

ESPECTROMETRO DE DOBLE PASO, SIMPLE Y  
ECONOMICO, PARA ANALIZAR RADIACION LASER\*

Dr. Mario Gallardo\*\*

Dr. Angel A. Tagliaferri\*\*\*

Dr. José A. E. Calatroni\*\*\*\*

Dr. Carlos A. Massone\*\*\*

Dr. Mario Garavaglia\*\*\*\*\*

- \* Trabajo realizado en el CIOp, Centro de Investigaciones Ópticas (CONICET-UNLP-LEMIT).
- \*\* Profesor Titular de la UNLP y Miembro de la Carrera del Investigador del CONICET. Director Adjunto del CIOp.
- \*\*\* Dirección actual: Universidade Federal Fluminense, Niterói, Brasil.
- \*\*\*\* Dirección actual: Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela.
- \*\*\*\*\* Profesor Titular de la UNLP y Miembro de la Carrera del Investigador del CONICET. Director del CIOp.

---

## I. INTRODUCCION

---

En distintas épocas, antes y después del advenimiento del láser, se han diseñado espectrómetros ópticos (1-6) para incrementar la dispersión con la cual se desea analizar la radiación o bien para reducir lo más posible la luz difundida en los elementos dispersivos, prismas o redes de difracción. Una vez que el láser pasó a ser una eficaz herramienta de laboratorio, varios campos de la óptica encontraron la oportunidad de lograr desarrollos sensacionales. La holografía y la espectroscopía de la radiación dispersada por la materia, constituyen ejemplos notables de aquellos campos de la óptica en los que el láser provocó una situación de avance sin precedentes. En el caso de los estudios de la radiación dispersada por la materia, fue necesario el diseño de espectrómetros especiales (7-9) para detectar, por ejemplo, las débiles señales Stokes y anti-Stokes, excitadas por láseres diversos, en gases, líquidos o sólidos.

Los espectrómetros ópticos o monocromadores usados en la investigación del efecto Raman, pueden clasificarse en tres tipos:

- a) los monocromadores de doble paso;
- b) los monocromadores duales y
- c) los monocromadores en fánrdem.

Algunos de éstos son del tipo aditivo en los que, en razón de su diseño, las dispersiones de cada una de las etapas dispersivas del instrumento se suman, en tanto que en otros, se restan, denominándose entonces sustractivos. Un detallado y claro tratamiento de estos temas puede encontrar el lector en los trabajos de Christensen y Porter (10) y Allemand (11).

Estos monocromadores compuestos que incluyen, a veces, hasta tres redes de difracción planas aunque generalmente son empleados sólo dos, poseen los problemas típicos derivados de los errores constructivos de las redes. Por un lado aparece un campo de señales falsas (12), denominadas comúnmente fantasmas de Rowland, que producen una pronunciada distorsión del frente de onda difractado (13) por la red, debido a la interferencia entre los frentes de onda de las señales falsas y el frente de onda de la línea espectral intensa. Por el otro, la luz dispersada por las redes de difracción (13), que produce un ruido espectral de notable intensidad en todo el campo de observación, aunque resulta ser mayor en los alrededores de la línea espectral considerada. Ambos fenómenos, si bien se observan con radiación cuasicoherente, son dramáticamente realzados cuando los instrumentos son iluminados con radiación coherente, como la emitida por un láser.

