

# ABSORCION DE LINEAS DEL LASER DE HF EN MEZCLAS CO<sub>2</sub> - He A ALTA PRESION

C. F. Mosquera , P. A. Sorichetti , D. Frega , R. Doti , J. Furnari , C. A. Raffo.

*Departamento de Física (Laboratorio de Láseres) ,  
Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires,  
Paseo Colón 850, 1063 Buenos Aires.*

Se determinó experimentalmente el coeficiente de absorción del CO<sub>2</sub> puro y mezclas CO<sub>2</sub> - He para varias líneas del láser de HF a presiones de hasta 10 atm. Se verificó el crecimiento lineal del coeficiente de absorción para mezclas de 1 atm. de CO<sub>2</sub> y presiones crecientes de He ( hasta 9 atm.). Se efectuó el ajuste del coeficiente de absorción para el CO<sub>2</sub> puro en función de la presión ( hasta 10 atm. ) y se calculó el coeficiente de autoensanchamiento B .

## INTRODUCCIÓN

En un trabajo anterior (1) se discutió la importancia del bombeo óptico en mezclas láser de alta densidad y las determinaciones del coeficiente de absorción para CO<sub>2</sub> puro y mezclas CO<sub>2</sub> - He a presiones totales de hasta 10 atm., para las líneas 1P(7) , 1P(8) y 2P(4) del láser de HF . Se han continuado las observaciones para las líneas 1P(5), 1P(6), 2P(2), 2P(5) y 3P(2) .

Los valores del coeficiente de absorción para mezclas de 1 atm de CO<sub>2</sub> y 9 atm de He fueron comparados con los presentados por Stenersen y Wang (2) a partir de un modelo teórico.

No se han hallado en la literatura resultados ex-

perimentales de absorción en la banda de 2.7 μm del CO<sub>2</sub>, en las condiciones de funcionamiento como láser de bombeo óptico : elevada presión del medio y excitación por medio de una fuente de radiación muy monocromática, de alta potencia, en forma de pulsos de corta duración (menores que 200 nanosegundos).

## DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

Se esquematiza en la fig. 1 el dispositivo de medición. La descripción completa del dispositivo y el método de medición se dan en la ref. 1. La única diferencia con el montaje allí descrito consiste en eliminar la lámina de vidrio entre la celda de absorción y el detector D<sub>2</sub>, colocando en su recemplazo un

