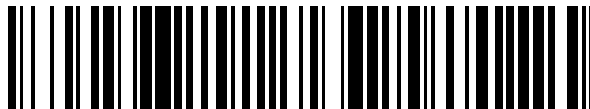


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 430 714**

21 Número de solicitud: 201131813

51 Int. Cl.:

**G01J 3/12** (2006.01)

**G01N 21/27** (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

11.11.2011

43 Fecha de publicación de la solicitud:

21.11.2013

56 Se remite a la solicitud internacional:

PCT/ES2012/070776

71 Solicitantes:

**CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES  
CIENTÍFICAS (CSIC) (100.0%)**

**Serrano, nº 117  
28006 Madrid ES**

72 Inventor/es:

**RABAZA CASTILLO, Ovidio;  
CASTRO TIRADO, Alberto Javier;  
JELINEK, Martin y  
CARDENAS VAZQUEZ, Maria Concepcion**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

54 Título: **ESPECTROMETRO AUTOMATICO MULTIFUNCIONAL DE ALTA SENSIBILIDAD Y SU METODO DE EMPLEO**

57 Resumen:

Espectrómetro automático multifuncional de alta sensibilidad y su método de empleo.

Nuevo modelo de espectrómetro automático de alta sensibilidad, precisión y amplio rango de longitudes de onda. Se basa en un diseño formado por carruseles intercambiadores en donde están alojados diversos elementos ópticos como prismas de Carpenter (diffraction grating prism), filtros y sistemas de colimado y enfoque comandados por una tarjeta de control y toma de datos. El carácter automático de todo el sistema de análisis espectral reside en dicha tarjeta electrónica, asistida por el detector de estado sólido. Como característica más notable, el espectrómetro elimina la no linealidad que aparece en estos sistemas ópticos de difracción.

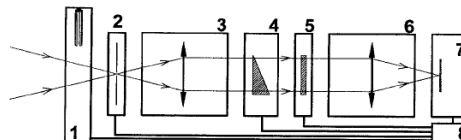


Figura 1

ES 2 430 714 A1

## **DESCRIPCIÓN**

### **Espectrómetro automático multifuncional de alta sensibilidad y su método de empleo**

#### **SECTOR DE LA TÉCNICA**

5 La invención presentada en esta Memoria de patente pertenece al sector de los equipamientos y métodos empleados en análisis químico de gases y compuestos fluorescentes, sólidos o líquidos, con aplicaciones tanto en investigación fundamental (física de plasmas, astrofísica, materiales) como en la industria (compuestos alimenticios, farmacia, emulsiones, lacas y barnices, etc.).

10

#### **ESTADO DE LA TÉCNICA**

La espectrometría es una técnica de análisis químico, estructural y cuantitativo, cuyos principios se remontan a los comienzos del siglo XIX. Su fundamento es bien simple, se trata de descomponer la luz emitida por un cuerpo incandescente en sus colores fundamentales a sabiendas que esa información identifica sin ambigüedad su composición química. Dicho más puntualmente, un espectrógrafo es un aparato que determina la distribución de la intensidad de cada una de las longitudes de onda de la luz emitida.

20

La tecnología siempre ha tratado de mejorar la sensibilidad y rango espectral de los equipos fabricados. La información básica sobre esta técnica y su evolución industrial se puede encontrar en libros como: "The design of optical spectrometers", John F. James and R. S. Stemberg, editor, Capman and Hall Ltd. 25 1969. Igualmente, los métodos, los equipos, así como también los problemas enfocados por físicos e ingenieros a la hora de fabricar nuevos sistemas, están descritos en: "A medium resolution 0.8-5.5 microns spectrograph and imager for the NASA infrared telescope facility", Astronomical Soc. of the Pacific. Marzo 2000, y, "A spatial spectral scanning technique for a Fabry-Perot spectrometer" de G. 30 Shepherd, Applied Optics vol.4, pp 267, Marzo 1965.

En las últimas décadas han aparecido otras técnicas de análisis químico para competir con la espectroscopia clásica. Procedimientos como la cromatografía de gases permiten un ahorro de tiempo tanto durante la preparación de la muestra a analizar como en la operación y todo ello sin disminuir la precisión de los resultados. Buscando una mejora, la patente francesa de E. Froigneux, número de publicación 284685, con fecha de presentación en la oficina nacional el 25 de Noviembre del 2002, introduce la utilización en un espectroscopio del dispositivo óptico llamado "grisma". Este es un nuevo término del lenguaje científico introducido por los investigadores e ingenieros españoles que traducen, con rapidez excesiva, el inglés "diffraction grating prism" como "grisma". Se trata de una licencia lingüística familiar, comprensible, que los diccionarios oficiales tardarán algún tiempo en aceptar. Sin embargo, históricamente, la unión de un prisma de vidrio con una red de difracción era bien conocida antes en la literatura técnica por "prisma de Carpenter", y en esta memoria de invención se nombrará en adelante bajo las dos formas. Por lo demás, los expertos conocen la alta sensibilidad y poder separador de este dispositivo difractor, pero, igualmente, son sabedores de dos desventajas, o defectos, cuando se emplea en la espectroscopia. Pues bien, de una parte se observa la no linealidad de la señal obtenida en el detector cuando se emplean este tipo de elementos difractores, y de otra, también, una falta de polivalencia que consiste en que el rango espectral de observación viene fijado de antemano. La tecnología en este dominio metrológico debe evolucionar hasta dar con los procedimientos competitivos que los mercados de instrumentación requieren, sobre todo, aprovechando las últimas técnicas y dispositivos aportados por la ciencia de la electrónica y la informática.