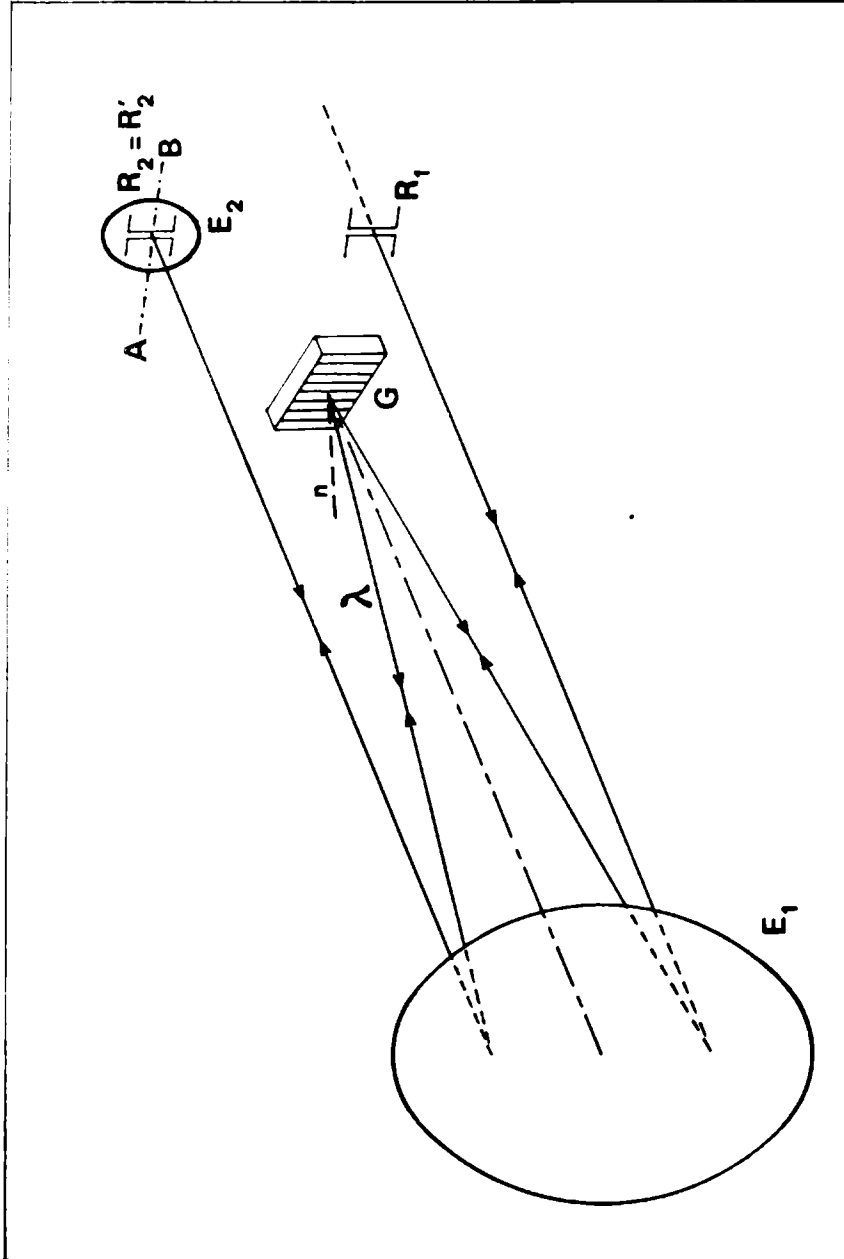


Fig. 2.- Adaptación del espejo  $E_2$  al montaje Ebert convencional. La ranura  $R_2$  de salida, actúa también como ranura  $R_2'$  de entrada

Como es bien conocido, las soluciones a los problemas indicados elevan decididamente los costos del instrumental hasta niveles que, en algunos casos, resultan prohibitivos. Obviamente las soluciones técnicas propuestas incluyen el montaje de redes de difracción acopladas que giran en un mismo eje o en ejes diferentes coplanares, la utilización de varias ranuras de entrada y salida, el alineado de componentes ópticos, etc., que encarecen dichos instrumentos.

El propósito del presente trabajo es el de dar a conocer una manera simple y barata de transformar cualquier espectrógrafo o monocromador de tipo Littrow en un doble monocromador para el análisis de radiación con gran precisión y eliminación del indeseado ruido espectral.

---

## II. EL INSTRUMENTO

---

Como se mencionó más arriba, se trató de adaptar un espectrógrafo del tipo Littrow para que, con una mínima inversión, funcionara como un espectrómetro de doble paso.

Se disponía originalmente de un espectrógrafo montaje Ebert, marca Shimadzu, de 3,4 m de distancia focal, equipado con una red plana de difracción Bausch & Lomb 33-53-19-26 de 600 líneas por mm con blaze de 500 mm y de un monocromador montaje Ebert, marca Jarrell Ash and Co. de 295 líneas por mm con el "blaze" en 3,5  $\mu\text{m}$ .

Las adaptaciones sugeridas fueron realizadas en ambos instrumentos obteniéndose resultados semejantes.

