

MIGUEL CATALÁN SAÑUDO



# ESPECTROQUÍMICA DEL MAGNESIO

NUEVAS LÍNEAS EN SU ESPECTRO  
Y EN EL DE LA PLATA



1917

ZARAGOZA

ARTES GRÁFICAS, G. CASAÑAL, COSO, 98

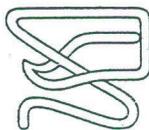
*Al Ateneo de Madrid*  
*El autor*

# Espectroquímica del Magnesio

NUEVAS LÍNEAS EN SU ESPECTRO  
Y EN EL DE LA PLATA

POR

Miguel Catalán Sañudo



ZARAGOZA

Tipografía de G. Casañal, Coso, 98

1917

## INTRODUCCIÓN

---

Los estudios de espectrografía que se han hecho en una infinidad de cuerpos y en las más diversas formas de excitación, han suministrado un caudal enorme de conocimientos interesantísimos para caracterizar los cuerpos y relacionar unos con otros, sobre todo bajo el punto de vista, tan interesante, de la constitución atómica.

La bibliografía que a cada elemento corresponde, es verdaderamente abrumadora; trabajos de todas clases hechos por los autores más eminentes, se suceden en unos y otros cuerpos. Pero la tarea investigadora ha sido grandemente facilitada por la obra de H. Kaiser, Profesor de la Universidad de Bonn (Alemania), titulada «Handbuch der Spectroscopie», en la cual se resumen concienzudamente todos los trabajos que a cada elemento se refieren; se hace una crítica de ellos y por último, se detallan en cuadros todas las medidas más importantes de las longitudes de onda de millares de millares de rayas. En la misma obra se tratan magistralmente todos los puntos teóricos y prácticos en el estado actual de esta ciencia y ella permite, rápidamente, hacerse cargo de la materia que se va a estudiar. Esta obra ha sido el eje de guía que me ha servido en mis investigaciones.

Como su bibliografía en la mayoría de los elementos llega hasta 1909, fácil ha sido el buscar la de estos últimos años, sobre todo teniendo en cuenta, que debido a las anormales circunstancias en que el mundo entero se

# INTRODUCCIÓN

---

Los estudios de espectrografía que se han hecho en una infinidad de cuerpos y en las más diversas formas de excitación, han suministrado un caudal enorme de conocimientos interesantísimos para caracterizar los cuerpos y relacionar unos con otros, sobre todo bajo el punto de vista, tan interesante, de la constitución atómica.

La bibliografía que a cada elemento corresponde, es verdaderamente abrumadora; trabajos de todas clases hechos por los autores más eminentes, se suceden en unos y otros cuerpos. Pero la tarea investigadora ha sido grandemente facilitada por la obra de H. Kaiser, Profesor de la Universidad de Bonn (Alemania), titulada «Handbuch der Spectroscopie», en la cual se resumen concienzudamente todos los trabajos que a cada elemento se refieren; se hace una crítica de ellos y por último, se detallan en cuadros todas las medidas más importantes de las longitudes de onda de millares de millares de rayas. En la misma obra se tratan magistralmente todos los puntos teóricos y prácticos en el estado actual de esta ciencia y ella permite, rápidamente, hacerse cargo de la materia que se va a estudiar. Esta obra ha sido el eje de guía que me ha servido en mis investigaciones.

Como su bibliografía en la mayoría de los elementos llega hasta 1909, fácil ha sido el buscar la de estos últimos años, sobre todo teniendo en cuenta, que debido a las anormales circunstancias en que el mundo entero se

halla, el número de investigadores que trabajan, se ha reducido considerablemente.

