563

Presidencia del Gobierno

**Dirección General**
**del Instituto Geográfico Nacional**
**Estación Astronómica de Calar Alto (Almería)**

# El espectrógrafo "Coudé" del telescopio de 1,5 metros

Separata del Boletín Astronómico
del Observatorio de Madrid
Vol. X. N.º 3. 1978

RID
1979

Diputación de Almería — Biblioteca. Espectógrafo «Coudé» del telescopio de 1'5 metros, El., p. 1

R. 563

# El espectrógrafo "Coude" del telescopio de 1,5 metros

por

J. PENSADO

Separata del *Boletín Astronómico de Madrid*

Vol. X. Núm. 3

Depósito Legal: M - 7.388 - 1958

EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL
Biblioteca
ALMERIA

MADRID, 1979

Diputación de Almería — Biblioteca. Espectógrafo «Coudé» del telescopio de 1'5 metros, El., p. 2

# EL ESPECTROGRAFO "COUDE" DEL TELESCOPIO DE 1,5 METROS

por

J. PENSADO

Con ocasión del reciente montaje de un espectrógrafo de dispersión cruzada, construido por la sociedad francesa REOSC, damos una breve descripción del mismo, señalando sus características más sobresalientes.

## 1. DESCRIPCION GENERAL

Es un espectrógrafo "échelle", que utiliza este tipo de redes para la dispersión primaria y redes "échelettes" para la separación de los diversos órdenes de interferencia. Las dos clases de redes van dispuestas en dos torretas giratorias portarredes que permiten introducir en el camino de los rayos una cualquiera de las redes "échelle" o un espejo plano, para la primera torreta, y una de las tres redes separadoras de órdenes situadas en la segunda torreta.

Utilizando el espejo plano en la primera torreta, las redes separadoras de órdenes se convierten en redes principales de difracción, obteniéndose espectros ordinarios con dispersiones variables entre 10 y 60 Å/mm. Por el contrario, la utilización de la dispersión cruzada permite dispersiones entre 4 y 9 Å/mm según el dominio espectral en que se trabaje.

En el sistema óptico se ha incorporado un espejo esférico colector (espejo "Baranne") situado en las proximidades de la imagen primaria del espectro dada por la lente colimadora, la cual es atravesada dos veces por los rayos. La misión de este espejo es conjugar la imagen de la red "échelle" dada por el colimador con el plano de la red secundaria y al mismo tiempo dar una imagen en el infinito del espectro focalizado por el colimador en el montaje Littrow. Con ello se consigue



Diputación de Almería — Biblioteca. Espectógrafo «Coudé» del telescopio de 1'5 metros, El., p. 3

una imagen blanca de la pupila, por donde pasan todos los rayos luminosos, cualquiera que sea el campo angular de dispersión.

Las dimensiones útiles del espejo "Baranne" son de 79,5 × 18,5 centímetros, con un radio de curvatura de 62,1 centímetros.

Las ventajas del montaje con espejo "Baranne" son las siguientes:

*a)* Permite que la red principal pueda trabajar exactamente en autocolimación (montaje Littrow).

*b)* Se pueden utilizar cámaras espectrográficas de gran abertura relativa y campos de dispersión grande sin necesidad de que las lentes de la cámara tengan un diámetro excesivo, al contrario de lo que ocurre en el montaje clásico, en donde la cámara hay que situarla a mayor distancia de la red dispersora para evitar interceptar el haz incidente proveniente del colimador.

*c)* En dispersión cruzada con gran campo, las dimensiones necesarias de la red secundaria son menores que en el montaje sin espejo colector.

*d)* A pesar de la pérdida de luz que lleva consigo una nueva superficie reflectora, los espectrógrafos con espejo colector son más luminosos por utilizar toda la luz proveniente del espejo principal del telescopio y emplear la red en las mejores condiciones de rendimiento luminoso.

Damos a continuación una descripción de las partes principales del espectrógrafo.

## 2. REDES INTERCAMBIABLES

En la primera torrecilla portarredes va montado un espejo plano de 12 centímetros de diámetro y dos redes "échelle" de 128 × 256 milímetros de superficie rayada.

Una de las redes, de 79 trazos/mm y ángulo de intensificación de 63°,433, se utiliza para el dominio espectral de 3.400 a 6.700 Å; la otra red tiene 52,61 trazos/mm y ángulo de intensificación de 65° y permite registrar el espectro entre 5.000 y 9.000 Å.

Rotaciones de 1/3 de vuelta de la torrecida portarredes, introduce en el camino de los rayos una u otra de las redes mencionadas para trabajar en dispersión cruzada o el espejo plano cuando se va a utilizar la dispersión sencilla, debiendo en este caso girarse 90° el conjunto de cabeza del espectrógrafo que contiene la rendija, a fin de que la dispersión sobre la placa sea siempre en el mismo sentido.


Diputación de Almería — Biblioteca. Espectógrafo «Coudé» del telescopio de 1'5 metros, El., p. 4

La segunda torrecilla portarredes contiene tres redes "échelettes" de 600, 1.200 y 1.800 trazos/mm, con ángulos de intensificación ("blaze") de 8°,633, 17°,47 y 26°,75, respectivamente, que dan un máximo de concentración energética alrededor de los 5.000 Å. La superficie rayada es de 120 × 140 mm para cada una de las redes. El número de trazos por milímetro se ha elegido para permitir una separación conveniente entre órdenes, que varía entre 2 milímetros en 3.400 Å y 6 milímetros en 9.000 Å; con estas separaciones se puede intercalar fácilmente el espectro de comparación.