### *Adaptaciones experimentales en el laboratorio.*

El montaje Ebert es prácticamente idéntico tanto para espectrógrafos como para espectrómetros. En el registro del espectro se diferencian en que el primero posee portaplacas para placas fotográficas y el segundo ranura de salida para instalar un fotodetector. La fig. 1 muestra esquemáticamente ambas situaciones experimentales.

En el montaje Ebert se realizó la siguiente adaptación: en el caso del espectrógrafo, se instaló en el portaplacas una ranura  $R_2$  que llevaba adosada un espejo plano de gran calidad  $E_2$ ; mientras que en el caso del espectrómetro, detrás de la ranura de salida  $R_2$ , se adosaba el espejo plano  $E_2$ . La fig. 2 muestra esquemáticamente la referida adaptación. La radiación de longitud de onda  $\lambda$  que atraviesa la ranura  $R_2$ , se reflejará en el espejo plano y llegará a la red

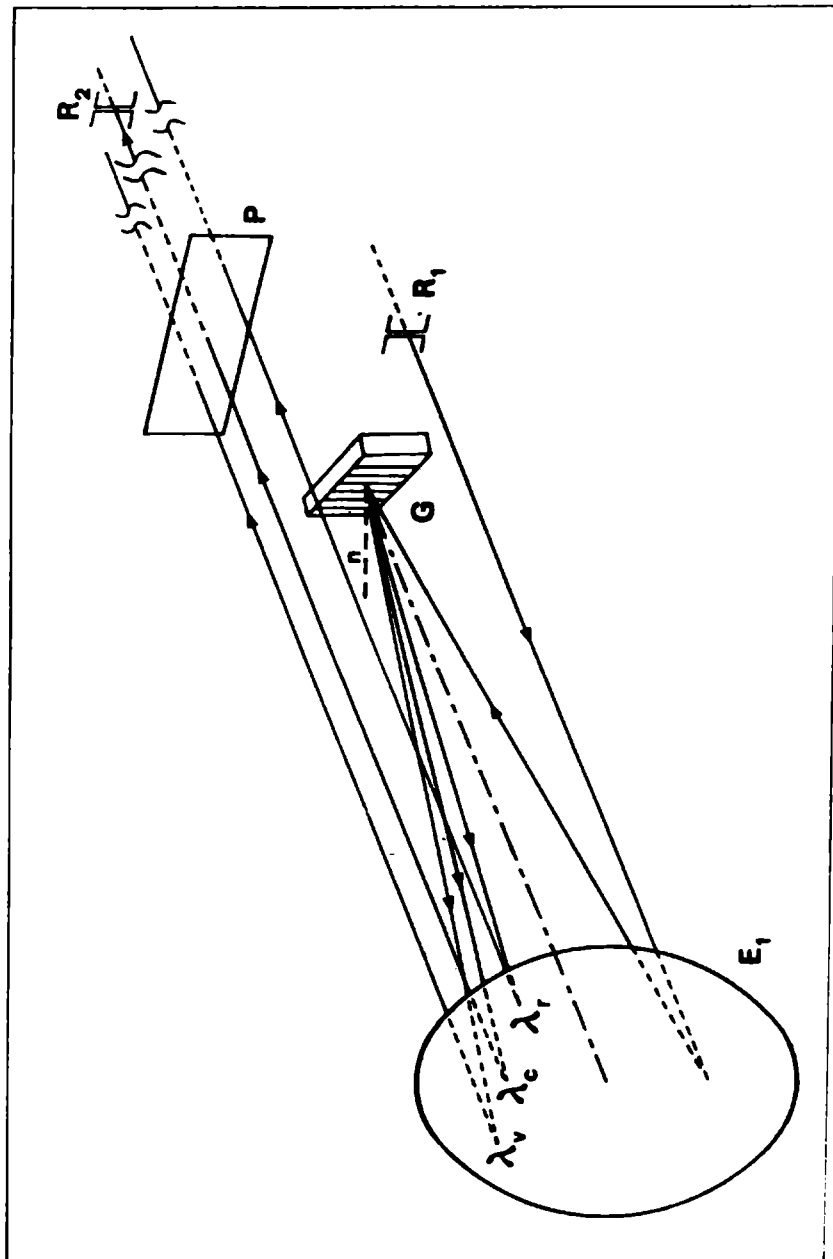


Fig. 1.- Montaje Ebert para espectrógrafos o monocromadores

de difracción y la encontrará ubicada de tal modo que se difractará para continuar su camino hacia la ranura de entrada  $R_1$ . De esta manera el conjunto del montaje constituye un monocromador de doble paso.

