

# MEDICION DE DENSIDADES DE CADMIO ATOMICO E IONICO Y TEMPERATURA ELECTRONICA EN UN LASER DE RECOMBINACION DE HE-VAPOR DE CADMIO

D. Schinca, J. Tocho

Centro Investigaciones Opticas (CIOp), Comisión de Investigaciones Científicas, Provincia de Buenos Aires, CC 124, 1900 La Plata

H. Mancini

Centro Investigaciones Láseres y Aplicaciones (CEILAP), Centro Investigaciones Técnicas de las Fuerzas Armadas, Zufriategui 4380, 1603 Villa Martelli, Buenos Aires

Un plasma dominado por recombinación electrón - ión es un medio apto para la amplificación y la oscilación de radiación láser en gases nobles y vapores metálicos. Diversos dispositivos han sido probados con tal propósito, desde descargas en arcos a plasmas producidos ópticamente. Nosotros utilizamos una descarga de cátodo hueco en un chorro de He para producir las condiciones necesarias de temperatura y densidad electrónicas a diversas distancias del cátodo hueco y la densidad de átomos e iones de Cadmio por métodos espectroscópicos. Con estos valores se está realizando un modelo que permitirá calcular la ganancia, y compararla con los valores obtenidos experimentalmente.

## INTRODUCCION

El presente trabajo continúa una línea de desarrollo de láseres gaseosos del tipo de recombinación electrón - ión excitados por haces electrónicos. En el dispositivo experimental utilizado, la recombinación de tres cuerpos se lleva a cabo en una descarga luminosa negativa con flujo de Helio<sup>1</sup>, cuya descripción ha sido dada en trabajos anteriores. En síntesis, este dispositivo consiste en una descarga de cátodo hueco en He - vapor de Cd con flujo importante de gas, de manera de producir una expansión adiabática hasta lograr las condiciones necesarias para la recombinación de tres cuerpos. La restricción que implica tener gran cantidad de electrones fríos aptos para la recombinación, es un impedimento serio para la utilización de columnas positivas en láseres con vapores metálicos, por la necesidad de tener simultáneamente electrones energéticos para una ionización eficiente. La circulación de helio a gran velocidad en una descarga de cátodo hueco<sup>2</sup> permite superar esta dicotomía.

La circulación forzada de He a gran velocidad hace que los parámetros de la descarga como la temperatura electrónica sean función de la distancia al cátodo. El conocimiento tanto de la temperatura electrónica cuanto de la densidad de especies excitadas permite calcular la ganancia, que también será función de esa distancia<sup>1</sup>

En el presente trabajo hemos medido la temperatura electrónica para diversas distancias al cátodo, así como las densidades de Cadmio atómi-

co e iónico, utilizando métodos espectroscópicos de emisión y absorción. En la figura 1, puede verse un esquema del dispositivo experimental utilizado.

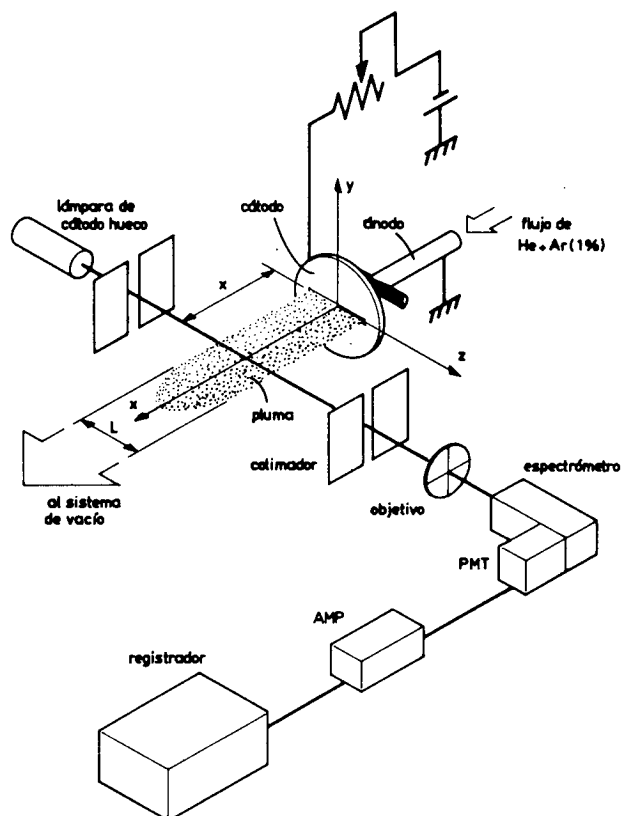


Figura 1: Esquema del montaje experimental utilizado.