La incidencia sobre las redes principales es siempre fija (e igual al ángulo de "blaze"), mientras que en las redes secundarias puede variarse la incidencia en un margen de 20° y medirse con una precisión de diez minutos de arco. Como la orientación del portarredes puede también variarse, el ángulo de incidencia sobre las redes puede oscilar entre límites más amplios que los 20° citados. Al cambiar el ángulo de incidencia, cambia también el dominio espectral registrado. La separación angular entre los rayos incidentes y emergentes está fijada por construcción en 50°.

## 3. CAMARA ESPECTROGRAFICA

Consta de un sistema corrector de aberraciones compuesto por dos lentes, un espejo que desvía lateralmente el haz y lo hace incidir sobre un espejo esférico cóncavo, el cual concentra el haz al otro lado del espejo plano, pasando a través del hueco central de éste. Finalmente, una lente plano-convexa transforma el campo en plano, dando una imagen del espectro sobre la placa fotográfica. Esta puede ser sustituida por un tubo de imagen. (Actualmente se dispone de un tubo de imagen Varo de 40 milímetros y una sola etapa de amplificación.)

La abertura relativa de la cámara es F/1,6 y su distancia focal es de 24 centímetros. Tiene un campo plano de ± 3°,39 × 3°,09, que corresponde a un campo útil sobre la placa de 28 × 26 milímetros. La longitud total registrable de un espectro es de unos 35 milímetros. Como el chasis tiene las dimensiones de 45 × 60 milímetros, las placas que se utilicen deben cortarse a las dimensiones 44 × 59 milímetros.

Suponiendo el grano de la placa de 20 micras, la abertura óptima de la rendija es de 240 micras, que corresponde a 1″,3 en el cielo. Por lo tanto, para un "seeing" de 1″,3 se obtiene un producto rendimiento × resolución del orden de 33.000. Si el "seeing" es de 2″,5, el producto anterior desciende a 20.000 con la misma abertura de rendija.



Diputación de Almería — Biblioteca. Espectógrafo «Coudé» del telescopio de 1'5 metros, El., p. 5

## 4. ELECCION DE LAS REDES

La fórmula de las redes es:

$$n\lambda = \sigma\,(\text{sen}\,\alpha + \text{sen}\,\beta) \qquad [1]$$

siendo $n$ el orden de interferencia, $\alpha$ el ángulo de incidencia de los rayos sobre la red, $\beta$ el ángulo de difracción y $\sigma$ la constante de la red, o separación entre escalones, cuyo valor es

$$\sigma = \frac{10^7}{t}$$

en donde $t$ representa el número de trazos por milímetro de la red y $10^7$ es un factor de conversión para que $\lambda$ en [1] quede expresado en angstrons.

De [1] se obtiene:

$$\frac{\partial\beta}{\partial\lambda} = \frac{n}{\sigma\cos\beta}$$

que da el valor de la dispersión de la red en radianes/Å. Para una cámara de distancia focal $f$, de la fórmula anterior se deduce la dispersión lineal en Å/mm

$$\frac{\partial\lambda}{\partial x} = f\frac{\partial\lambda}{\partial\beta} = \frac{\sigma\cos\beta}{nf} \qquad [2]$$

Para las redes "échelle" trabajando en autocolimación

$$\alpha = \beta = \varphi \qquad \text{(ángulo de "blaze")}$$

con lo que [1] se convierte en

$$n\lambda = 2\,\sigma\,\text{sen}\,\varphi \qquad [1']$$

y [2] en

$$\frac{\partial\lambda}{\partial x} = \frac{\sigma\cos\varphi}{nf} \qquad [2']$$

eliminando $n$ entre [1′] y [2′] obtenemos:

$$\frac{\partial\lambda}{\partial x} = \frac{\lambda}{2f\,\text{tg}\,\varphi} \qquad [3']$$



Diputación de Almería — Biblioteca. Espectógrafo «Coudé» del telescopio de 1'5 metros, El., p. 6

que particularizada para las redes de 79 y 52 trazos/mm da

$$\frac{\partial\lambda}{\partial x} = \frac{\lambda}{960} \quad \text{para la red de 79 trazos/mm}$$

y

$$\frac{\partial\lambda}{\partial x} = \frac{\lambda}{1029} \quad \text{para la red de 52 trazos/mm}$$

Como puede observarse en las anteriores fórmulas, al ser el ángulo de "blaze" de las dos redes casi el mismo, la dispersión depende casi exclusivamente de la longitud de onda, como puede comprobarse, por otra parte, en la tabla siguiente:

| λ en Å | Dispersión en Å/mm | |
|---|---|---|
| | Red 79 tr/mm | Red 52,61 tr/mm |
| 3.500 | 3,6 | — |
| 4.000 | 4,2 | — |
| 4.500 | 4,7 | — |
| 5.000 | 5,2 | 4,9 |
| 5.500 | 5,7 | 5,3 |
| 6.000 | 6,2 | 5,8 |
| 6.500 | 6,8 | 6,3 |
| 7.000 | 7,3 | 6,8 |
| 7.500 | — | 7,3 |
| 8.000 | — | 7,8 |
| 8.500 | — | 8,3 |
| 9.000 | — | 8,7 |

Veamos ahora la razón que ha presidido la elección del número de trazos/mm de las redes "échelle".