25

### **DESCRIPCIÓN BREVE DE LA INVENCION**

Esta invención trata de un nuevo concepto de espectrógrafo automático de alta sensibilidad, amplio rango de longitudes de onda, compacto, multifuncional, ligero y fácilmente portable. Su diseño permite un gran número de aplicaciones, determinaciones espectrales y análisis químico por disponer de una serie de elementos ópticos dispuestos en tres intercambiadores de elementos que permiten al

30

usuario elegir entre varios grismas, también conocidos como prismas de Carpenter, filtros y polarizadores. Del igual modo, dos subsistemas refractivos de focal idéntica con 4 lentes cada uno y una cámara CCD termalizada mediante un sistema de refrigeración termoeléctrica permite alcanzar una sensibilidad óptima. Sistemas de  
5 calibrado espectral del instrumento y una unidad de comando y recogida de datos completan el sistema.

Por las características del diseño y fabricación de este aparato, se asegura, en cualquier momento, el control y cambio automático de los distintos modos de  
10 aplicación del instrumento, característica primordial de un instrumento multifuncional y versátil.

#### **BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

Figura 1. Diagrama de bloques detallado con descripción de los elementos que  
15 componen el espectrógrafo.

Figura 2. Dibujo de una rendija de aluminio con la geometría de su apertura.

Figura 3. Dibujo de un grisma, compuesto por una red de difracción por transmisión (10) pegada a la cara hipotenusa de un prisma rectangular (11).

Figura 4. Vista cenital de uno de los intercambiadores de elementos ópticos del  
20 sistema, en el que se distingue el motor paso a paso (9), los puntos de conexión eléctrica (12) para comandar el motor y la rueda giratoria donde quedan alojados los elementos (13).

Figura 5. Efecto del seeing atmosférico en un cuerpo celeste (por ejemplo una  
25 estrella) sobre la apertura de una rendija. Es evidente que a medida que empeora el seeing la cantidad de luz que no penetra a través de la rendija y por tanto al instrumento es mayor.

Figura 6. Representación gráfica de las líneas espectrales de las lámparas de mercurio-argón (arriba) y kriptón (abajo) utilizadas en el prototipo para calibración.

Figura 7. Diseño óptico del sistema de colimado (14) y del sistema de enfoque (15)  
30 refractivo del prototipo.

Figura 8. Imagen obtenida con el ejemplo de aplicación trabajando en modo espectroscópico. La imagen pertenece a la luz emitida por una lámpara fluorescente.

Figura 9. Imagen obtenida con el ejemplo de aplicación trabajando en modo fotométrico. La imagen pertenece a la luz emitida por una lámpara incandescente en el que se identifican las bandas fotométricas  $g'$ ,  $r'$ ,  $i'$ ,  $z'$ , R e Y.

### DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION.

La figura 1 presenta el diagrama de bloques detallado con descripción de los elementos que componen el espectrógrafo y una representación esquemática que describe el camino del haz luminoso emitido por la muestra u objeto a analizar, a través de las diferentes partes o elementos ópticos fundamentales del sistema espectrométrico. La radiación luminosa incide, primero, en la rendija (Figura 2) colocada en el primer carrusel intercambiador (2) que alberga un conjunto, o juego, de rendijas, de diferente longitud y anchura, para permitir al usuario obtener diferentes resoluciones espectrales y/o adaptarse a las condiciones experimentales del instrumento en aquellos casos en los cuales el flujo luminoso de la fuente a analizar resulta ser reducido. El carrusel intercambiador está articulado por un motor paso a paso (9). La elección de la rendija se lleva a cabo, antes de la determinación espectral programada, por medio de los circuitos electrónicos presentes en la tarjeta de control y toma de datos (8).

A continuación el haz pasa a un sistema colimador óptico de cuatro lentes (3) que proporcionan un haz de rayos paralelos el cual incide sobre el grisma o prisma de Carpenter representado con detalle en la Figura 3, esto es, sobre un elemento óptico formado por una red de difracción (10) pegada a la cara hipotenusa de un prisma (11). La red de difracción (10) es un vidrio o una resina transparente en el que se realiza un tallado, usualmente de dientes de sierra dando lugar a una densidad de varias líneas por milímetro. El antes mencionado grisma es uno de los montados en un segundo carrusel intercambiador (4), mecánicamente idéntico al anterior. La elección del grisma, o prisma de Carpenter, a emplear en la medida es una función del rango de longitudes de onda a investigar. El segundo carrusel intercambiador (4)

está ideado para albergar distintos tipos de grismas y de filtros fotométricos lo que le permitirá obtener distintas resoluciones espectrales o realizar fotometría. Igualmente está articulado por un motor paso a paso (9), comandado por la antes mencionada tarjeta de control (8) a través de los contactos eléctricos (12) (ver Figura 4). La

5 Figura 4 presenta una vista cenital de uno de los tres carruseles intercambiadores empleados que son mecánicamente y de dimensiones idénticas con el fin primordial de abaratar la fabricación; lo único que cambia en cada uno de ellos es el elemento óptico a elegir que queda alojado en los huecos de la rueda giratoria (13). La radiación difractada por el grisma, o prisma de Carpenter, en el segundo