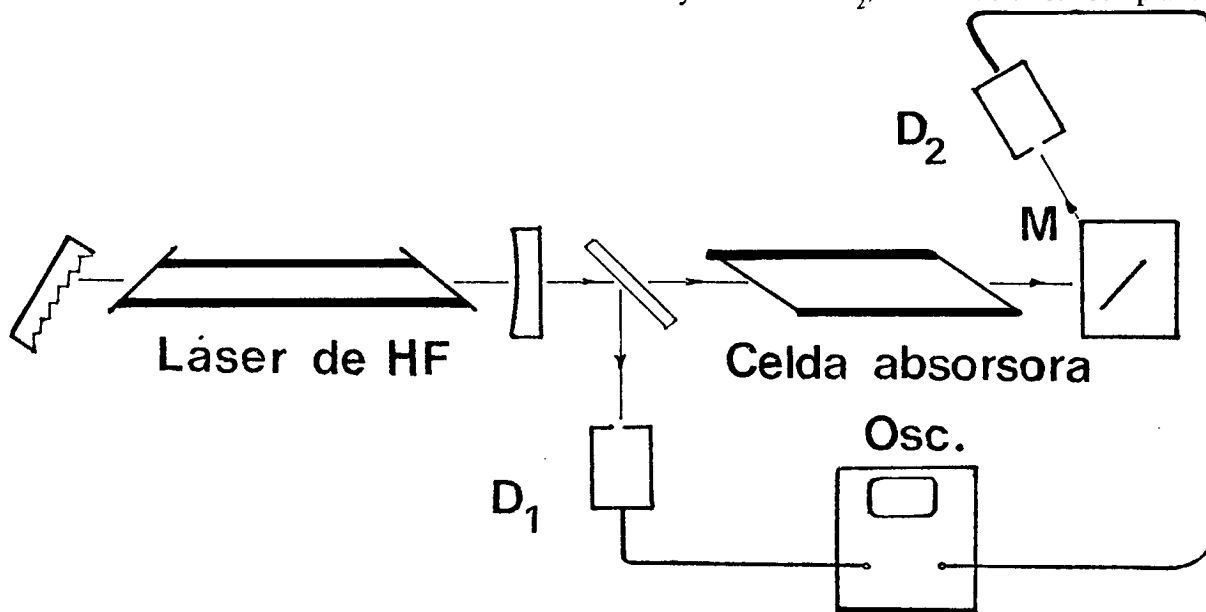


Figura 1: Dispositivo experimental.

monocromador M, a fin de asegurar que al mencionado detector sólo llegue la radiación correspondiente a la línea en estudio. A fin de verificar la linealidad de la respuesta se repitieron medidas efectuadas con la anterior disposición, encontrándose plena concordancia.

## RESULTADOS

### a.- Coeficiente de absorción del CO<sub>2</sub> puro.

En las figs. 2, 3 y 4 se dan los valores experimentales del coeficiente de absorción  $k$  (en  $\text{cm}^{-1}$ ), en función de la presión del CO<sub>2</sub> (en atmósferas). Las líneas 1P(6), 1P(7), 1P(8), 2P(2) y 2P(5) tienen un comportamiento similar:  $k$  crece rápidamente hasta presiones del orden de 4 atm, tiene un crecimiento suave entre 4 y 6 atm y satura para presiones mayores que unas 6 atm. Esta dependencia con la presión puede ajustarse mediante una dependencia funcional de la forma:

$$k = ax^2 / (b^2 + x^2)$$

donde  $x$  es la presión de CO<sub>2</sub> medida en atm, en tanto  $a$  [ $\text{cm}^{-1}$ ] y  $b$  [atm] son constantes características para cada línea del láser de HF; éstas se resumen en la Tabla I. El parámetro  $a$  puede interpretarse como el valor asintótico del coeficiente de absorción, en tanto  $b$  representa una presión característica de cada línea, que separa la zona de comportamiento parabólico (presiones más bajas) de aquéllas en que la absorción varía como la raíz cuadrada de la presión. Este comportamiento coincide con el de absorción de una línea espectral ensanchada por colisiones (lorentziana) [3] de un gas genérico.

**Tabla I**

Parámetros de ajuste para el coeficiente de absorción del dióxido de carbono

Línea [1/cm]	a [1/cm]	b[atm]
1P(5) 3741	0.179	0.675
1P(6) 3693	0.579	1.937
1P(7) 3644	0.423	1.343
1P(8) 3594	0.601	1.536
2P(2) 3709	0.418	1.536
2P(5) 3577	0.740	1.715
3P(2) 3544	0.069	2.361

Cabe señalar que el error residual en el ajuste de la expresión propuesta a los datos experimentales es, en todos los casos, menor que  $5 \cdot 10^{-3}$ .

### b.- Coeficiente de absorción en mezclas de CO<sub>2</sub> y He.

En las figs. 5 y 6 se observan los valores experimentales y las rectas de ajuste para el coeficiente de absorción en mezclas con presiones parciales de 1 atm de CO<sub>2</sub> y hasta 9 atm de He, en función de la presión parcial de He, para las líneas 1P(6), 1P(7), 1P(8), 2P(2), 2P(4) y 2P(5). En la Tabla II se dan los parámetros de ajuste para la dependencia con la presión del coeficiente de absorción:

$$k = m x + b$$

donde  $x$  es la presión parcial de He en atm,  $m$  está dado en  $(\text{cm atm})^{-1}$  y  $b$  en  $\text{cm}^{-1}$ . En todos los casos el coeficiente de correlación para el ajuste resultó mayor que 0.9.