Cuando una red trabaja en el orden $n$, el intervalo espectral libre es $\lambda/n$. La red cruzada separa los diversos órdenes. Para que no existan intervalos de longitud de onda del espectro sin registrar en la placa es necesario que ésta tenga dimensiones suficientes para que se registre por lo menos un intervalo espectral libre. Las dimensiones útiles de la placa, y por lo tanto del espectro, vienen determinadas a su vez por la abertura relativa y distancia focal de la cámara.

Un intervalo espectral libre ocupa en la placa una longitud de

$$\frac{\lambda}{n} : \frac{\partial\lambda}{\partial x} = \frac{\lambda}{n} : \frac{\sigma \cos\varphi}{nf} = \frac{f\lambda}{\sigma \cos\varphi}$$



Diputación de Almería — Biblioteca. Espectógrafo «Coudé» del telescopio de 1'5 metros, El., p. 7

que no ha de ser superior a los 28 milímetros útiles de placa; por lo tanto,

$$t = \frac{10^7}{\sigma} \leq \frac{28 \cos \varphi \times 10^7}{f\lambda} \qquad t \leq \frac{528525}{\lambda}$$

Para $\lambda = 6.700$ Å la fórmula anterior nos dice que la red ha de tener un número de trazos por milímetro alrededor de 79; en cambio, para 9.000 Å, $t$ ha de ser menor que 59 trazos/mm. De ahí la elección de las redes comerciales de 79 y 52,61 trazos/mm. La primera se empleará para el dominio espectral 3.400 - 6.700 Å y la segunda para la región 5.000 a 9.000 Å. De este modo, en los 28 milímetros de la placa siempre habrá entre uno y dos intervalos espectrales libres. Si permitiéramos incluir tres intervalos espectrales libres podríamos utilizar únicamente la red de 52,61 trazos/mm.

Las redes "échelettes" trabajan en nuestro espectrógrafo con un ángulo total de desviación de 50°. Las fórmulas adecuadas para el cálculo con estas redes son las generales [1] y [2] con $n = 1$ por trabajar en el primer orden y además $\beta = \alpha + 50°$, o sea,

$$\lambda = 2\,\sigma \cos 25° \operatorname{sen} (\alpha + 25°) \qquad [3]$$

en donde $\alpha$ lo consideramos negativo cuando los rayos incidentes y difractados están a distinto lado de la normal a la red.

La dispersión lineal correspondiente es

$$\frac{\partial \lambda}{\partial x} = \frac{\sigma \cos (\alpha + 50°)}{f} \qquad [4]$$

y la separación entre órdenes en la placa será, pues,

$$\frac{\lambda}{n} : \frac{\partial \lambda}{\partial x} = \frac{\lambda f}{n\,\sigma \cos (\alpha + 50°)} \qquad [5]$$

Vemos, por la fórmula anterior, que la separación entre órdenes para cada intervalo espectral depende fundamentalmente de $\sigma$, es decir, del número de trazos de la red. Por ello se han elegido redes con 600, 1.200 y 1.800 trazos/mm para obtener separaciones de 2 a 6 milímetros entre órdenes.

Los ángulos de "blaze" de las redes se eligieron de tal modo que la intensificación máxima corresponda a la longitud de onda de 5.000 Å.



Diputación de Almería — Biblioteca. Espectógrafo «Coudé» del telescopio de 1'5 metros, El., p. 8

## 5. COMBINACIONES DE REDES Y REGIONES ESPECTRALES REGISTRADAS

### 5.1. Red "échelle" de 79 trazos/mm
Rango espectral 3.400-6.700 Å

#### 5.1.1. *Red "échelette" de 1.800 trazos/mm*

| Angulo de incidencia | Dominio espectral | Ordenes registradas | Separación entre órdenes centrales |
|---|---|---|---|
| —4° | 3378 - 3826 | 67 a 59 | 3,7 mm |
| —2° | 3712 - 4144 | 61 a 54 | 4,5 mm |
| 0° | 4041 - 4456 | 56 a 51 | 5,5 mm |

Dispersión lineal de 4 a 5 Å/mm.

#### 5.1.2. *Red "échelette" de 1.200 trazos/mm*

| Angulo de incidencia | Dominio espectral | Ordenes registradas | Separación entre órdenes centrales |
|---|---|---|---|
| —8° | 4047 - 4767 | 56 a 47 | 3,4 mm |
| —6°,5 | 4432 - 5134 | 51 a 44 | 4,1 mm |

Dispersión lineal de 5 a 6 Å/mm.

#### 5.1.3. *Red "échelette" de 600 trazos/mm*

| Angulo de incidencia | Dominio espectral | Ordenes registradas | Separación entre órdenes centrales |
|---|---|---|---|
| —15° | 4437 - 6023 | 51 a 37 | 2,1 mm |
| —13° | 5491 - 7037 | 41 a 32 | 3,2 mm |

Dispersión lineal de 5 a 8 Å/mm.