10 intercambiador, pasa a través de un filtro óptico de corte, o un filtro polarizador, o fotométrico, según conveniencia de la determinación, montado en un tercer carrusel intercambiador (5). En concreto, el filtro de corte de orden es un medio óptico que sólo permite el paso de un determinado rango de longitudes de onda, también conocido como filtro paso-alta. A su vez, el filtro polarizador sólo deja pasar

15 radiación luminosa orientada según un plano determinado y el filtro fotométrico es medio óptico que sólo permite el paso de un determinado rango estrecho de longitudes de onda, también conocido como filtro paso-banda. La elección conveniente del grisma, o prisma de Carpenter, de los filtros fotométricos, polarizadores y de “corte de orden” permite evitar el solapamiento de longitudes de

20 onda entre los órdenes de difracción primero y segundo.

Después de pasar por el tercer carrusel intercambiador, el haz luminoso, ya con sus distintos colores, o longitudes de onda, bien separados espacialmente, pasa, a continuación, a través de un sistema de lentes ópticas (6) que sirven para enfocar la

25 imagen de la rendija (2) sobre un detector electrónico CCD (7) (CCD es el acrónimo del término inglés, “Charge Coupled Devices”, es decir, detector de carga acoplada). La imagen de la rendija (2) (Figura 2), para cada una de las longitudes de onda, es formada en el detector CCD ocupando una matriz de  $M \times N$  píxeles que queda archivada en la memoria digital de la tarjeta de control (8). El detector CCD

30 está refrigerado mediante un sistema de refrigeración termoeléctrica hasta la temperatura de trabajo de  $-95\text{ }^{\circ}\text{C}$ . En efecto, para obtener una mayor sensibilidad es

preciso reducir la temperatura de dicho detector de estado sólido para obtener así una elevada relación “señal óptica/ruido de fondo”. La temperatura del detector está controlada en todo momento por medio de un sensor térmico alojado en el interior del cuerpo que alberga la CCD (7) y dicha información es proporcionada a través de la tarjeta de control (8). El sistema se completa con las unidades de lámparas de emisión para calibrado del aparato (1) alojadas antes de la rendija. El sistema de calibrado (1) está accionado por un motor eléctrico automático que permite el paso de la luz procedente de las lámparas o procedente de la muestra a analizar según la etapa de la medida. El rango espectral de trabajo está entre los 380 nanómetros y los 1050 nanómetros. Todos los elementos, mecánicos y ópticos, que conforman el aparato descrito están montados en una estructura metálica indeformable.

Los previstos campos de aplicación del espectrógrafo presentado en esta memoria de invención son los siguientes:

1. Física y química analítica; para la identificación de las sustancias mediante el espectro emitido y/o absorbido por las mismas o caracterización de sustancias ópticamente activas mediante polarimetría.
2. Industria; de la iluminación, para la caracterización espectral, fotométrica y radiométrica de las lámparas usadas en alumbrado, o para el control de calidad y control de procesos en la industria farmacéutica, alimentación y química mediante polarimetría.
3. Astronomía y detección remota; en el que será posible medir la composición química, el brillo y las propiedades físicas de los objetos astronómicos, como por ejemplo sus velocidades a partir del efecto Doppler de sus líneas espectrales.

Como se ha descrito, para llevar a cabo las diferentes medidas y determinaciones, el prototipo presentado en esta memoria de invención dispone de toda una amplia batería de recursos. Por construcción, el espectrógrafo proporciona al usuario tres tipos de medidas de la materia; espectroscopia, fotometría y polarimetría, siendo cada una de ellas gobernada por un software, introducido en un dispositivo

electrónico de la tarjeta de control y toma de datos (8), que de manera automática permite el cambio rápido de tales modos de trabajo. La mencionada tarjeta de control y toma de datos/resultados (8) que gobierna el instrumento consiste en una placa con un microcontrolador y puertos de entrada/salida. Consta de 14 pines de entrada y salida digital que operan a 5 Voltios y otros 6 pines de entrada analógica. Cada pin de entrada y salida digital puede proporcionar o recibir como máximo 40 mA. La memoria es tipo EEPROM de 512 bytes y la frecuencia del reloj es de 16 MHz. La placa tiene un conector USB más un conversor a serie para conectar directamente un ordenador donde está el software que controla el instrumento. La tarjeta de control (8) sirve además para eliminar el solapamiento que puede existir entre sucesivas órdenes de dispersión en el prisma óptico y en la red de difracción, es decir, el problema de la no linealidad ya mencionado en líneas anteriores. En efecto, un programa de ordenador de tratamiento de imágenes digitales resta los espectros obtenidos con y sin el correspondiente filtro pasa-baja. También, el recubrimiento aplicado en las lentes del sistema óptico (14, 15, Figura 7) que forma la imagen en el detector se ha elegido para que absorba; o para que no sea transparente a determinadas longitudes de onda corta que se sabe que resultan del solapamiento. Por tanto la tarjeta electrónica de comando y toma de datos, unido a la correcta elección de los filtros de corte elimina la superposición de las distintas y sucesivas ordenes de dispersión en, respectivamente, prisma y red de difracción, con el objetivo de tener la condición de linealidad (suma y producto) necesaria en todo instrumento metrológico.