**Tabla II**

Parámetros de ajuste para el coeficiente de absorción de mezclas de CO<sub>2</sub> (presión parcial 1 atm) y He.

Línea	m [1/cm atm]	b [1/cm]
1P(6)	0.048	0.079
1P(7)	0.027	0.123
1P(8)	0.053	0.151
2P(2)	0.038	0.093
2P(4)	0.012	0.357
2P(5)	0.032	0.156

Coincidentemente, la absorción total en función de la presión equivalente [4], para mezclas de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>, es ajustable mediante una recta [5].

### c.- Coeficiente de autoensanchamiento.

En la literatura, las curvas de absorción suelen expresarse en función de la presión equivalente  $P_e$ , utilizando como parámetro la cantidad de CO<sub>2</sub> expresada en atm.cm (denotada generalmente con la letra,  $u$ ). Para mezclas binarias de CO<sub>2</sub> y He, la presión equivalente de CO<sub>2</sub> estará dada por:

$$P_E = P_{He} + B \cdot P_{CO_2}$$

donde  $P_{He}$  y  $P_{CO_2}$  son las respectivas presiones parciales. El coeficiente  $B$ , llamado de autoensanchamiento, representa la razón entre la capacidad de autoensanchamiento del gas absorbente por su propia acción, y la contribución al ensanchamiento de la línea debido al gas no absorbente de la mezcla binaria.

La determinación precisa de  $B$  es importante, pues su conocimiento permite calcular, a partir de la teoría cinética, el semiancho  $\alpha$  de la línea de absorción ensanchada por presión, y con ella el coeficiente de absorción. En el caso de la mezcla binaria de  $CO_2$  y He se tiene :

$$\alpha = 1/4\pi (2\pi/kT)^{1/2}(C_{a,a}p_a + C_{a,b}p_b)$$

con  $a \equiv CO_2$ ;  $b \equiv He$ ;  $P_i$ : presiones parciales

de aquí resulta :

$$\alpha = 1/4 \pi(2 \pi/kT)^{1/2} C_{a,b}(P_b + B P_a)$$

con  $B = C_{a,a}/C_{a,b}$

La forma en que se calculó  $B$  difiere de la indicada en la ref. 11. En el presente trabajo, se igualaron - para cada línea del láser de HF y empleando las curvas de ajuste - los valores del coeficiente de absorción con  $CO_2$  puro y en la mezcla con He, para diferentes presiones de He. A partir de allí se obtuvo la presión equivalente de  $CO_2$  en la mezcla.

En la Tabla III se dan los valores calculados de  $B$  en función de la presión parcial de He, para distintas líneas del láser de HF.

**Tabla III**

Coficiente de autoensanchamiento en mezcla  $CO_2$  (1 atm) y He.

$P_{He}$ (atm)	1P(6)	1P(7)	1P(8)	2P(2)	2P(5)
1	33.3	>>100	9.90	26.3	>>100
2	7.38	14.80	6.10	7.52	17.54
3	5.56	10.34	5.13	5.75	13.10
4	4.85	8.66	4.46	4.83	11.50
5	4.32	7.55	3.83	4.08	10.57
6	3.83	6.63	3.16	3.34	9.92
7	3.32	5.77	2.37	2.51	9.36
8	2.74	4.89	1.28	1.41	8.83
9	2.03	3.94	---	---	8.33

## CONCLUSIONES

### a.- Coeficiente de absorción del $CO_2$ puro.

El comportamiento de las líneas 1P(5) y 3P(2) difiere del observado para las líneas 1P(6), 1P(7), 1P(8), 2P(2) y 2P(5). En las líneas 1P(5) y 3P(2) se observa saturación de la absorción para presiones de  $CO_2$  entre 1 y 2 atm; para la línea 3P(2) casi no se observa la zona de comportamiento parabólico. Además, para estas líneas, el valor del coeficiente de absorción es mucho menor que los correspondientes a las otras líneas. Una explicación de este comportamiento sería que las líneas 1P(5) y 3P(2) caen en los extremos de la banda de absorción [4] como se muestra en fig. 7.