A primera vista el hallazgo de esa copiosa literatura, abruma de tal modo, que parece imposible poder encontrar *algo nuevo* que estudiar, en caminos al parecer tan trillados; sin embargo, cuando ya se han leído muchos trabajos de diversos autores, sobre parecidos asuntos, y se ve la dificultad tan grande que hay para unir unos con otros, ya que la más pequeña variación en las condiciones de producción de los espectros trae consigo un gran número de variaciones en su aspecto, comienza a comprenderse que el camino que queda por recorrer es inmenso; que faltan muchos hombres que por un trabajo intenso llenen las grandes lagunas que quedan entre las numerosas memorias publicadas, para que así pueda leerse de un modo claro el libro abierto que nos presenta hoy la espectrografía, y que apenas si sabemos deletrearlo.

Cualquier estudio, por pequeño que sea, aunque a primera vista parezca de interés mediocre, creemos debe ser publicado para que otro investigador, de más inteligencia o de más suerte, venza las dificultades que al primero se le hayan presentado y una todos esos resultados dispersos en uno grande y verdaderamente transcendental.

Por eso yo que he laborado con gran constancia, durante algún tiempo, presento aquí el modesto fruto de mi trabajo, en la seguridad de que él, en sí, no significa nada, pero contribuye algo al conocimiento de nuevos problemas.



## I

La primera parte de mi trabajo se refiere al espectro del magnesio, por lo cual voy a comenzar haciendo resumen histórico cronológico de los principales trabajos que una porción de investigadores han publicado y que los han llevado a cabo por muy diferentes métodos.

Miller <sup>(1)</sup> ha sido el primer espectrocopista que operando con llama de alcohol y empleando cloruro magnésico, logró ver unas bandas verdes muy débiles que parecían caracterizar al magnesio. Kirchoff <sup>(2)</sup> obtuvo una luz, cuyo espectro se componía de tres líneas verdes, haciendo saltar una chispa entre electrodos de metal y estudiando el espectro del sol encontró estas líneas y dos más que atribuía al magnesio. Miller <sup>(3)</sup> obtiene la primer fotografía ultravioleta de esas líneas de chispa. Mitscherlich <sup>(4)</sup> obtuvo por vez primera las bandas verdes del magnesio en las llamas oxidantes, empleando cloruro de magnesio y magnesio en cinta.

Lecoq de Boisbaudran <sup>(5)</sup> obtiene el espectro de chispa de una disolución de cloruro y publica dibujos de él. Lockyer <sup>(6)</sup> vaporiza substancias en la llama y luego hace saltar en ese vapor la chispa eléctrica; con cinta de magnesio y llama de hidrógeno obtiene una línea  $5210 \lambda$  que la une a las tan conocidas con la denominación de  $b_1$  y  $b_2$  y supone la existencia de un grupo  $b$  formado por esas tres líneas, error debido a no haber encontrado la línea  $b_3$ . En chispa la línea  $\lambda 5210$  desaparece mientras que aparece  $b_3$  muy fuerte y Lockyer piensa que el primer triplete se ha transformado en el segundo por la temperatura. Liveing y Dewar <sup>(7)</sup>, que han efectuado muchas investigaciones en este elemento, comienzan estudiando la inversión de las

líneas mediante los vapores metálicos, siguiendo a ello una buena determinación de la línea 5210; luego en la llama del magnesio aparecen el llamado grupo *b*, el 3.º de la 2.ª serie secundaria y el 4.º de la primera serie secundaria; además un triplete difuso, próximo al 373, acompañado de una serie de bandas; el arco les da un gran número de líneas en la región ultravioleta<sup>(8 y 9)</sup>; en la chispa encuentran las líneas nuevas 4481 y 5486. Como resumen de sus trabajos dan una comparación de los espectros de llama, chispa y arco y gráficas de los mismos.

Después<sup>(10)</sup> dan cuenta de haber encontrado en el arco y mediante una larga exposición, el triplete difuso próximo a 3730. En memorias posteriores encuentran regularidades en el espectro del magnesio<sup>(11)</sup> constituídas por una serie de tripletes alternativamente difusos y netos y cuya anchura crece con la longitud de onda. H. Bequerrel<sup>(12 y 16)</sup>, en dos memorias, ha dado a conocer sus medidas sobre la región infra-roja empleando placas fosforescentes.