El esquema experimental ilustrado en la fig. 2, no permite distinguir entre el haz de entrada al instrumento del de salida. Para separar angularmente ambos haces de luz se rotó el espejo  $E_2$  según el eje AB un pequeño ángulo. Además, y para facilitar la iluminación de la ranura de entrada  $R_1$ , como así también la detección de las señales, al haz que retorna luego de la doble difracción a la ranura de salida, se lo condujo, mediante un espejo plano  $E_3$  ubicado a  $45^\circ$  en el camino óptico, hacia otra ranura de salida  $R_3$ .

El conjunto formado por la ranura  $R_2$  y el espejo  $E_2$ , cumplen sucesivamente las funciones de ranura de salida  $R_2$  del primer paso a través del espectrómetro y de ranura de entrada  $R_2'$  para el segundo paso. Esta ranura, por lo tanto ejecuta las funciones de filtro espacial.

El sistema óptico de la fig. 3 empleado en los experimentos resultó de simple adaptación, al menos para los espectrógrafos de que se disponían y su construcción y operación fue de muy bajo costo. Este sistema óptico tiene implícitamente algunas ventajas por el hecho de que los rayos de luz recorren los mismos caminos en sentidos inversos, reduciendo así drásticamente los efectos de posibles aberraciones residuales.

---

### III. RESULTADOS Y DISCUSION

---

El estudio experimental del sistema óptico descrito previamente fue realizado iluminándolo con radiación coherente. Se empleó un láser de He-Ne marca Spectra-Physics Modelo 130-C como fuente de iluminación. La detección se llevó a cabo empleando un fotomultiplicador Phillips 56 CVP y las señales se observaron con osciloscopios y registrador convencionales.

El resultado del análisis de la radiación según los montajes convencional (simple paso) y modificado (doble paso) de los espectrómetros, están dados en la fig. 4. Puede verse claramente la eficiencia del sistema óptico instrumental proveniente de diversas fuentes. La luz dispersada y los fantasmas de Rowland que se observan con nitidez en el registro a) y que perturban la detección de la señal, fueron eliminados en el registro b).

Este primer resultado auspicioso que permite convertir un mono-

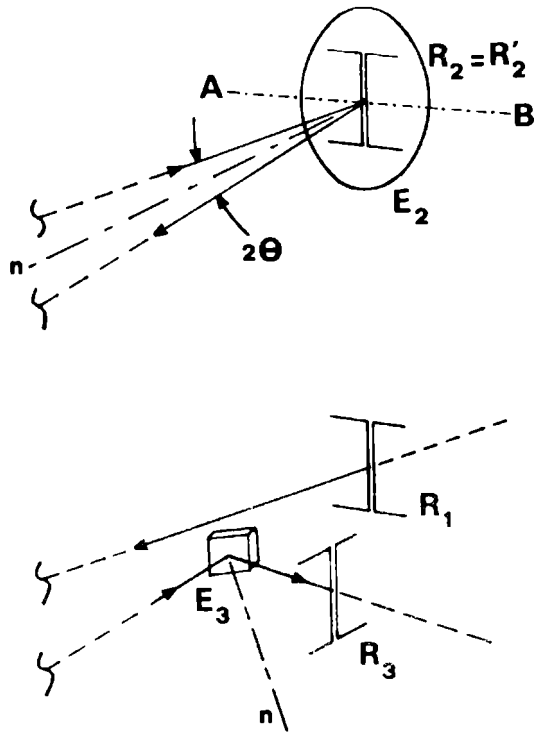


Fig. 3.- El espejo  $E_2$  se rota un ángulo  $\theta$  alrededor del eje AB para separar los rayos de entrada y salida. La salida se realiza por la ranura  $R_3$  por la acción del espejo  $E_3$