En efecto, para cada modo de trabajo, la invención contiene elementos opto-mecánicos característicos del tipo de medida a realizar; modo espectroscópico (rendijas, grismas, cross-dispersores y filtros de corte de orden), modo fotométrico (filtros fotométricos) y modo polarimétrico (polarizadores). Todos los procesos y métodos de trabajo han sido grabados, previamente, por medio del apropiado código fuente, en la electrónica de la tarjeta de control (8) para dirigir la operación de determinación comandando las fuentes de calibrado (1), las rendijas, los grismas y los filtros (Figura 1). Otros elementos opto-mecánicos y opto-electrónicos son

comunes en los tres modos de trabajo, son estos; colimador de lentes (3), sistema de enfoque de lentes (6), intercambiadores de elementos (Figura 4) y detector CCD (7).

5 A continuación se describe el funcionamiento del instrumento para cada modo de trabajo:

a) Espectroscopia

La radiación luminosa entra en el instrumento por el lado izquierda del diagrama presentado en la Figura 1 y atraviesa, en primer lugar, el sistema de calibración (1) que contiene en su interior dos lámparas cuya distribución espectral es bien conocida. La calibración consiste en comparar la posición e intensidad de las líneas espectrales de la luz proveniente de la muestra con la de las lámparas de flujo espectral de referencia. En segundo lugar tanto la luz de las lámparas como la que procede de la muestra a analizar iluminará la rendija (2) fabricada en aluminio cuya apertura (ver 15 Figura 2) definirá el elemento de resolución de la luz que pasa a través de ella.

La razón de fabricar las rendijas de aluminio es su bajo coeficiente de expansión térmica, esto significa que las dimensiones de su apertura no varían prácticamente a lo largo de un amplio tiempo de uso continuo en situaciones en las que las variaciones de temperatura no son despreciables, como pudiera ocurrir si el 20 instrumento es utilizado en observaciones astronómicas las cuales son realizadas durante toda la noche.

La luz que atraviesa la rendija por su apertura es colimada con el primer barrilete de lentes (3) haciendo que los haces de la luz procedentes de cada punto de la rendija sean paralelos entre sí. 25

La luz colimada incide en el grisma (Figura 3) siendo éste un dispersor formado por un prisma (11) y una red de difracción por transmisión (10), ambos unidos con pegamento óptico y situados en el segundo intercambiador (4). El uso de grismas 30

permite que el camino óptico sea lineal, lo que facilita que además de realizar espectrometría se pueda obtener imagen directa del objeto o muestra a analizar.

5 El siguiente elemento óptico que atraviesa la luz, dependiendo de las necesidades de las medidas, son los filtros de corte de orden ubicados en el tercer intercambiador (5). Los filtros de corte de orden, son, en este caso concreto, filtros ópticos pasa-alta o pasa-baja que evitan el solapamiento de longitudes de onda de órdenes de difracción contiguos, evitando así la confusión en las medidas.

10 Por último, la luz es enfocada por medio de un conjunto de cuatro lentes que componen el último barrilete (6). Éste subsistema es el responsable de crear la imagen de la rendija proyectada en el detector CCD (7).

15 Tanto el colimador (3) como el sistema de enfoque (6) son gemelos, por lo que la longitud focal de ambos es la misma, de modo que la anchura del elemento de resolución proyectado en el detector es igual a la anchura física de la rendija utilizada en el momento de la observación con acorde a la siguiente expresión:

$$\omega' = \omega \cdot f_{cam} / f_{col} \quad \text{Eq. 1}$$

20

donde  $\omega'$  es la anchura de la rendija proyectada en el detector,  $\omega$  es la anchura física de la rendija,  $f_{cam}$  es la distancia focal efectiva de la cámara y  $f_{col}$  es la distancia focal efectiva del colimador.

25 Por tanto, la imagen de cada rendija proyectada en el detector (7) definirá el elemento de resolución espectral  $\Delta\lambda$ , siendo conceptualmente la resolución espectral igual a  $\lambda/\Delta\lambda$ , por lo que mediante el primer carrusel (2) se podrán reemplazar rendijas de diferente anchura de apertura y obtener por tanto diferentes resoluciones espectrales, dependiendo de las exigencias de la medida o de la observación.

30

Si el instrumento se utiliza para observación astronómica se puede aprovechar el cambio de rendija para evitar perder luz procedente de los objetos celestes afectados por un empeoramiento del Seeing atmosférico tal como se puede ver en la Figura 5, sin embargo, en este caso concreto, trabajar con rendijas de mayor apertura implicaría perder resolución espectral, por lo que para mantener la misma resolución se procedería a cambiar el dispersor a un grisma con mayor dispersión angular en virtud de la siguiente expresión;

$$R \equiv \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \frac{206264,81 \cdot d \cdot D_{\theta} \cdot \alpha}{D \cdot \phi} \quad \text{Eq. 2}$$

10

donde  $R$  es la resolución espectral,  $d$  es el diámetro de la pupila,  $D_{\theta}$  es la dispersión angular del grisma,  $\alpha$  es el factor de anamorfismo del dispersor,  $D$  es la apertura efectiva del telescopio y  $\phi$  es la apertura de la rendija en segundos de arco.

15 Si las condiciones atmosféricas fueran invariables en todo el tiempo de la observación o medida, se podría aumentar la resolución espectral cambiando sólo el grisma con una mayor dispersión angular pero manteniendo la misma rendija sin que el sistema pierda eficiencia.