Hartley y Adeney<sup>(14)</sup>, empleando disoluciones y la descarga en el vacío, obtienen tres líneas nuevas  $\lambda$  3071, 3050 y 3045. Hartley<sup>(15)</sup> solo da las siguientes líneas como obtenidas en disoluciones haciendo saltar una chispa. 4481, *IN*4, *IN*5, 2935, 2928, 2852, 2802, 2798, 2795, 2790, *IIN*6.

Los tripletes desaparecen al aumentar la disolución; las líneas 2935 y 2790 son todavía visibles a la concentración  $1 \times 10^{-4}$ .

Eder<sup>(17)</sup> publica una fotografía de una banda verde en la llama.

Liveing y Dewar en dos trabajos<sup>(13 y 18)</sup> dan a conocer los resultados obtenidos con gas oxhídrico y magnesio en polvo, encontrando el triplete tercero de la segunda serie secundaria y añaden que todas las líneas de la chispa se obtienen en el arco cuando se hace saltar entre dos electrodos de magnesio; descubren bandas en el ultravioleta y describen el triplete difuso 3730, 3724, 3720, que

está constituido por líneas sencillas, al cual denominan *tripleto de llama*.

Schumann<sup>(19)</sup> encontró líneas de magnesio en la región próxima a  $220 \mu\mu$ . Lockyer<sup>(20)</sup>, después de sus trabajos y los de Liveing y Dewar sobre la presencia o ausencia de ciertas líneas, afirmó que la presencia y desvanecimiento de las bandas verdes, atribuidas al óxido, era debido a una disociación térmica, contra lo cual Liveing y Dewar protestaron.

Kaiser y Runge<sup>(21)</sup> fotografiaron el espectro de arco y dieron a conocer la construcción regular de las dos series de tripletes intensos. Rowland<sup>(22 y 29)</sup> midió algunas líneas como patrones y más tarde, en el espectro del sol, las volvió a medir. Rydberg<sup>(23)</sup> encuentra, entre las series descritas por Kaiser y Runge, una nueva serie constituida por líneas sencillas. Hartley<sup>(24)</sup> encuentra 3852 y 2852 en llama a alta temperatura. Scheiner<sup>(26)</sup> aplicó la idea desarrollada por Lockyer<sup>(20)</sup> a la determinación de las temperaturas de emisión de los astros, para lo cual tenía en cuenta las líneas 4481 y 4352 y dijo que los astros de la clase I presentaban la línea 4481 muy intensa y ausente la 4352 y que en los de la clase III, sucedía todo lo contrario, llegando a la conclusión de que la temperatura en los astros del grupo I era de  $15.000^{\circ}$  y de  $3.000^{\circ}$  a  $4.000^{\circ}$ , en el grupo III.

Kheler<sup>(25)</sup> hace notar que en la constelación de Orión falta el grupo *b* y por tanto supone una temperatura de emisión todavía mayor. Lockyer<sup>(31)</sup> retiró más tarde sus primeras suposiciones. Un argumento en contra dan Hartman y Ebenhard<sup>(44)</sup>, puesto que encuentran que cuando el arco salta bajo agua la línea 4481 está presente y de igual intensidad que la 4352, y lo mismo ocurre cuando el arco se produce en una atmósfera de vapor de agua; es claro que aquí no puede haber un aumento de temperatura y por tanto todas las consecuencias sacadas de la presencia de esa línea no pueden servir.

Crew y Basquin<sup>(27)</sup> estudiaron el espectro del óxido em-

pleando un arco rotativo y vieron la banda verde cuyo borde midieron.

Demarçay <sup>(28)</sup> hizo trabajos en el ultravioleta operando en chispa y vió la intensidad dominante del triplete  $\lambda$  3838.

Thalen <sup>(30)</sup> publica una memoria sobre la determinación de las longitudes de onda. Lehmann <sup>(32)</sup> mide fotográficamente una porción de líneas en la región infra-roja.

Lockyer <sup>(31)</sup> estudia diferencias en los espectros.