El dominio espectral útil, para la incidencia de —13° hay que limitarlo a 6.700 Å, como ya se dijo al considerar las redes "échelle". De hecho, la parte de 6.700 a 7.037 Å no se registraría más que parcialmente. Sería preferible utilizar la incidencia con un ángulo de —14°.



Diputación de Almería — Biblioteca. Espectógrafo «Coudé» del telescopio de 1'5 metros, El., p. 9

## 5.2. Red "échelle" de 52,61 trazos/mm
## Rango espectral 5.000-9.000 Å

### 5.2.1. *Red "échelette" de 1.200 trazos/mm*

| Angulo de incidencia | Dominio espectral | Ordenes registradas | Separación entre órdenes centrales |
|---|---|---|---|
| —4° | 5067 - 5739 | 67 a 59 | 3,6 mm |
| —1°,5 | 5692 - 6333 | 60 a 54 | 4,7 mm |
| —0° | 6062 - 6684 | 56 a 51 | 5,4 mm |

Dispersión lineal de 6 a 7 Å/mm.

### 5.2.2. *Red "échelette" de 600 trozos/mm*

| Angulo de incidencia | Dominio espectral | Ordenes registradas | Separación entre órdenes centrales |
|---|---|---|---|
| —11° | 6498 - 8080 | 52 a 42 | 2,8 mm |
| — 8°,5 | 7797 - 9322 | 44 a 36 | 4,1 mm |

Dispersión lineal de 7 a 9 Å/mm.

Además de las combinaciones indicadas pueden utilizarse otras que permitan obtener menor número de órdenes sobre la placa, pero con mayor separación entre ellos, o bien registrar un número mayor de órdenes más concentrados.

## 5.3. Dispersión simple

La dispersión simple se logra intercalando el espejo plano de la primera torreta portarredes y utilizando las redes "échelettes" como redes principales de difracción. La cabeza del espectrógrafo hay que girarla 90°.

A partir de las fórmulas generales de las redes se obtienen los siguientes valores para el dominio espectral registrado y la dispersión, en función del ángulo de incidencia sobre la red.



Diputación de Almería — Biblioteca. Espectógrafo «Coudé» del telescopio de 1'5 metros, El., p. 10

5.3.1. *Red de 1.800 trazos/mm*

| Angulo de incidencia | Dominio espectral | Dispersión |
|---|---|---|
| — 4° | 3378 - 3826 | 16 Å/mm |
| — 1°,5 | 3795 - 4222 | 16 " |
| + 1° | 4204 - 4610 | 15 " |
| + 3°,5 | 4605 - 4989 | 14 " |
| + 5°,5 | 4920 - 5286 | 13 " |
| + 7°,5 | 5229 - 5576 | 12 " |
| + 9°,5 | 5532 - 5859 | 12 " |
| + 11°,5 | 5828 - 6136 | 11 " |
| + 13°,5 | 6116 - 6404 | 9 " |
| + 15°,5 | 6398 - 6665 | 9 " |
| + 17° | 6603 - 6856 | 8 " |
| + 18°,5 | 6805 - 7041 | 8 " |
| + 20° | 7001 - 7222 | 7 " |

5.3.2. *Red de 1.200 trazos/mm*

| Angulo de incidencia | Dominio espectral | Dispersión |
|---|---|---|
| — 10°,5 | 3400 - 4146 | 27 Å/mm |
| — 8° | 4047 - 4766 | 27 " |
| — 5°,5 | 4687 - 5377 | 25 " |
| — 4° | 5067 - 5739 | 24 " |
| — 1°,5 | 5692 - 6333 | 23 " |
| + 1° | 6306 - 6915 | 22 " |
| + 3°,5 | 6907 - 7483 | 21 " |
| + 5°,5 | 7380 - 7929 | 20 " |
| + 7°,5 | 7843 - 8364 | 19 " |
| + 9°,5 | 8298 - 8788 | 17 " |
| + 11°,5 | 8742 - 9204 | 16 " |

5.3.3. *Red de 600 trazos/mm*

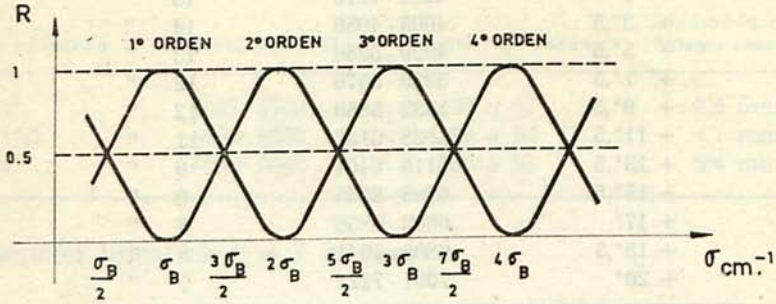
| Angulo de incidencia | Dominio espectral | Dispersión |
|---|---|---|
| — 17° | 3377 - 5001 | 59 Å/mm |
| — 14° | 4965 - 6531 | 56 " |
| — 11°,5 | 6277 - 7792 | 54 " |
| — 9° | 7578 - 9039 | 52 " |

El rendimiento luminoso relativo de una red se deduce de la figura, en donde $\sigma_B = 1/\lambda_B$ es la frecuencia en $cm^{-1}$ correspondiente



Diputación de Almería — Biblioteca. Espectógrafo «Coudé» del telescopio de 1'5 metros, El., p. 11

a la longitud de onda de "blaze" (5.000 Å para las tres redes). Basta llevar en el eje de las $\sigma$ los valores de $\sigma_0 = 1/\lambda_0$, $\sigma_1 = 1/\lambda_1$ y $\sigma_2 = 1/\lambda_2$ correspondientes a la longitud de onda central y a las dos extremas para obtener el rendimiento relativo. Para todo el intervalo espectral de 3.000 a 9.000 Å, el rendimiento es superior al 50 por 100 y se acerca




al máximo, como es natural. en la región espectral próxima a 5.000 Å.