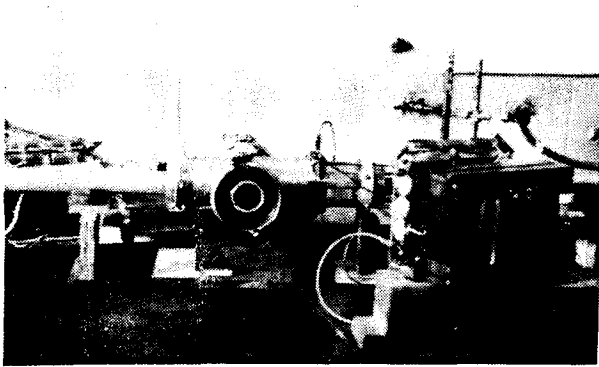


Foto 1: Vista lateral del dispositivo experimental.

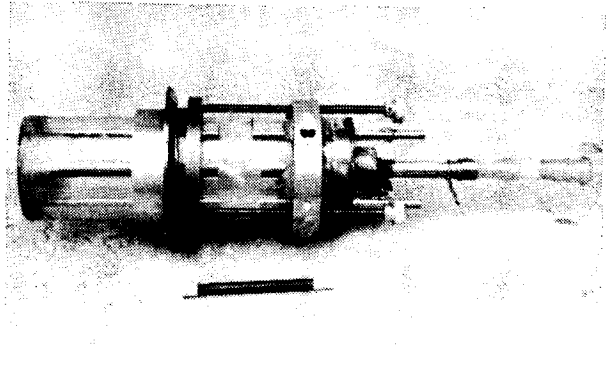


Foto 2: Vista lateral del electrón-beam desmontado.

## METODOLOGIA UTILIZADA

Para el cálculo de la temperatura electrónica de plasmas en equilibrio termodinámico local hemos utilizado un método basado en el hecho que las densidades de varios estados excitados pertenecientes a la misma serie espectral, son proporcionales al producto de sus pesos estadísticos por las exponenciales negativas de los cocientes de la energía de excitación y la energía térmica  $kT$ . De acuerdo a lo dicho, la temperatura puede ser escrita como:

$$kT = -\Delta E(n', n) \cdot \left( \ln \frac{\lambda^3 n'^3 I_{n'}}{\lambda^3 n^3 I_n} \right) \quad (1)$$

donde  $\Delta E(n', n)$  es la diferencia de energías entre los niveles  $n$  y  $n'$ ;  $l$  y  $l'$  son las longitudes de onda de la radiación originada en dichos niveles.  $I_n$  e  $I_{n'}$  son las correspondientes intensidades de radiación<sup>3</sup>. Nosotros hemos utilizado la radiación correspondiente a las líneas pertenecientes a la serie  $2s S \rightarrow np P$  del He I.

Para el cálculo de las densidades de Cadmio I y II, se utilizó la medida de la absorción resonante de líneas conectadas a los estados fundamentales del átomo y del ión.

Se determinaron las intensidades correspondientes a la fuente emisora y su absorción por el plasma. A partir del coeficiente de absorción y el conocimiento del ensanchamiento de la línea, pueden calcularse las poblaciones mediante la expresión:<sup>3</sup>

$$N_i = k_0 \left[ \Delta \nu_D / \ln 2 \right]^{1/2} \cdot \frac{8\pi}{\lambda_0^2} \frac{1}{A_{si}} \cdot \frac{g_i}{g_s} \quad (2)$$

donde  $k_0$  es el coeficiente de absorción medido,  $\Delta \nu_D$  es el ensanchamiento Doppler,  $\lambda_0$  es la longitud de onda,  $A_{si}$  el coeficiente de Einstein, y  $g_i$  y  $g_s$  los pesos estadísticos correspondientes.

## DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

El láser utilizado ha sido descrito en trabajos anteriores y una idea bastante aproximada del mismo puede tomarse del esquema de la figura 1. El cátodo ranurado y el ánodo con forma de T terminado en una malla de acero inoxidable, desarrollan una descarga de cátodo hueco con una pequeña región de columna positiva hacia la región negativa del eje  $x$  de esa figura. La descarga es iniciada en presencia de Helio que fluye por en sistema a varios litros / seg, y unos pocos torr de presión.

El cátodo está constituido por el material cuyo vapor se desea incorporar a la descarga, siendo el bombardeo iónico el mecanismo responsable. Esto evita calentar el recinto hasta las altas temperaturas necesarias para vaporizar los metales utilizados.

Normalmente resulta necesario agregar a la descarga un gas de mayor peso atómico como el Argón, a efectos de incrementar la eficiencia del proceso de proyección de Cadmio. Usualmente, con una pequeña proporción respecto del He, se logra un incremento importante, y estas proporciones pueden ser ajustadas en tanto no comprometan la estabilidad de la descarga.

La presencia de Cadmio es fácilmente detectada por la aparición de una "pluma" de color verde, que se extiende en la dirección del flujo de He, con una longitud proporcional a la velocidad del gas y con una coloración cuya intensidad depende de la cantidad de Cadmio excitado presente en la descarga. La dimensión transversal de la misma sigue esencialmente la forma de la ranura del cátodo. La mayor dimensión transversal constituye la longitud de amplificación o atenuación de la radiación, según sea instalada una cavidad óptica, o como en nuestro caso, una lámpara de cátodo hueco que producirá la radiación a ser absorbida por el plasma, y que nos permitirá calcular la densidad de especies presentes en el mismo. La descarga en inicia-

da con He puro, agregándose el Argón de manera gradual hasta obtener la densidad deseada.

En el esquema de la figura 1, también puede verse la disposición de los distintos elementos que permiten realizar las mediciones, así como un esquema de la alimentación, el flujo de He y la presencia de un colimador que limita espacialmente la región a medir. La lámpara de cátodo hueco ha sido construida al efecto, con el cátodo realizado en Cadmio y descargando a la misma presión que el dispositivo que estamos describiendo, para asegurarnos igualdad en el ensanchamiento de la línea debido a esa causa. Para las mediciones de densidad de Cadmio, hemos elegido la distancia al cátodo correspondiente a la máxima potencia láser obtenida<sup>1</sup>. La lámpara de cátodo hueco es ubicada en esa posición, en forma perpendicular al flujo de He y diafragmada su emisión mediante el colimador.

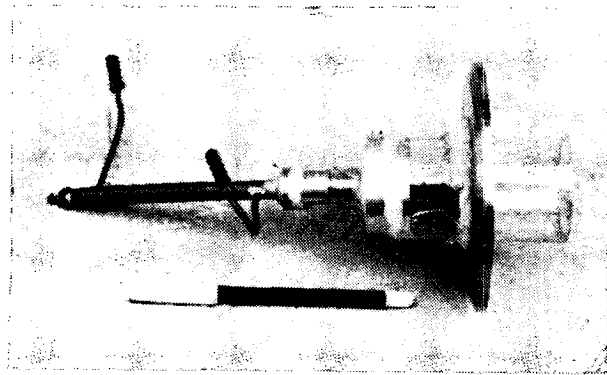


Foto 3: Lámpara de cátodo hueco de Cadmio construida.

### RESULTADOS OBTENIDOS

En la Figura 2 pueden verse las curvas de temperatura electrónica en función de la distancia al cátodo (a), y las curvas obtenidas al graficar los valores correspondientes al logaritmo del cociente de las intensidades absolutas obtenidas en el experimento (b), con los factores definidos en la ecuación (1). Puede observarse la excelente linealidad.