Crew <sup>(33)</sup> en arco rotativo y también Basquin <sup>(36)</sup> por el mismo medio, operando en atmósfera de hidrógeno, encuentran que unas líneas aumentan en intensidad y otras disminuyen. Arous <sup>(34)</sup>, Porter <sup>(38)</sup> y King <sup>(40)</sup> investigan la influencia de la atmósfera que rodea al arco de magnesio. Porter encuentra algunas nuevas líneas que también son vistas por Fowler. Este mismo, en colaboración con Payn <sup>(42)</sup>, obtiene un arco que salta dentro de un globo en el que se ha hecho el vacío previamente y encuentra nuevas líneas.

Schenk <sup>(37)</sup> dice que al aumentar la autoinducción disminuye la intensidad de casi todas las rayas, pero especialmente la de la línea 4481 y por el contrario, muy poco, la del triplete 3838. Hartley y Ramage <sup>(39)</sup> obtienen el grupo *b*, 4571 y luego un fondo continuo en el espectro de llama. Exner y Harchek <sup>(39 bis)</sup> publican unas tablas con todas sus medidas en los espectros de chispa.

Crew <sup>(40 bis)</sup> en el arco rotativo observa que la línea 4481 es la más fuerte. Fowler <sup>(41)</sup> da a conocer nuevas series de líneas en el espectro del magnesio. King <sup>(43)</sup> observa que las series de Rydberg a presión reducida aparecen muy intensas y lo mismo 4481. Eginitis <sup>(46)</sup> estudia las variaciones debidas al enfriamiento de los polos en los espectros de chispa.

Los esposos Huggins <sup>(47)</sup> publicaron una fotografía en la cual la línea 4481 es variable en intensidad y grado de difusión con las variaciones de la chispa e hicieron notar que era mas afectada su intensidad por el aumento en la

rapidez de descarga que por el de la cantidad y tensión de la corriente. Crew <sup>(46)</sup> opina de igual modo y dice que la rápida variación de la f. e. m. condiciona la presencia de las líneas de la chispa en el arco.

Hemsalech <sup>(49)</sup> investigó el efecto de la autoinducción y señala como resultados que la línea 4481 a la cual da la intensidad ordinaria 100, se debilita rápidamente con la autoinducción y solo queda como dos puntos luminosos en los polos. La 4352 varía muy poco, de 5 a 4 y la primera del triplete 3838, desde 100 hasta 50.

Bolton idea un nuevo método de obtención de espectros consistente en hacer saltar una fuerte chispa a través de un electrolito y analizando la luz emitida por el catodo. Morse <sup>(50)</sup>, de modo semejante y empleando electrodos de Magnesio y ácido clorhídrico como electrolito y un interruptor Wehnelt, mide una porción de rayas nuevas y las bandas del óxido. King mezcla magnesio con carbonato, los somete al horno eléctrico y encuentra los tripletes 5183 y 3838 y además la línea de llama 4571 con una intensidad desproporcionada. Hagenbach y Könen presentan fotografías de arco y de chispa empleando autoinducción; Watleville, Crew y Spence estudian las variaciones debidas a la fase de la corriente. Humpheys y Mohler estudian el efecto de presión; Michelson, Reese, Preton, Runge y Paschen, Miller y Royds el efecto de Zeeman. Schuster y Hemsalech, fotografiaron el espectro del Magnesio en chispa mediante una película giratoria y sus resultados son muy interesantes; Schenk y Milner en estos últimos años han vuelto a hacer nuevos trabajos por ese procedimiento.

La acción de la autoinducción ha sido objeto de estudio por Hemsalech en varias memorias y últimamente por Egenitis; la estructura de las rayas del Magnesio la han observado Nutting y Janicki; la anormalidad de la dispersión en los gases Lunner y Pringsheim, Puccianti y Geisler.