Si se trata de redes "échelle" el rendimiento luminoso en cada orden $n$ se reduce al 50 por 100 para las longitudes correspondientes a los órdenes $n - 1/2$ y $n + 1/2$.

## 6. CABEZA DEL ESPECTROGRAFO

En la parte anterior del espectrógrafo van situados aquellos elementos orientables que pueden girar alrededor del eje polar. Al pasar de la dispersión cruzada a la dispersión simple hay que girar 90° todo el conjunto a fin de que la rendija quede paralela a los trazos de la red que se utiliza. En la cabeza van situados los siguientes elementos:

6.1. Lente colectora de borosilicato de 5 centímetros de diámetro, aproximadamente. Tiene por misión conjugar la pupila de salida del telescopio con la pupila de entrada del espectrógrafo.

6.2. Rendija de entrada construida en acero inoxidable, pulida ópticamente y aluminizada. La superficie reflectante está inclinada 15° respecto al eje del haz incidente, de manera que pueda observarse el campo a ambos lados de la abertura de la rendija mediante un visor constituido por un objetivo formado por dos dobletes y ocular, estando inclinado el conjunto 30° respecto al eje del haz. El visor va provisto de un hilo de retículo desplazable que se orienta paralelo a la abertura de la rendija y sirve para el guiado del telescopio. Hay dos oculares intercambiables de 12 y 25 milímetros de focal para cambiar el aumento y la luminosidad deseada.



Diputación de Almería — Biblioteca. Espectógrafo «Coudé» del telescopio de 1'5 metros, El., p. 12

La rendija va provista de un obturador y tiene una altura de 30 milímetros y una abertura máxima de 2 milímetros. La abertura puede graduarse con un tambor giratorio con divisiones de 10 en 10 micras, siendo 200 micras el valor correspondiente a un giro completo del tambor. El cilindro del tambor lleva graduaciones correspondientes a cada media revolución del tambor. Como ya hemos indicado en otro lugar, una abertura de 240 micras corresponde a un ángulo en el cielo de 1″,3.

6.3. Un taparrendijas que está constituido por dos prismas móviles que se desplazan en sentido contrario con respecto al centro de la rendija. El desplazamiento se manda con un tornillo micrométrico provisto de tambor graduado de 0 a 22 que indica la altura de la rendija que queda libre para el espectro estelar.

Cada prisma ilumina la rendija con la luz procedente de las fuentes patrón en una altura de 2,5 milímetros. Esto permite obtener el espectro de comparación a uno y otro lado del espectro estelar.

6.4. Fuentes espectrales constituidas por lámparas espectrales y un arco de hierro. Las lámparas espectrales proyectan su luz, a través de un sistema condensador constituido por dos lentes esférico-parabólicas de sílice fundida, en el interior de una pequeña esfera integrante de Ulbricht, de donde emerge a través de un pequeño orificio de unos 5 milímetros de diámetro.

Mediante un objetivo constituido por una lente esférico-parabólica se proyecta la imagen de este orificio sobre la pupila de entrada del espectrógrafo, iluminando al mismo tiempo la parte superior e inferior de la rendija con los prismas situados en el taparrendijas. Diafragmas variables pueden intercalarse en el trayecto de la luz para alargar el tiempo de exposición.

Sólo puede llegar tensión a las lámparas espectrales o al arco de hierro cuando el selector de diafragmas del fotomultiplicador del contador de fotones está en la posición $\infty$, con lo cual se evita que el fotomultiplicador pudiera estropearse al recibir una intensidad luminosa demasiado grande.

6.5. Para ensanchar el espectro se utiliza una lámina oscilante plano-paralela de vidrio cuyo movimiento oscilatorio es producido por un motorreductor con leva acoplada a un sistema biela-manivela. Este sistema es regulable, variándose de esta forma el desplazamiento de la imagen a lo largo de la rendija.

DIPUTACIÓN DE ALMERÍA BIBLIOTECA



Diputación de Almería — Biblioteca. Espectógrafo «Coudé» del telescopio de 1'5 metros, El., p. 13

## 7. CUERPO CENTRAL DEL ESPECTROGRAFO

Además del espejo esférico colector y de las redes, en el cuerpo central del espectrógrafo están situados los siguientes elementos:

7.1. Espejo plano para desviar en 90°, aproximadamente, el haz procedente de la rendija en dirección al colimador del espectrógrafo.

7.2. Objetivo colimador, de 146 centímetros de diámetro útil y 2,887 metros de distancia focal. Está formado por cinco lentes pegadas ("crown", "flint fluorina", sílice fundida y "crown") y es apocromático entre 3.400 y 9.000 Å, estando corregido de aberración esférica y coma. Proyecta la rendija paralelamente sobre la red "échelle", situada a 20 centímetros del colimador, y es atravesado de nuevo por el espectro producido por dicha red. Unido a este objetivo hay un pequeño prisma que desvía una parte del haz y lo dirige hacia el fotomultiplicador del contador de fotones.