En la Figura 3, se muestra un espectro típico, donde hay líneas que no son absorbidas y que son utilizadas como referencia. La Tabla I presenta los resultados obtenidos para  $k_0$ . Estos valores son comparados con los obtenidos por otros autores en descargas de cátodo segmentado, en las cuales el plasma de recombinación se obtiene por la expansión adiabática de un plasma generado en un arco<sup>4</sup>. El cálculo de la ganancia en función de los valores de temperatura obtenidos y de los valores límites de densidad dados por<sup>5</sup>, resulta consistente con los valores medidos directamente del láser, colocando pérdidas calibradas dentro de la cavidad. Los va-

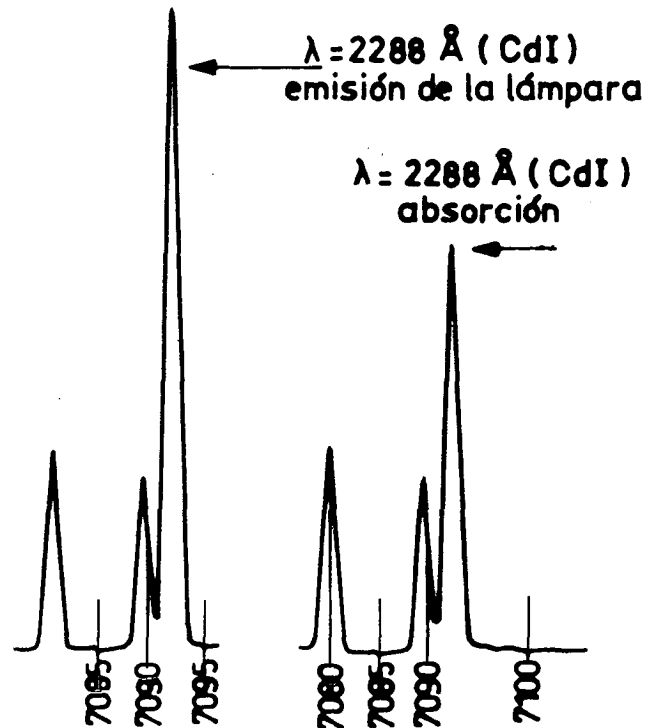


Figura 3: Espectro típico con dos líneas laterales que corresponden al argón y que no son absorbidas.

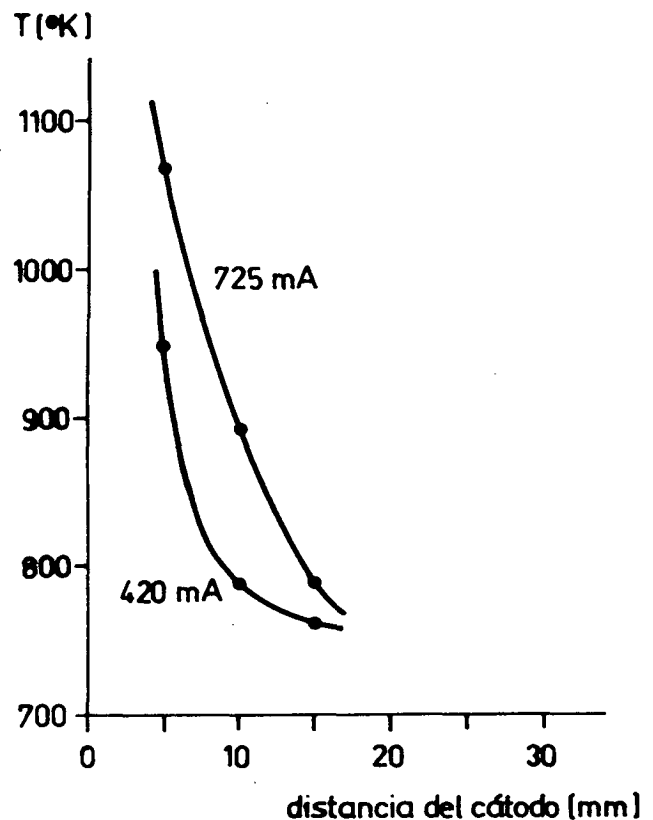
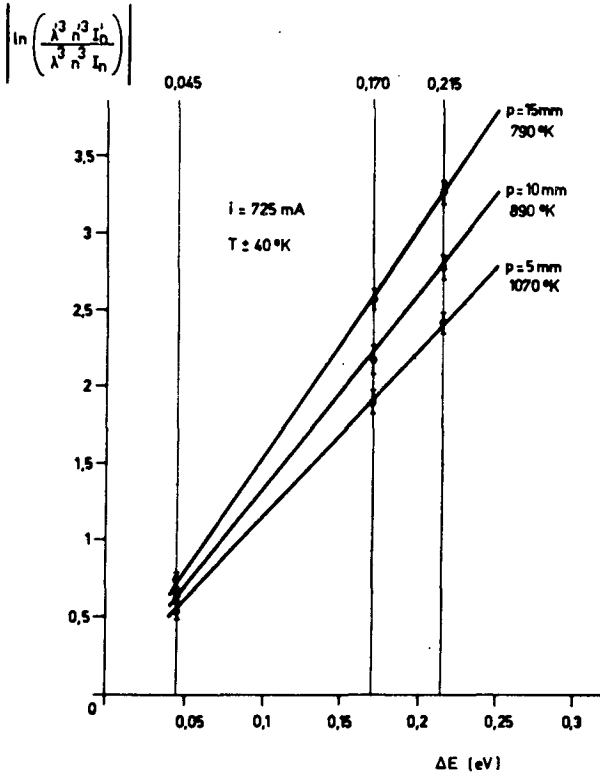