20 b) Fotometría

Para el modo fotométrico el primer carrusel intercambiador (2) permitirá el paso libre de luz. En la Figura 4 se puede observar las características del intercambiador. En el interior del mismo existe una rueda que gira gracias a un motor paso a paso (9) que permite el posicionamiento de 8 elementos, que en el caso del presente invento serían siete rendijas para espectroscopia y un hueco para dejar pasar la luz directa y poder realizar fotometría de modo directo.

25

El segundo intercambiador (4) de características similares al primero albergaría igualmente siete elementos ópticos (grismas y/o filtros fotométricos) y un hueco

para dejar pasar la luz directa, y, también, el último carrusel intercambiador (5) albergaría siete elementos ópticos (filtros de corte de orden, fotométricos y/o polarizadores) y un hueco para imagen directa.

### 5 c) Polarimetría

La polarimetría se realizaría dejando un hueco libre en el primer carrusel intercambiador (2), un hueco libre o filtro fotométrico en el segundo intercambiador (4) y un polarizador en el último intercambiador (5). En astrofísica ha aparecido  
 10 muy recientemente, el interés en la determinación de campos magnéticos estelares de alta intensidad. El montaje presentado en esta patente lleva a cabo esta valoración mediante la aplicación de los diferentes filtros polarimétricos, determinando la intensidad relativa de la componente polarizada de la radiación emitida. Una aplicación sencilla del efecto Faraday conduce al valor del módulo  
 15 del mencionado vector campo magnético.

### **EJEMPLO DE LA APLICACIÓN DE LA INVENCION**

Con el objetivo de probar la aplicación de la invención presentada en esta Memoria se fabricó un prototipo de espectrógrafo y con él se hicieron varios análisis en el  
 20 laboratorio.

Para el calibrado del prototipo (1) y ante las determinaciones a realizar se emplearon dos lámparas de descarga de; mercurio-argón y de kriptón, cuya distribución espectral está representada en la Figura 6.  
 25

El primer carrusel intercambiador (2) ya descrito en la Descripción Detallada alberga en esta fabricación cuatro rendijas de aluminio similares a la representada en la Figura 2 con aperturas, respectivamente, de 25, 50, 75 y 100 micras de ancho por 15 milímetros de largo cada una y un diámetro total de 28 milímetros. Para posteriores  
 30 aplicaciones hay espacio en el intercambiador para colocar otras tres rendijas más. El diseño de los sistemas de lentes (Figura 7), uno para colimación (14) y otro

idéntico (15) precisado para formar la imagen en el detector (7) se fabricaron con vidrios de calidad óptica, N-SF57, CaF<sub>2</sub>, N-BK7 y N-SF8. La distancia focal efectiva de los dos sistemas fue de 52 milímetros, campo de visión radial de 10.3° y el diámetro de salida 6,5 milímetros. La ventana que separa el segundo sistema

5 óptico de lentes del detector CCD es de sílice fundido transparente y todas las lentes, ocho, tienen un recubrimiento anti-reflectante en ambas caras, para las longitudes de onda útiles, lo que les permite tener una alta eficiencia, casi ausencia total de absorción óptica, en el rango espectral de trabajo comprendido entre los 380 nanómetros hasta 1050 nanómetros. Por tanto contiene dos sistemas de lentes ópticas

10 de cuatro lentes cada uno, talladas para dar una distancia focal conveniente y libres de aberraciones cromáticas y de forma, cuyas superficies se han recubierto de una capa anti-reflectante para asegurar su transparencia.

El segundo intercambiador, contenía un único grisma o prisma de Carpenter,

15 fabricado a partir de un prisma rectangular y de una red de difracción por transmisión. Sus dimensiones permiten el paso del haz luminoso en todo el campo de visión del sistema. El material vítreo del prisma fue LZ-CTK19 y su ángulo superior es de 17.5 grados (Figura 3). La red de difracción estaba fabricada sobre un sustrato neutro B270, con una densidad de rayado de 300 líneas/milímetro. El tercer

20 intercambiador (5) contenía cuatro filtros fotométricos “sloan”, centrados en las longitudes de onda, 475 nanómetros (g'), en la notación usual de la espectroscopia), 622 nanómetros (r'), 763 nanómetros (i') y 905 nanómetros (z'). Igualmente, contenía otros dos filtros “Johnson” centrados en 658 nanómetros (R) y 806 nanómetros (I). El número total de filtros que pueden tener cabida en el carrusel por

25 motivos operativos es de siete, a repartir entre filtros fotométricos, filtros de corte de orden y polarimétricos.

Se determinaron los espectros del compuesto contenido en una luminaria fluorescente. El compuesto está básicamente formado por gases de mercurio, argón y

30 neón a muy baja presión. En la parte superior de la Figura 8 está la imagen real del espectro grabado en el detector en el que se pueden observar las líneas espectrales

características de esos compuestos. En la imagen inferior de la Figura 8 se observan los niveles de intensidad distinguiéndose claramente el efecto del filamento caliente de tungsteno que contienen en su interior las luminarias fluorescentes ya que éste emite en continuo sobre las que sobresalen las líneas correspondientes a los gases mencionados. Es fácil comprobar con la ayuda de las bibliotecas de espectros, la  
5 identificación plena y sin ambigüedad de la mezcla gaseosa preparada.