## 8. INSTRUMENTOS ACCESORIOS

### 8.1. Contador de fotones

Controla el tiempo de exposición, midiendo el flujo luminoso por contaje de fotones.

Está constituido por un fotomultiplicador de 14 etapas de amplificación, seguido por un amplificador de tensión cuya ganancia se regula para que la tensión de salida sea de 1 voltio para una intensidad luminosa normal.

La salida del amplificador de tensión ataca a un convertidor tensión-frecuencia, haciendo corresponder 100 Hz a 1 voltio. Para tensiones de entrada de 10 milivoltios a 10 voltios, la frecuencia de salida varía linealmente dentro de $3 \times 10^{-4}$. Un divisor de frecuencia divide ésta por 1.024 y la muestra en un contador electromecánico de seis décadas. En este contador se selecciona previamente el tiempo de exposición deseado, el cual va disminuyendo a medida que se va realizando el contaje. Cuando el contenido del contador llega a cero, se establece un contacto que puede utilizarse para hacer sonar un timbre que indique que la exposición debe suspenderse.

El amplificador de tensión citado anteriormente ataca también a un amplificador logarítmico que mueve la aguja de un voltímetro. Este, en lugar de estar graduado en voltaje indica directamente la frecuencia del contador en la gama de $10^{-3}$ a 10 golpes/segundo. El objeto de este voltímetro es poder elegir la densidad del filtro que hay que intercalar delante del fotomultiplicador.



Diputación de Almería — Biblioteca. Espectógrafo «Coudé» del telescopio de 1'5 metros, El., p. 14

Antes de poner en marcha el contador de fotones hay que cuidar que el fotomultiplicador, durante varias horas, no haya estado expuesto a la luz. El selector de densidad del fotomultiplicador debe estar en la posición $\infty$ que impide la llegada de luz al fotocátodo. Se conecta entonces la tensión al fotomultiplicador, que es alrededor de 1.800 voltios. La corriente de oscuridad hace que la aguja del voltímetro se mueva y oscile; cuando ésta permanezca fija en un valor mínimo se ha logrado estabilizar el fotomultiplicador. Es conveniente dar tensiones más bajas al fotomultiplicador e ir aumentándolas poco a poco, cuidando siempre de que la corriente de oscuridad baje a un valor despreciable. En todo caso no debe sobrepasarse la tensión de 2.000 voltios.

Una vez estabilizada la corriente de oscuridad del fotomultiplicador se abre el obturador de la rendija para que pase la luz de la estrella y el selector de filtros de densidad se pasa a la posición siguiente que es la 4 o a las sucesivas 3, 2, 1, 0, que dejan pasar cada una diez veces más luz que la anterior. Se deja el selector de densidad en la posición que dé un contaje de $\simeq 1$ por segundo.

En el contador de preselección se pone el número conveniente a la exposición que se desea y se comienza ésta. Los números de preselección deben calibrarse de acuerdo con los resultados de la experiencia.

## 8.2. Rotador de campo

Al mantener una estrella en la abertura fija de la rendija, el campo estelar gira a medida que el telescopio sigue a la estrella. Igualmente, la atmósfera da un espectro de la estrella que es vertical y por lo tanto no permanece paralelo a la rendija, lo que puede motivar una disminución de la cantidad de luz estelar que atraviesa la rendija, y lo que es todavía más importante, esta disminución de luz se produce preferentemente en ciertas partes del espectro estelar.

El rotador de campo, situado delante del conjunto de rendija, permite anular la rotación del campo o bien mantener el espectro atmosférico paralelo a la rendija del espectrógrafo.

A tal fin se dispone un sistema servo que en el telescopio está constituido por tres transmisores Precilec. Dos de ellos son transmisores diferenciales arrastrados mediante un tren de engranajes por el movimiento de declinación y el movimiento horario; combinados ambos, se tiene la información sobre el movimiento del telescopio y, por lo tanto, de la rotación del campo. El tercer transmisor Precilec tiene su eje paralelo al eje óptico del telescopio y va provisto de un péndulo colocado en su eje; de esta manera se obtiene una información continua de la posición del plano vertical que contiene al eje óptico del telescopio.



Diputación de Almería — Biblioteca. Espectógrafo «Coudé» del telescopio de 1'5 metros, El., p. 15

