros respectivamente. El límite inferior se toma debido a que radios de menor curvatura son difíciles de fabricar y prácticamente no se usan experimentalmente, el límite superior hace que el programa trabaje como si se tratara de un espejo plano.

Para la longitud se estableció como límite inferior medio metro y límite superior tres metros.

El cálculo continúa con los valores experimentales con los que trabajará el laser, estos son:

a) Porcentaje de pérdidas (A), que se define como el porcentaje de intensidad de la radiación laser absorbida por el espejo de salida y se le debe asignar un valor mayor a cero pero inferior a cuarenta, este valor es porcentual.

b) Corriente de descarga (I_D), que se determina a partir de la tabla T1 en donde se hallan consignados los valores de α_0 para diferentes corrientes de descarga; el usuario escogerá el valor de corriente de acuerdo a las fuentes de potencia disponibles en el laboratorio. El valor máximo que acepta el programa es de 60 miliamperios, este es un límite realista para lasers que han sido construidos en diversos sitios.

La corriente de la descarga también sirve para conocer el valor de I_g . Estos valores están consignados en la tabla T5.

c) Diámetro de la cavidad (D), dentro del intervalo entre 12 y 35 mm, son los datos de la cavidad para los cuales se conocen valores experimentales de la señal de pequeña ganancia. Tales datos se resumen en la tabla T2.

d) Flujo de la mezcla de gas (FL), en este caso utilizan los valores α_0 en función del flujo de la mezcla de gases. El programa permite al usuario disponer de dos arreglos de ganancia en función del flujo teniendo como parámetro el diámetro de la cavidad, si éste es menor o igual a 20 mm los datos corresponden a la tabla T3, de lo contrario se toman los

datos de la tabla T4.

Con los valores de α_0 hallados en los pasos anteriores el programa calcula un valor promedio y lo almacena para ser utilizado posteriormente. I_s quedará establecido una vez se halle el diámetro del haz mediante (4) o (5). Con este valor el programa va a las tablas T6 y T7 y comparará con el valor de la tabla T5, si los valores son razonablemente próximos se hace la media entre los valores obtenidos.

3.1. Criterio de selección de los elementos de las matrices de cálculo.

En la literatura encontramos una gran variedad de condiciones físicas con las que se ha hecho funcionar lasers de CO_2 [1,2,3,4,5,6,7]. Como el objetivo de este programa es obtener indicativos de la potencia de salida de lasers típicos de longitudes de cavidad entre 0.5 y 3 metros, se desecharon datos fuera de este rango, además existe un conjunto de parámetros que han sido optimizados empíricamente como es el caso de la mezcla de gases. De la revisión de la literatura [1,3,4,5] se conoce que la máxima eficiencia de este tipo de lasers se obtiene con mezclas de por lo menos tres gases, He, N_2 , y CO_2 , siendo superior el rendimiento cuando la abundancia de He esta entre 5 y 10 veces la de los otros gases.

Este criterio también se utiliza para seleccionar los datos mas aconsejables para ocupar sitio en la utilización en el diseño.

3.2. Datos Experimentales.

Los datos recolectados de la literatura se dispusieron en siete arreglos matriciales. La mayor parte de la información es extractada de revisiones hechas por P.K. Cheo [1].

A continuación se consignan los datos que estan contenidos en el programa de cómputo y que sirven de base para los cálculos. Después de cada tabla se describe el tipo de laser utilizado y las condiciones experimentales relevantes para obtener los datos que allí aparecen.

Tabla T1. Arreglo matricial para una cavidad laser con un diámetro de 12 mm y mezcla de gases en proporciones 2:1.6:4.5 de $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}$.

Corriente de descarga I_D (mA).	15	20	30	40
Ganancia (%/metro)	400	360	300	250

Tabla T2. Arreglo matricial para una cavidad laser con un flujo de $160 \text{ cm}^3/\text{min}$ y mezcla de $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}$ optimizada.

Diámetro (mm)	12	15	20	25	30	35
Ganancia (%/metro)	400	320	220	180	150	110

Tabla T3. Arreglo matricial para una cavidad laser con mezcla $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}$ en proporciones de 2:1.5:4 y un diámetro de 12 mm.

Rata de flujo de CO_2 (cm^3/metro)	100	200	300	400
Ganancia (%/metro)	300	420	490	500

Tabla T4. Arreglo matricial para una cavidad laser con mezcla $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}$ en proporciones de 1.3:1.5:4 y un diámetro de 22 mm.