### b.- Coeficiente de absorción en mezclas de $CO_2$ y He.

Del examen de la dependencia con la presión de los coeficientes de absorción para  $CO_2$  y mezclas de  $CO_2$  y He, surge inmediatamente que, en todas las líneas, la mezcla presenta un coeficiente de absorción mayor que el  $CO_2$  puro, a partir de una cierta presión total.

En la Tabla IV se comparan los valores de  $k$  para una presión parcial de  $CO_2$  de 1 atm y 9 atm de He, ajustados a partir de las mediciones del presente trabajo con los calculados por Stenersen y Wang en la ref. 2. La concordancia no es buena; la discrepancia puede atribuirse a que el espectro fue calculado en la ref. 2 como suma de líneas lorentzianas que se solapan. En efecto, la medición de la absorción de la línea P(20) en la banda 10.6  $\mu m$  del  $CO_2$  [6] mostró un incremento de la absorción con la presión más rápido que el predicho por la teoría basada en el solapamiento lorentziano.

**Tabla IV**

Comparación de los valores del coeficiente de absorción para mezcla  $CO_2$  (1 atm) y He (9 atm).

Línea	Este Trabajo	Ref. 11
1P(6)	0.51	0.58
1P(7)	0.37	0.05
1P(8)	0.63	0.47
2P(2)	0.44	0.62
2P(4)	0.46	0.54
2P(5)	0.44	0.08

Así mismo, medidas de absorción sobre otras moléculas (tales como  $O_2$  y  $CO$ ) [7], [8] en las bandas de microondas e infrarrojo también mostraron mayor absorción que la esperada según dicha suposición.

También en mezclas  $CO_2 - N_2$  la discrepancia se manifiesta [9], como surge de mediciones del coeficiente de absorción para la línea R(16) de la banda de  $961\text{ cm}^{-1}$  del  $CO_2$  para presiones mayores que 5 atm. En este último caso se logra un buen ajuste con una teoría basada en solapamiento de líneas con ensanchamiento no-lorentziano [10].

Puede apreciarse que las mayores discrepancias entre los valores presentados en este trabajo y los de la ref. 2 se encuentran en las líneas 1P(7) y 2P(5), ubicadas en los flancos de la banda de absorción correspondiente a la transición  $(0\ 0\ 0) \rightarrow (1\ 0\ 0, 1, 0\ 2\ 0\ 1) II$  [4].

### c.- Coeficiente de autoensanchamiento.

Se pueden formular las siguientes observaciones:

- Los valores de B para 1 atm de He no son confiables, aunque elevados) pues el ajuste se realizó en la parte menos conocida de la curva de absorción del  $CO_2$  puro. Para presiones parciales de He mayores que 1 atm, los valores de B son ajustados con la parte de la curva de absorción del  $CO_2$  puro mejor determinada y por lo tanto son enteramente confiables. Para presiones parciales de He de 9 atm, no se tienen valores de B para las líneas 1P(8) y 2P(2) pues las curvas de ajuste del coeficiente de absorción del  $CO_2$  puro y de la mezcla con He se intersectan a presiones totales menores que 10 atm.

- Para cada presión parcial de He, el coeficiente B varía muy poco con la frecuencia para aquellas líneas tales como la 1P(6), 1P(8) y 2P(2), que están claramente dentro de una banda de absorción (fig. 7). Por el contrario, las líneas 1P(7) y 2P(5) caen en los flancos de la transición  $(0\ 0\ 0) \rightarrow (1\ 0\ 0, 1, 0\ 2\ 0\ 1) I$  y esto explicaría sus valores más elevados. Este comportamiento de B es similar al obtenido por Burch et al. (ref. 11), pero difiere en que estos investigadores, que trabajan a presiones bajas, dan un valor de B independiente de las presiones parciales de los componentes de la mezcla. Otros investigadores [12], dan un valor de B dependiente linealmente con la presión parcial de  $CO_2$  de la mezcla.