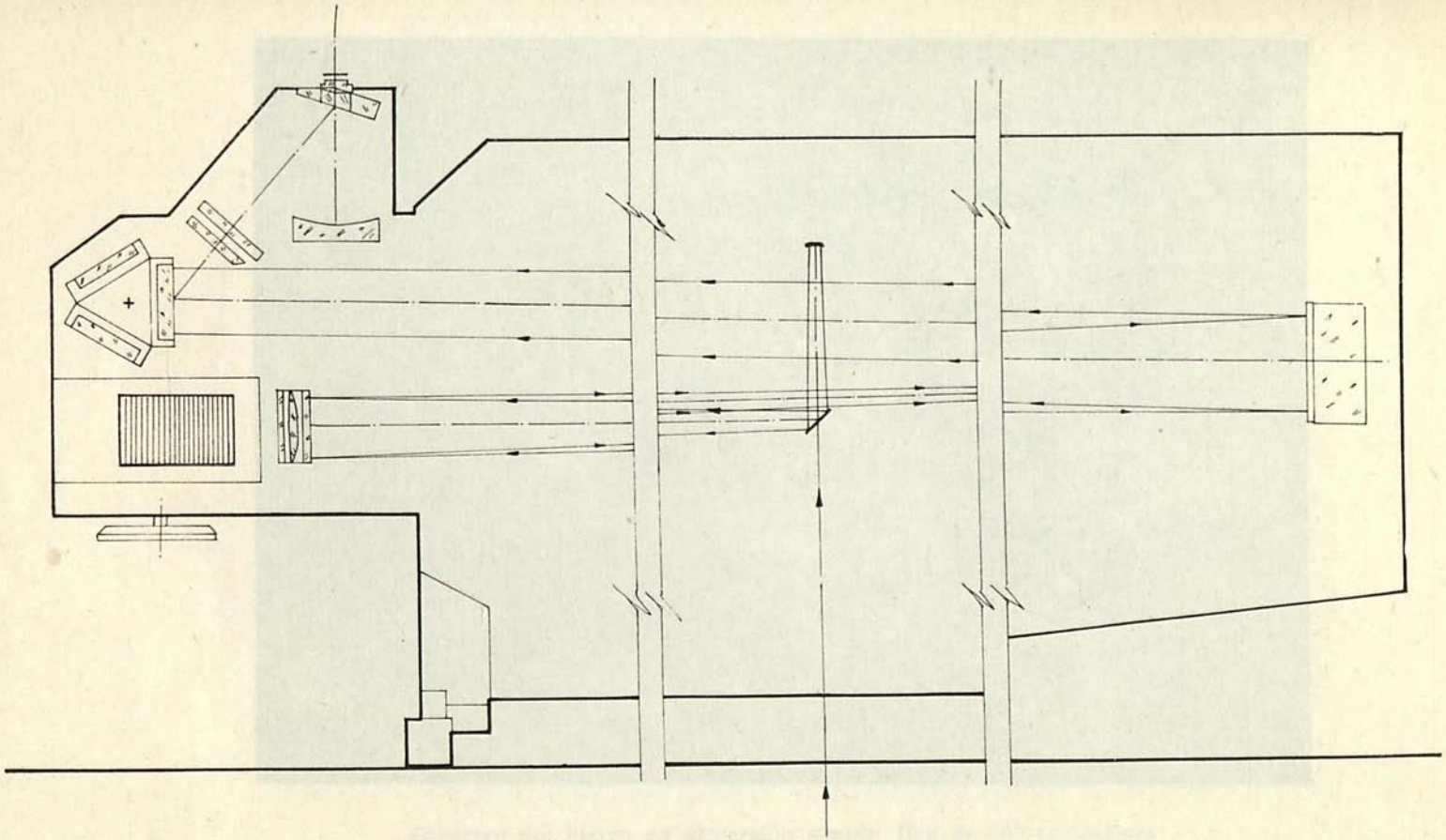
La información eléctrica de los transmisores acciona un servoreceptor situado en el rotador de campo, constituido por un motorreductor que da una revolución cada veinticuatro horas y que arrastra un transmisor Precilec por medio de una junta de fricción.

Dos teclas, 1C y 2C, situadas en el rotador de campo permiten seleccionar el sistema servo correspondiente a la rotación de campo o al espectro atmosférico, respectivamente.

El sistema óptico del rotador de campo lo forman dos prismas, tallados en sílice fundida, con caras de entrada de sección cuadrada de 50 milímetros de lado. Las caras reflejantes están tratadas con plata protegida, de tal manera que tengan una buena reflexión a partir de 3.200 Å. El conjunto de los prismas actúa como un prisma de Wollaston y su movimiento está mandado por motorreductores con trenes de engranaje.