Rata de flujo de CO_2 (cm^3/metro)	100	200	300	390
Ganancia (%/metro)	180	200	210	220

Tabla T5. Arreglo matricial para una cavidad laser con mezcla $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}$ en proporciones de 1.0:2.0:3.0 $D=50 \text{ mm}$.

Corriente de descarga I_D (mA)	15	20	30	40
I_s (watt/ cm^2)	25	35	58	64

Tabla T6. Arreglo matricial para una cavidad laser con mezcla $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}$ en proporciones de 1.4:1.7:7.0. $D=18 \text{ mm}$ $L=70 \text{ cm}$, con una corriente de descarga de 26 mA.

r_0 (mm) a $1/e$ de $I_{\max}$	1.0	1.5	2.0	2.5
I_s (watt/ cm^2)	97	58	38	27

Tabla T7. Arreglo matricial para una cavidad laser. $L = 2$ m, $D = 40$ mm y mezcla optimizada.

r_0 (mm) a $1/e$ de $I_{\max}$	2.0	3.5	4.9
I_s (watt/ cm^2)	45	17	14

3.3. Diagrama de Bloques.

El diagrama de bloques de la figura 1 presenta la secuencia en que se desarrolla el programa de cómputo y las variables microscópicas y macroscópicas involucradas en el proceso de evaluación de la potencia suministrada por el laser a construir.

4. Ejemplo de la utilización del programa.

A manera de ejemplo se aplicó el programa al montaje experimental desarrollado en el Departamento de Física de la Universidad Nacional. Allí se tienen dos tubos de 20 mm de diámetro interno con camisa de refrigeración, que se pueden ensamblar en serie. Los tubos miden 1.25 y 1.30 m. El espejo posterior de que se dispone tiene 7 m de radio de curvatura, la ventana de salida es un espejo plano de ZnS que tiene una reflectividad del 85%.

Con los datos anteriores y parámetros de funcionamiento así: corriente de descarga 30 ma, flujo del gas $400 \text{ cm}^3/\text{minuto}$, el programa de computador predice una potencia de emisión de 64 Wattios para el tubo 1.25 m.

Con el tubo de 1.30 m de longitud, corriente de descarga de 40 mA y las otras condiciones experimentales iguales a la anterior cavidad, la potencia de salida calculada es de 70 Wattios.

Además, debido a que las condiciones de cálculo son para determinar potencia óptima emitida por el laser, se predice que debe usarse un espejo de salida con reflectividad del 75%. El diámetro del haz en la ventana de salida tiene un valor calculado de 7mm.

Los valores experimentales fueron de 40 y 45 Wattios, que difieren en cerca del 30% del esperado por el modelo. El diametro experimental del haz es de 10 mm.

Respecto a estos resultados debe anotarse que la predicción se basa en tener un espejo con reflectividad del 75% mientras que