Lewis hace introducir el vapor de magnesio en un tubo de rayos catódicos y ve la presencia del grupo *b*. Carlhein

y Gyllenskold observan la luminiscencia producida por los rayos catódicos y canales en las sales de magnesio y dicen que el cloruro da una luz verdosa azulada y presenta ligerísimamente el grupo *b*; el óxido produce efectos iguales.

Exner y Haschek<sup>(51)</sup> miden los espectros de arco en un gran número de elementos. Barnes<sup>(52)</sup> investiga el efecto de la f. e. m. y de la presión en la atmósfera que rodea al arco. Las líneas de arco son muy poco afectadas, por el contrario la 4481 de chispa lo es mucho; para una presión de 760 mm. en el aire y corriente de 6 amperios es invisible; para 3,5 amp. su intensidad es, comparada con una de arco, como 1 es a 20; para un amp. 10 es a 20 y para 0,5 amp. 15 es a 20; si es en atmósfera de hidrógeno y 1/2 atmósfera de presión sus intensidades son 5 y 10 para 3,5 amp.; 1,5 y 15 para 0,5 amp.; las restantes líneas disminuyen en intensidad al aumentar la corriente si se hace en hidrógeno. La línea 4481 aparece primeramente en el cátodo.

Wilsing encuentra, que cuando se emplea chispa que salta bajo el agua, esa línea se transforma en una ancha banda; Lockyer, por el contrario, presenta una fotografía en la cual muestra que esa línea en las mismas condiciones ha desaparecido. Finger obtiene dicha línea en la chispa bajo el agua, fuertemente difusa y muy ancha y también al contrario. King<sup>(53)</sup> operó en un horno eléctrico y encontró la línea 4571 desproporcionada en intensidad. La serie de Rydberg no le apareció y los términos más altos de las series de Kaiser y Runge lo hicieron muy intensamente. Loving<sup>(54)</sup> obtiene un arco en un vacío muy grande y establece las diferencias entre las intensidades de arco y de chispa. Hagenbach y Könen<sup>(55)</sup> obtienen la banda verde de óxido y dicen que para longitudes de onda más alta existen otras bandas. Olmsted<sup>(56)</sup> junto con los trabajos de Liveing y Dewar, muestra que los grupos ultravioletas en el espectro del óxido son unos desvanecidos hacia el rojo y otros hacia el violeta; Brooks<sup>(58 y 60)</sup> se ha ocupado del espectro del magnesio usando electrodos de ese metal;

en diversas atmósferas y variadas presiones forma una especie de arco y sus resultados son: que en oxígeno el grupo verde es muy intenso y extenso, las bandas comienzan por el rojo próximamente en  $\lambda$  6589; en la región del grupo b hay un grupo característico cuyas medidas concuerdan con las de Eder; sigue la línea más fuerte del grupo verde hacia 5007 y después un tercer grupo igualmente constituido que es visto por primera vez; sus bordes quedan entre 4826 y 4771, acaso sea 4730. Las bandas ultravioletas comienzan por 4100.

Saunders<sup>(57)</sup> encuentra algunas nuevas series en el espectro de arco. Hartmann<sup>(59)</sup> corrobora la variación de longitud de onda vista por Crew. Wood y Guthrie<sup>(61)</sup> se ocupan de la absorción en el ultravioleta por vapores de magnesio, especialmente en la línea  $\lambda$  2852. Hermann<sup>(62)</sup> por la fosforescencia y Paschen<sup>(63)</sup> bolométricamente, miden una porción de líneas en la región infra-roja y el último encuentra medio de hacer con algunas de ellas una serie principal. Handke<sup>(64)</sup> hace determinaciones con los rayos catódicos. Kayser<sup>(65)</sup> publica su obra «Handbuch der Spectroscopie», tomo V, en la cual trata ampliamente del magnesio.