En la industria química, frecuentemente, se precisa conocer, de forma inmediata, la cantidad en que un determinado compuesto entra en una mezcla. Este  
10 espectrómetro automático habilita al usuario, mediante la elección de los filtros de corte, a limitar, o acortar, el rango de longitudes de onda observado, con el consiguiente ahorro de tiempo de operación, puede ser hasta la longitud de onda de un determinado y conocido pico de emisión. El carácter multifuncional y de puesta a punto del aparato propuesto en esta memoria está siempre asegurado por diseño.  
15 Así, si un calibrado previo ha quedado guardado en la tarjeta electrónica, ésta podrá escribir el resultado de la determinación en una pantalla o monitor.

Para realizar la prueba de fotometría se fueron colocando secuencialmente en el camino óptico los filtros fotométricos mediante el accionamiento del tercer  
20 intercambiador. Estos modos de medida son cambiados automáticamente programando una rutina de trabajo en el software que gobierna el instrumento. En la Figura 9 se pueden ver los niveles de intensidad como resultado de tal operación en el que se ha utilizado como fuente de luz una lámpara incandescente y se han superpuesto las imágenes obtenidas tras cada cambio secuencial de cada filtro.

25

## REIVINDICACIONES

1. Espectrómetro automático multifuncional de alta sensibilidad, **caracterizado porque** comprende los elementos siguientes:
- 5 a) un primer carrusel intercambiador que contiene un juego de rendijas, de diferentes dimensiones, a elegir en función de la determinación y/o análisis a llevar a cabo,
  - b) un sistema óptico objetivo de cuatro lentes, que colima y proyecta la imagen de la rendija elegida en un grisma o prisma de Carpenter,
  - 10 c) un segundo carrusel intercambiador que contiene un juego de grismas o prismas de Carpenter, a elegir en función de la determinación y/o análisis a llevar a cabo,
  - d) un tercer carrusel intercambiador que contiene, filtros ópticos de corte, filtros polarizadores y filtros fotométricos, a elegir en función de la
  - 15 e) un sistema óptico de cuatro lentes, que proyecta radiación luminosa dispersada en longitudes de onda, dispersada por el grisma o prisma de Carpenter, en el plano de entrada de un detector de estado sólido CCD,
  - f) un elemento detector de estado sólido CCD, capaz de trabajar a
  - 20 g) un sistema de calibrado del aparato mediante lámparas de emisión luminosa reglada que emiten según espectros conocidos,
  - h) una tarjeta electrónica de comando y toma de datos que en serie con
  - 25 un ordenador externo, comanda las operaciones y movimiento de los tres carruseles móviles (a, c y d), controla el estado y funcionamiento del detector CCD, y, almacena los espectros obtenidos.
2. Espectrómetro automático multifuncional de alta sensibilidad, según la
- 30 reivindicación 1, **caracterizado porque** permite, mediante la selección de los elementos contenidos en los tres carruseles, reivindicados en 1, a, c y d, la medida

espectral de una muestra cualquiera, en el rango de longitudes de onda elegido a conveniencia del usuario, entre los valores límite de longitud de onda de 380 a 1050 nanómetros.

5 3. Espectrómetro automático multifuncional de alta sensibilidad, según las reivindicaciones 1 y 2, **caracterizado porque** los carruseles intercambiadores (reivindicación 1 a, c y d), son accionados en su movimiento de rotación, por un motor de pasos el cual está gobernado por el software contenido en la tarjeta electrónica de comando y toma de datos.

10

4. Espectrómetro automático multifuncional de alta sensibilidad, según las reivindicaciones 1 y 2, **caracterizado porque** la tarjeta electrónica de comando y toma de datos, unido a la correcta elección de los filtros de corte (reivindicación 1 d) elimina la superposición de las distintas y sucesivas ordenes de dispersión en, respectivamente, prisma y red de difracción (reivindicación 1 c), con el objetivo de tener la condición de linealidad (suma y producto) necesaria en todo instrumento metrológico.

5. Espectrómetro automático multifuncional de alta sensibilidad, según las reivindicaciones 1 y 2, **caracterizado porque** contiene dos sistemas de lentes ópticas (reivindicación 1 b y e) de cuatro lentes cada uno, talladas para dar una distancia focal conveniente y libres de aberraciones cromáticas y de forma, cuyas superficies se han recubierto de una capa anti-reflectante para asegurar su transparencia.

25

6. Espectrómetro automático multifuncional de alta sensibilidad, según las reivindicaciones 1, 2, 3, 4 y 5, **caracterizado porque** permite realizar medidas y determinaciones espectrales en un rango de longitudes de onda (reivindicación 2), en el modo de operación espectroscópico, obteniendo la resolución espectral por medio de la elección de la rendija de entrada (reivindicación 1 a).

30

7. Espectrómetro automático multifuncional de alta sensibilidad, según las reivindicaciones 1, 2, 3, 4 y 5, **caracterizado porque** permite realizar medidas y determinaciones espectrales en un rango de longitudes de onda (reivindicación 2) según el procedimiento polarimétrico.

5

8. Espectrómetro automático multifuncional de alta sensibilidad, según las reivindicaciones 1, 2, 3, 4 y 5, **caracterizado porque** permite realizar medidas y determinaciones fotométricas cambiando los distintos elementos ópticos contenidos en los carruseles intercambiadores (reivindicación 1 a, c y d).