Figura 2a: Variación de la temperatura electrónica en función de la distancia al cátodo, para dos corrientes de descarga. La curva correspondiente a  $I=725$  mA corresponde a máxima potencia láser.

**TABLA I - VALORES DE  $K_0$**

		$K_0$ a 300 mA	$K_0$ a 600 mA	$K_0$ (Ref. 4)	densidad calculada por (4)
<b>CdI</b>	<b>3261</b>	<b>0,0678</b>	<b>0,231</b>	<b>0,11</b>	$3 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$
	<b>2288</b>	<b>0,0394</b>	<b>0,213</b>	<b>0,11</b>	$6 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$
<b>CdII</b>	<b>22675</b>	<b>0,196</b>	—	<b>2,92</b>	$2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$



**Figura 2b: Curvas correspondientes al logaritmo del cociente de intensidades obtenidas del experimento, como función de la diferencia de energía entre niveles, a tres distancias del cátodo. Corriente  $I = 725 \text{ mA}$  y error de  $40 \text{ k}$ .**

lores de densidad de Cadmio, sin embargo, resultan inferiores a los esperados.

**CONCLUSIONES**

Las mediciones realizadas nos permitirán con-

truir un modelo para este tipo de láseres, con valores tomados de la realidad. Son necesarias una serie de medidas sistemáticas de más largo aliento para la determinación de densidad de Cd I y II. Los valores obtenidos de temperatura electrónica son compatibles en magnitud con el comportamiento del sistema, al cual se le ha medido la ganancia láser por otros métodos.

Este trabajo ha sido realizado mediante fondos provenientes de PID y PIA del CONICET, y es un fruto parcial de una colaboración que se desarrolla entre el CIOP, el Grupo de Láseres Atómicos de CITEFA, (CEILAP) y la Universidad de Colorado (USA).

El Dr. D. Schinca es investigador CICBA.

**AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen los dibujos que realizara el Sr. C. Morales, y los trabajos de mecánica del Sr. José Luque.

**BIBLIOGRAFIA**

1. J. J. Rocca, Appl. Phys Lett. 47 (11) p.1145. (dec 1985).
2. J. J. Rocca, H. Mancini, B. Wernsman, IEEE JQE, QE22, (4) (1986).
3. V. Elagin, I. Kabanov, A. E. Fotiadi, Opt. Spectrosc. 61, (2) p172 (aug 1986).
4. Mayo Villagran, Tesis de Doctorado. Universidad de la Plata (1986) y referencias de ese texto.
5. W.T. Silvfast, L. Szeto, O. Wood II. Appl. Phys. Lett 36, 615 (1980).