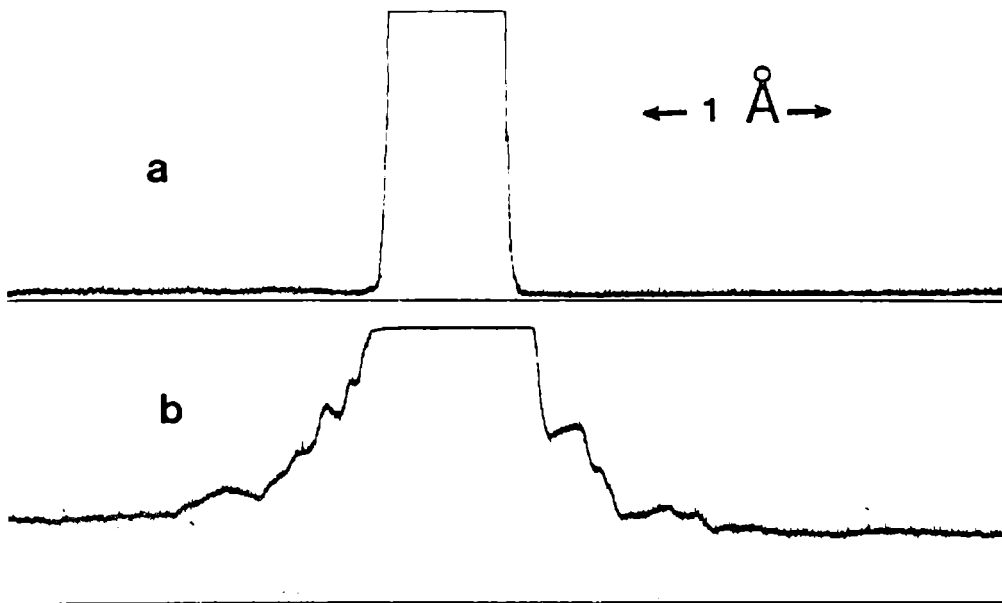


Fig. 4.- Comparación entre registros de la línea láser 632,8 mm del He-Ne. a) empleando el doble paso y b) el montaje convencional

cromador tipo Littrow en un espectrómetro de doble paso de bajo ruido y excelente resolución para analizar espectros, sin duda, impulsará, otros desarrollos futuros. El sistema óptico expuesto, que es del tipo sustractivo, puede convertirse sin demasiados inconvenientes en aditivo. Este cambio de funcionalidad del instrumento depende del número y clase de reflexiones que la luz sufra una vez que sale por la ranura  $R_2$ , para luego ser introducida por la ranura  $R_2'$ . Obviamente, pueden sugerirse ya sistemas ópticos simples que incluyan espejos esféricos cóncavos, lentes y espejos planos en montajes adecuados. Por otro lado, puede sugerirse el empleo de prismas de reflexión total en lugar del espejo  $E_2$ , a los efectos de separar y hacer que se propaguen paralelamente entre sí los rayos que salen y entran por la ranura  $R_2 \equiv R_2'$ . De este modo, podrá emplearse la misma ranura  $R_1$  de entrada al instrumento como ranura de salida final  $R_3$ .

---

#### IV. REFERENCIAS

---

1. Hulthén E. and Lind E.- Arkiv Fysik, 2, 253 (1950).
2. Jenkins F. A. and Alvarez L. M.- Phys. Rev. 85, 763 (1952).
3. Fastie W. G. and Sinton W. M.- J. Opt. Soc. Am. 42, 283 (1952).
4. Walsh A.- Nature, 167, 810 (1951).
5. Jenkins F. A. and Alvarez L. M.- J. Opt. Soc. Am. 42, 699 (1952).
6. Walsh A.- J. Opt. Soc. Am. 42, 94 (1952).
7. Landom D. and Porto S. P. S.- Appl. Opt. 4, 763 (1965).
8. Kogelnik H. and Porto S. P. S.- J. Opt. Soc. Am. 53, 1446 (1963).
9. Weber A., Porto S. P. S., Cheesman L. E. and Barrett J. J.- J. Opt. Soc. Am. 57, 19 (1967).
10. Christensen R. L. and Potter R. J.- Appl. Opt. 2, 1049 (1963).
11. Allemand C. D.- Appl. Opt. 9, 1304 (1970).
12. Garavaglia M. and Massone C. A.- Appl. Opt. 7, 1443 (1968).
13. Calatroni J. A. E. and Garavaglia M.- Opt. Pur. Apl. 7, 101 (1974).

---

#### V. AGRADECIMIENTOS

---

El presente trabajo ha sido realizado con la asistencia de la Secretaría de Estado de Ciencia y Tecnología, de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires y de la Organización de los Estados Americanos.