10

9. Espectrómetro automático multifuncional de alta sensibilidad, según las reivindicaciones 1, 2, 3, 4 y 5, **caracterizado porque** permite la determinación del valor de campos magnéticos estelares mediante aplicación del efecto Faraday a las determinaciones espectrales obtenidas.

15

10. Espectrómetro automático multifuncional de alta sensibilidad, según las reivindicaciones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9, **caracterizado porque** su diseño y fabricación aseguran automaticidad, alta sensibilidad, precisión y fácil manejo, como se ha probado en distintas medidas efectuadas en laboratorios y observatorios astronómicos.

20

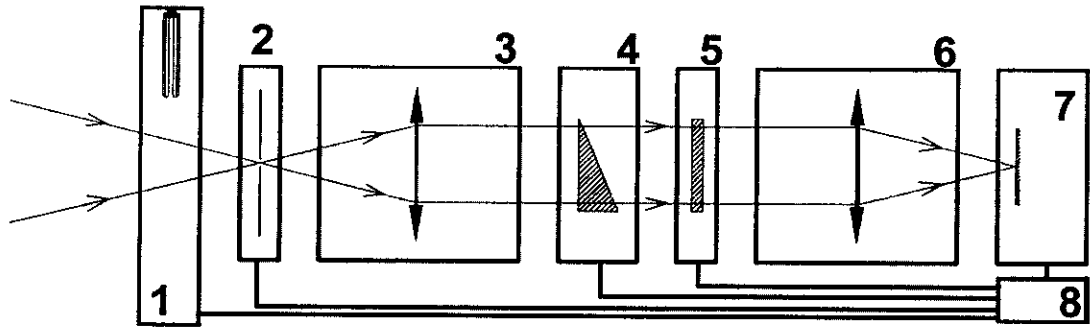


Figura 1

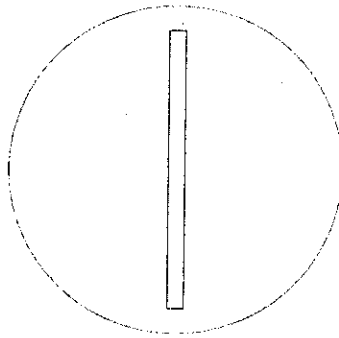


Figura 2

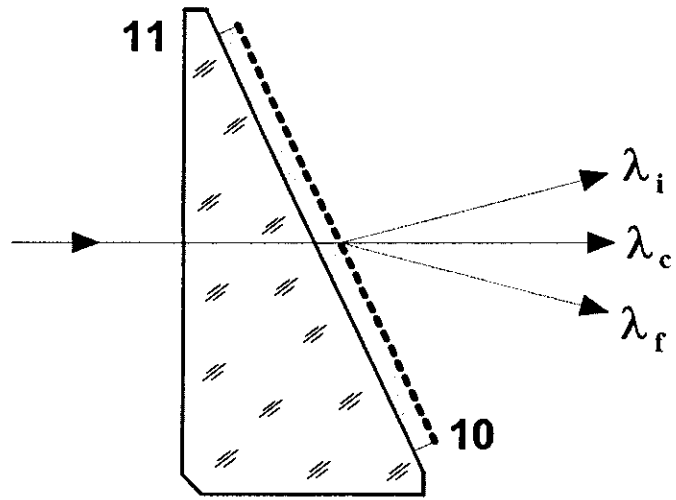


Figura 3

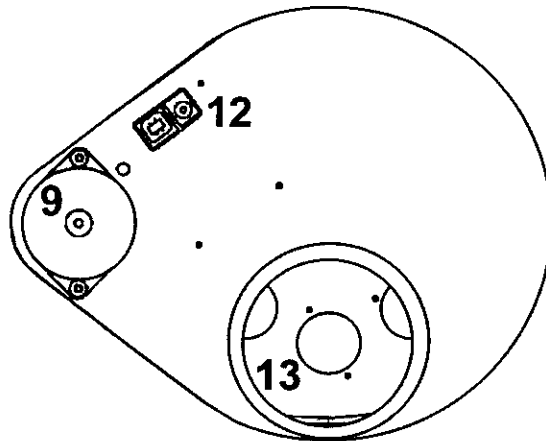
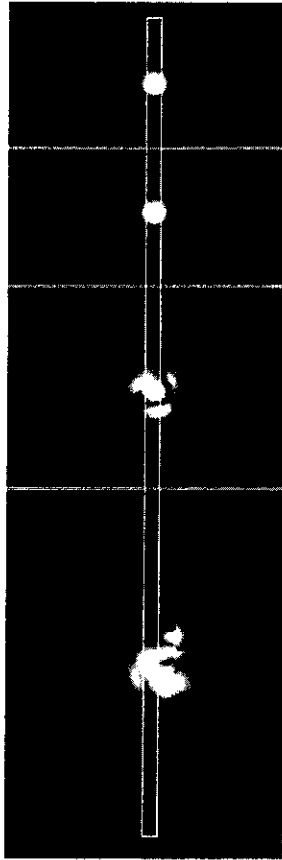