Barnes<sup>(66)</sup> ha estudiado el espectro de arco del magnesio a presión reducida y dice que las líneas 2790,9, 2798,1, 2928,9, 2936,8 y 3107,1 le aparecen muy intensas; las cuatro primeras se conocían ya en la chispa como muy intensas. Los dos pares 4433,6-4428,2 y 4390-4385 llamados por Brooks F y P aparecen también muy fuertes y las bandas atribuidas al óxido y al hidruro aparecen cuando el arco salta en el aire a presión de algunos milímetros. En otra memoria posterior, el mismo Barnes<sup>(76)</sup>, estudia el espectro del vapor del magnesio en un horno eléctrico, encontrando que la línea 4481 aparece muy débil y a veces no se encuentra y las líneas más fuertes son 2852 y 4510, siendo muy notable la intensidad de 4571; y que las cabezas de bandas 5622, 5211 y 4845 aparecen en las placas con gran facilidad.

Lehman<sup>(67)</sup> ha medido de nuevo la región infra-roja desde 6324 hasta 15201. Ellen O'Connoir<sup>(68)</sup> estudia el espectro de alta frecuencia del magnesio, encontrando que las rayas de las series se estrechan y aumentan en intensidad y que por el contrario la 4481 y el grupo *b* quedan invariables, opinando él que la causa principal de ello es la densidad de corriente. Lyman<sup>(69)</sup> ha estudiado la región Schumann desde 1200 a 1900, en el vacío, y ha encontrado cinco líneas nuevas, dos de las cuales parecen ser líneas de diferencia constante en el número de vibraciones (o sean pares) análogos a los otros tres pares conocidos. King<sup>(70)</sup> emplea un «arc tub» para estudiar la relación entre los espectros de arco y chispa, entre 4640 y 3830, y desdobra la línea 4481 en dos de diferente intensidad.

Fowler y Reynolds<sup>(71)</sup> han hallado en el arco *en el vacío* algunos nuevos tripletes que añadir a las dos series secundarias y han rehecho el cálculo de las constantes de las fórmulas de estas series con sus nuevas líneas, empleando la fórmula de Hicks.

Fowler<sup>(72)</sup> encuentra nuevas líneas y series en el espectro de chispa.

Nüicksen<sup>(73)</sup> ha vuelto a medir gran parte del espectro de arco empleando polvo de magnesio y electrodos de carbón y el espectro de chispa empleando barras de metal. En la mayor parte de las líneas da la tercera cifra decimal en las longitudes de onda medidas en unidades Angström.

Wali-Nohommod<sup>(74)</sup> ha dedicado un trabajo al estudio de la estructura de algunas líneas, encontrando que unas eran simples y otras compuestas. Saunders<sup>(75 y 77)</sup> ha hecho preliminares investigaciones en la región de Schumann en el vacío y en el aire sin dar los resultados y más tarde, en otra memoria<sup>(79)</sup>, da a conocer la línea 2026,46 que corresponde a una serie de tipo igual a la principal, cuya otra línea es 2852 y la tercera es la 1828,06 que Lyman mide 1828,1.

Arthur King<sup>(78)</sup> estudia en el horno eléctrico las bandas del hidruro de magnesio, cuyas cabezas son 4844,9 5211,1

5621,6 y desvanecidas hacia el violeta; ha hecho variar la temperatura y la presión.

Hecho ya el resumen histórico de los trabajos que por diversos autores han sido llevados a cabo, voy ahora a mostrar la síntesis de cómo se han clasificado y ordenado las líneas encontradas o por lo menos buena parte de ellas, atendiendo a su aspecto, longitud de onda y modo de comportarse ante factores variables.

Kaiser y Runge (\*) dan a conocer en el espectro del magnesio las siguientes regularidades:

- 1.<sup>a</sup> Serie secundaria constituida por tripletes  
 2.<sup>a</sup> » » » » »

que también toman las denominaciones de Rydberg: serie nebulosa y serie neta respectivamente.