- Manteniendo constante la presión equivalente y la presión parcial de  $CO_2$  de la mezcla con He, B disminuye con el aumento de la presión parcial de He.

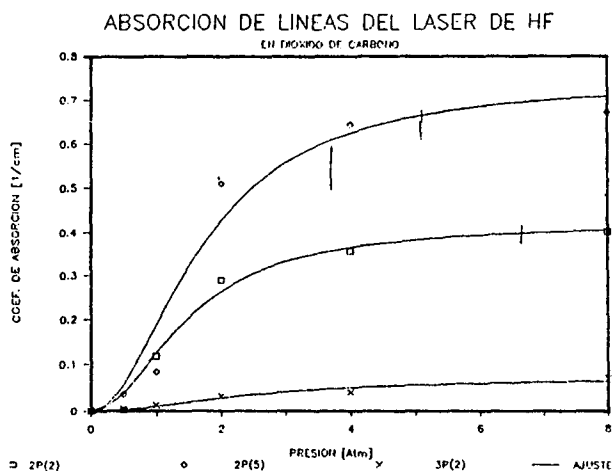


Figura 2

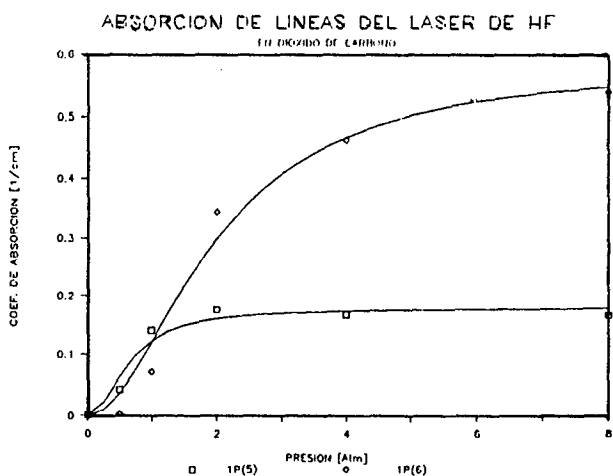


Figura 3

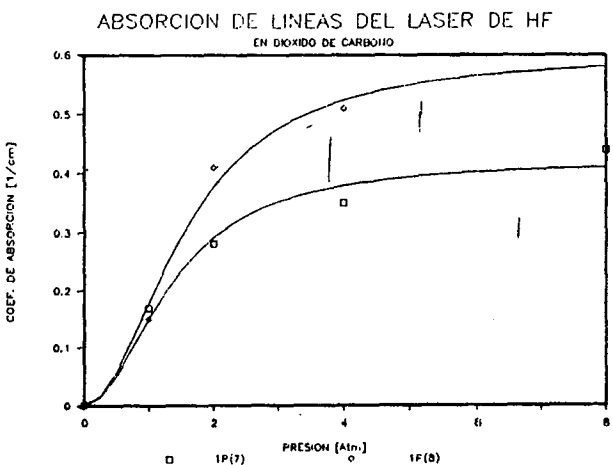


Figura 4

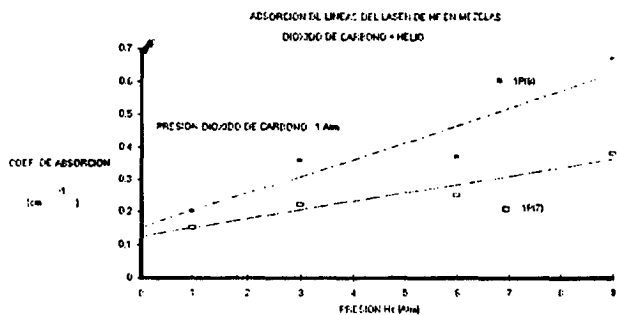


Figura 5

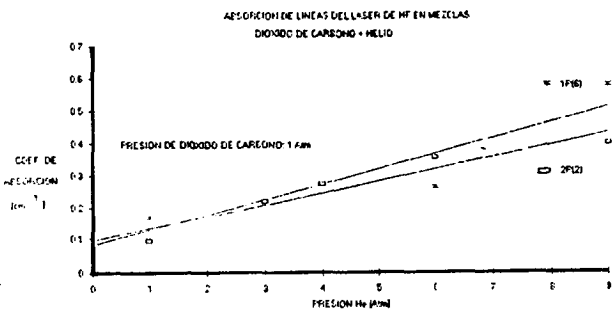
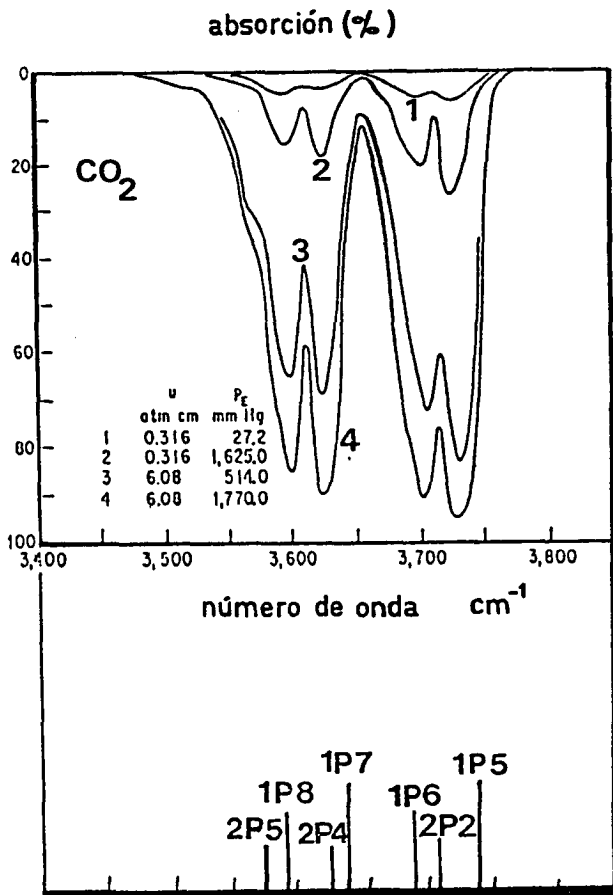


Figura 6

## REFERENCIAS

1. C. F. Mosquera, P. A. Sorichetti, P. Sorop y C. A. Raffo. *Anales AFA*, 1, 157 (1989)
2. K. Stenersen y G. Wang, *IEEE J. of Quant. Electron.*, 22, 2236 (1986); ver también *IEEE J. of Quant. Electron.*, 25, 147 (1989).