Figura 4



**Figura 5**

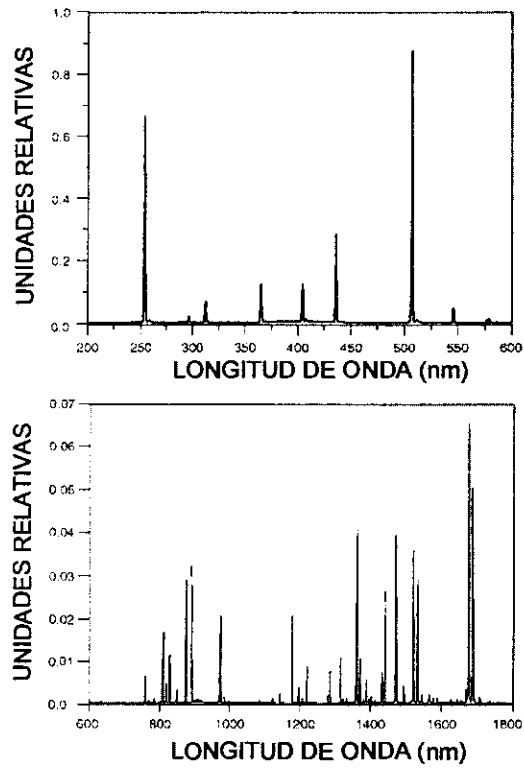


Figura 6

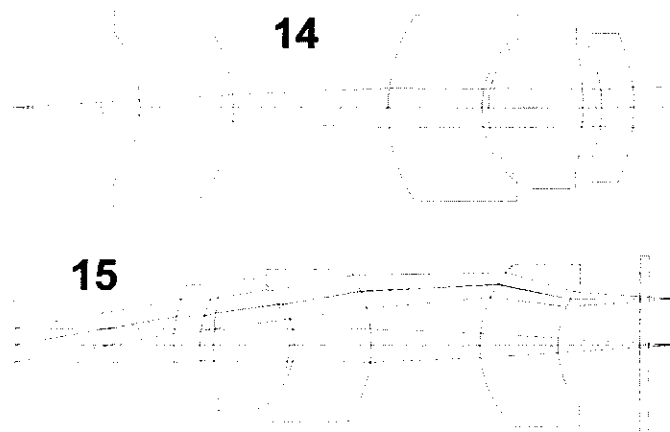


Figura 7

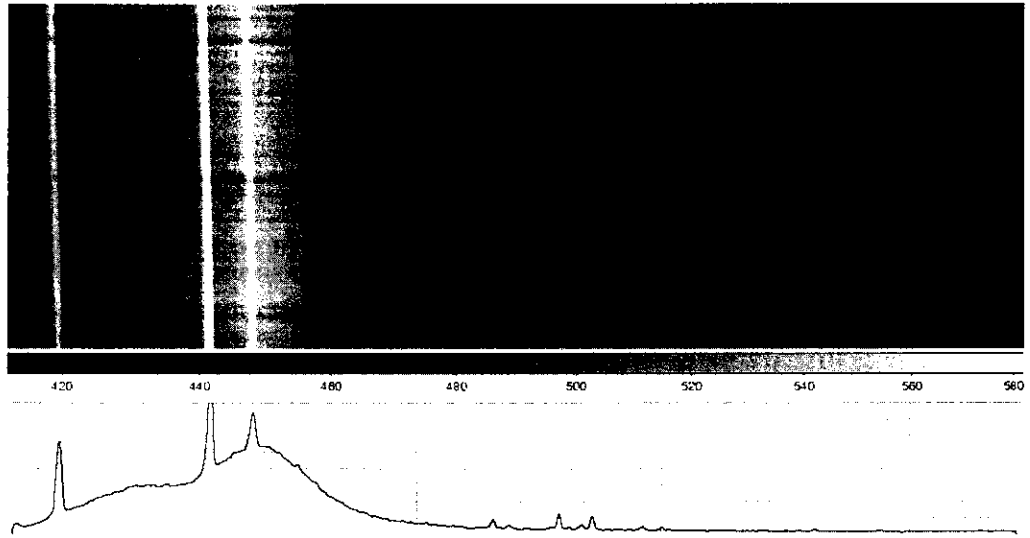


Figura 8

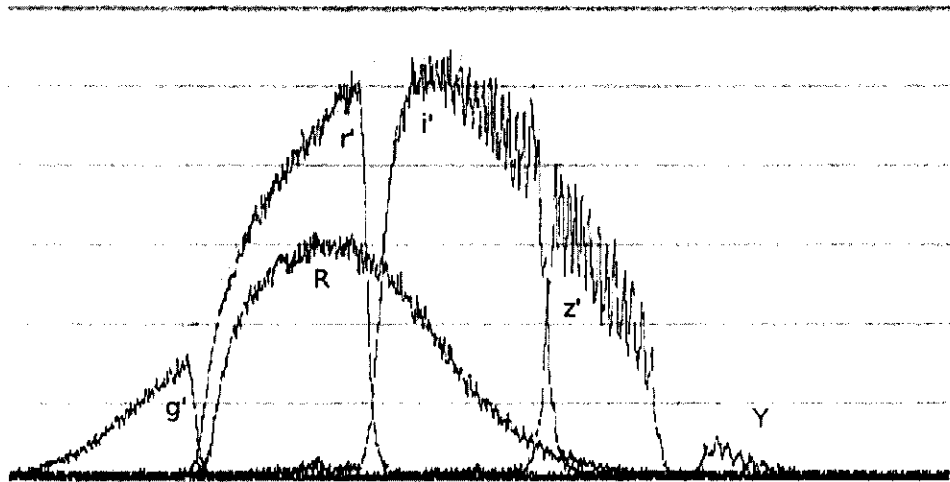


Figura 9