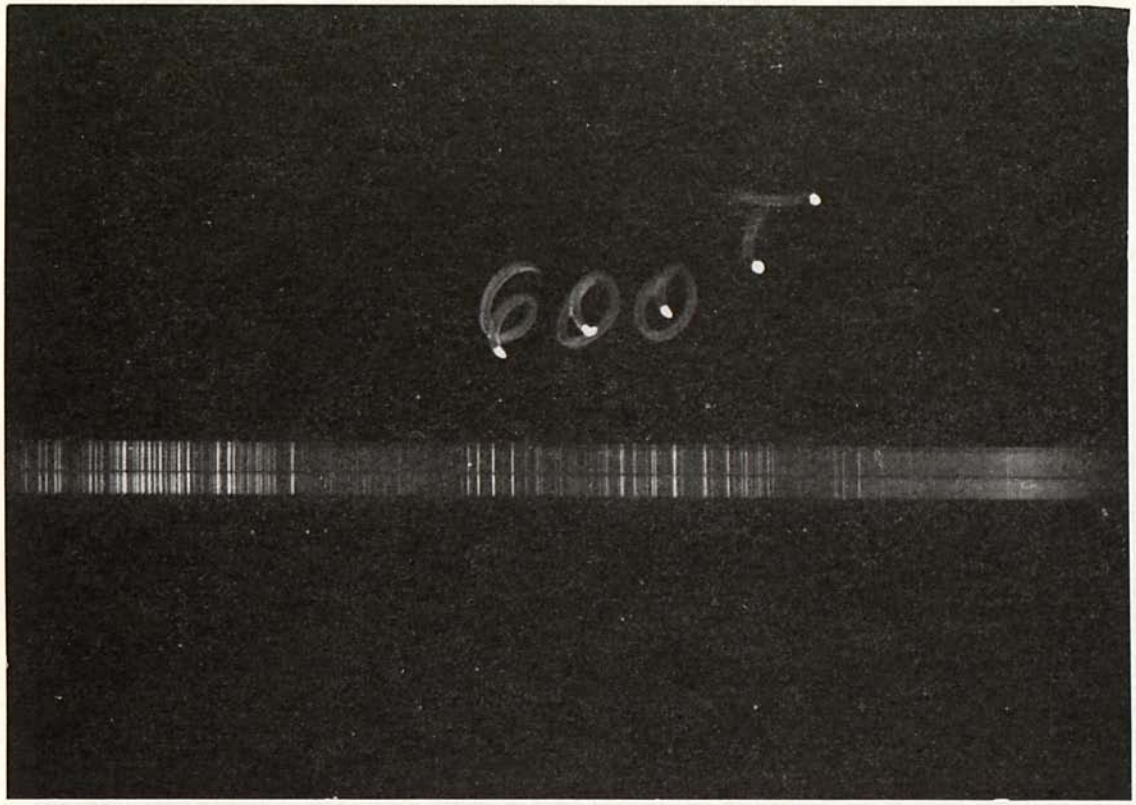


Diputación de Almería — Biblioteca. Espectógrafo «Coudé» del telescopio de 1'5 metros, El., p. 16



Espectrógrafo para el foco acodado del telescopio de 1,5 m

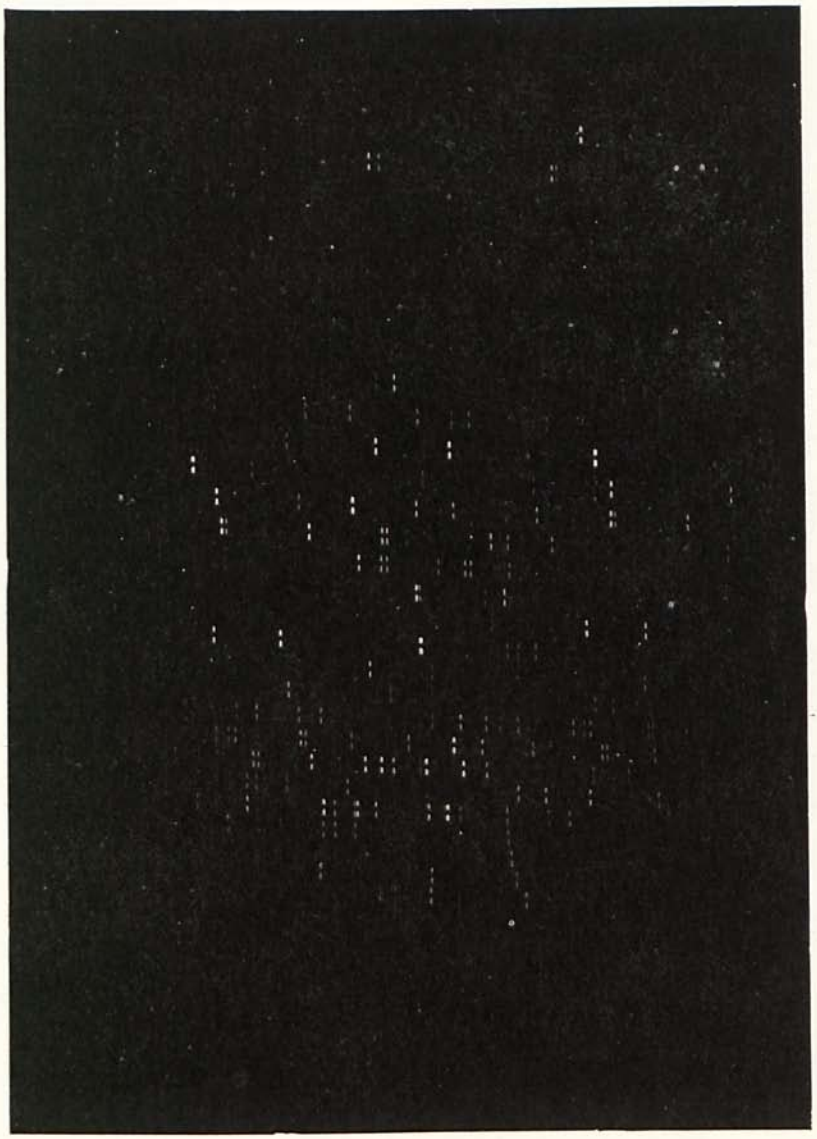
Diputación de Almería — Biblioteca. Espectógrafo «Coudé» del telescopio de 1'5 metros, El., p. 17




Espectro del hierro en dispersión simple. Red de 600 trazos/mm



Diputación de Almería — Biblioteca. Espectógrafo «Coudé» del telescopio de 1'5 metros, El., p. 18



Espectro del hierro en dispersión cruzada



Diputación de Almería — Biblioteca. Espectógrafo «Coudé» del telescopio de 1'5 metros, El., p. 19