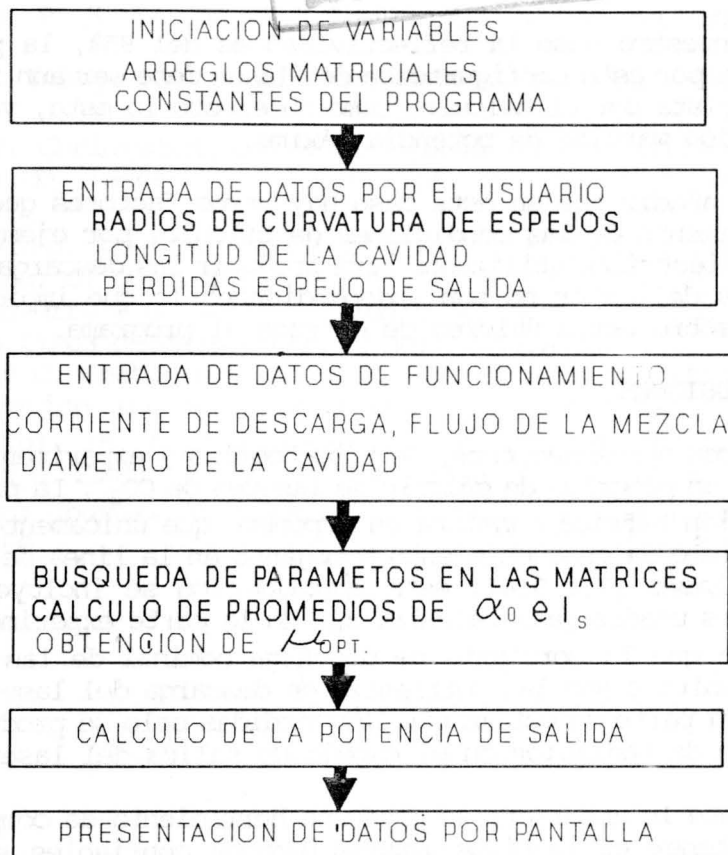


Figura 1: Diagrama de bloques del programa de calculo de la potencia de laseres de CO_2 .

el usado en el laboratorio es del 85%. (No es posible cambiar este espejo por los altos costos que implica).

Un experimento adicional se realizó con los tubos conectados en serie, esperando verificar que al unir los dos módulos del laser se obtiene una potencia similar a la suma de las individuales.

El cálculo para esta configuración da potencia de salida de 166 wat, con reflectividad optimizada del espejo de salida en 66%.

Como en nuestro caso la reflectividad es del 85%, la potencia entregada por esta configuración del laser debe ser aún inferior a la prevista por el cálculo, como en efecto lo esta, ya que se obtienen 100 wattios de potencia máxima.

No sobra añadir que en este caso hay otros factores que alejan el experimento de las condiciones de cálculo, por ejemplo, las fuentes eléctricas utilizadas para producir las descargas en las secciones del laser no son independientes lo que impide tener control sobre estos valores de entrada al programa.

5. CONCLUSIONES.

Se hicieron aproximaciones, de tipo teórico y experimental para elaborar un programa de cálculo de laseres de CO_2 . La principal restricción teórica consiste en suponer que únicamente existe el mecanismo de ensanchamiento homogéneo en la línea de emisión del haz laser [1,2,3,4], esta aproximación se incluye en las ecuaciones usadas para calcular α_0 . En la parte experimental se considera que la corriente de descarga nominal de las fuentes de alto voltaje son las corrientes de descarga del laser activo y por otra parte se estima que las pérdidas solo se producen por absorción de radiación en el espejo de salida del laser.

No obstante lo anterior, se creó una herramienta de cómputo que permite tener estimativos razonablemente confiables sobre la potencia esperada de un laser de CO_2 que se desee evaluar.

6. AGRADECIMIENTOS.

Los autores agradecen a la Fundación para la Promoción de la Investigación y la Tecnología la asignación de recursos económicos para el proyecto que dió origen a este artículo y al Departamento de Física de la Universidad Nacional, de cuyos recursos humanos e infraestructura nos hemos valido sin ninguna restricción.

BIBLIOGRAFIA.

- [1] Cheo. P. K. LASERS, A.K Levine and J. Demaria, Editores. 1971.
- [2] W. W. Duley. CO₂ Lasers and Applications, Academic Press, 1976.
- [3] E. P. Christensen and Hermann Hauss. Gain Saturation and Diffusion CO₂ Lasers. En: J.Q.E, Vol. QE, #6, Junio de 1969. PP276-283
- [4] J. Tulip. Gain Saturation of the Carbon Dioxide Laser. En: IEEE Journal of Quantum Electronic, Abril de 1971. PP. 206-211
- [5] Etcheverry y C. Rosito. Estudio del Acople Optimo para un Laser con Línea de Emisión Homogénea. CITEFA 1979.
- [6] David C. Smith and Jhon H. McCoy. Effects of Diffusion on the Saturation Intensity of a CO₂ Laser. En: Appl. Physics Letters, Vol. 15, #9, Noviembre de 1991. PP. 282-284
- [7] David c. Smith. Velocity Dependence of the Gain of the CO₂ Lasers. En: Journal Of Quantum Electronic, Septiembre de 1971. PP. 459-460

ABSTRACT

In the search of possible applications of infrared laser radiation, a CO₂ laser was developed from 20 to 100 Watts and used in different operating operations: diathermy, laser surgery, laser precision welding, etc. In order to introduce this laser into different applications, we include a table of characteristics and possible applications.

1. EVAPORACIÓN DE MATERIALES POR LASER

Las características electrónicas, físicas, químicas, etc., de los materiales determinan sus propiedades para ser aplicados en diferentes tecnologías específicas.