3. *Infrared Physics and Engineering*. J. A. Jamieson, R. C. Mc Fee G. N. Plass, R. H. Grube y R. G. Richards. Mc.Graw -Hill Book Co. Inc. (1963).
4. D. E. Burch, D. A. Gryvnak, D. Williams. *Appl. Opt.*, 1, 759, (1962).
5. J. N. Howard, D. E. Burch, D. Williams. *J. Opt. Soc. Am.*, 46, 186, 237, 242, 334, 452 (1956).
6. W. H. Christiansen, G. J. Mullaney, A. Herzberg. *Appl. Phys. Lett.*, 18, 385 (1971).
7. P. W. Rosenkrantz, *IEEE Trans. Ant. Prop.*, 23,



Líneas de emisión del láser de HF

Figura 7

- 498 (1975).
8. R. G. Gordon, R. P. Mc Ginnis. *J. Chem. Phys.*, 55 4898 (1971).
9. J. L. Miller, E. V. George. *Appl. Phys. Lett.*, 27, 665 (1975).
10. M. Baranger. *Phys. Rev.*, 111, 494 (1958).
11. D. E. Burch, E. B. Singleton, D. Williams. *Appl. Opt.*, 1, 359 (1962).
12. D. K. Edwards. *J. Opt. Soc. Am.*, 50, 617 (1960).