Las fórmulas que dan para el cálculo son:

$$10^{-8} \frac{I}{\lambda} = A - Bn^{-2} - Cn^{-4}$$

$$10^{-8} \frac{I}{\lambda} = A + v_1 - Bn^{-2} - Cn^{-4}$$

$$10^{-8} \frac{I}{\lambda} = A + v_1 + v_2 - Bn^{-2} - Cn^{-4}$$

cuyas constantes A, B y C han calculado a partir de tres términos conocidos y obtienen los siguientes valores:

$$10^8 \lambda^{-1} = 39796,10 - 130398 n^{-2} - 1432090 n^{-4}$$

$$v_1 = 40,69; \quad v_2 = 20,21$$

$$10^8 \lambda^{-1} = 39836,74 - 125471 n^{-2} - 518781 n^{-4}$$

$$v_1 = 41,21; \quad v_2 = 19,96$$

respectivamente para la primera y la segunda serie.

Paschen (\*\*) da a conocer la serie principal empleando para su cálculo la fórmula de Ritz

$$V = A - \frac{N}{[m + p_i + \pi_i (A - v)]^2}$$

(\*) Kaiser.—Espectroscopie.—Tomo II, página 534 (1902).

(\*\*) F. Paschen.—Ann. d. Physik 29, pág. 625 (1909).

en que los valores de las constantes son:

$$\left. \begin{aligned} A &= 20466,7 & P_1 &= -0,113815 \pi_1 \\ N &= 109675,0 & P_2 &= -0,114395 \pi_2 \\ & & P_3 &= -0,114669 \pi_3 \end{aligned} \right\} = -4,94804 \times 10^{-6}$$

siendo  $N$  una constante universal,  $A$  el límite de la serie y  $V$  la frecuencia al vacío de la línea, y obtiene los siguientes valores:

		$P_1 \pi_1$	$P_2 \pi_2$	$P_3 \pi_3$
$m = 2$	calculada	5688,48	5677,65	5672,56
	observada	5183,84	5172,87	5167,55
	Obs.—Cal.	= 504,64	— 504,78	— 505,01
$m = 3$	calc.	15024,3	15037,7	15043,8
	obs.	(15024,3)	(15032,7)	
			15028,3	
$m = 4$	calc.	7651,6	7652,9	7653,5
	obs.		7655,3	7657,9
$m = 5$	calc.	6315,6	6316,0	6316,2
	obs.		6315,6	
$m = 6$	calc.	5784,0	5784,3	5784,4
	obs.		5783,4	

Rydberg (\*) había encontrado una serie  $S$  cuya fórmula era:

$$10^8 \lambda^{-1} = a - b(m + \mu)^{-2} - c(m + \mu)^{-4}$$

Paschen propone la

$$v = A(m x), \text{ siendo } (m x) = \frac{109675,0}{\left[ m + X + \frac{x}{m} \right]^2}$$

y los valores de las constantes son:

$$A = 26612,7, \quad x = -0,65967; \quad x = 0,736052.$$

obteniendo valores muy concordantes.

(\*) J. Rydberg.—Wied Ann. 50, pág. 626 (1893)

Kaiser y Runge encuentran además tres pares con una diferencia  $2v_1$  y otros dos con una diferencia  $v_1$ . Estos pares son:

	$\lambda$	INTENSIDAD	$\frac{I}{\lambda}$	$\Delta v_1$
y	{ 2936,61	4	34052,87	91,51
1-		4	34144,38	
	{ 2802,80	9 r	35678,61	91,50
		9 r	35770,11	
6	{ 2798,07	4	35738,92	92,07
5		4	35830,99	
1	{ 2783,08	8 r	35931,41	40,58
8		9 r	35971,99	
	{ 2768,57	4 u R	36119,71	40,51
		4 u R	36160,22	

A estos pares hay que añadir los siguientes:

	{ 1753,6	3	57025	88
,2		2	57113	
	{ 1744,1	5	57336	89
,4		5	57425	
	{ 1737,8	2	57544	93
ra:		2	57637	

El segundo par ha sido encontrado por mi.

Además de todas esas regularidades se conocen otras que son series de líneas sencillas. Fowler (\*) observó que las líneas 4511,4, 4551,0, 4106,8 y 4018,3 pueden colocarse en una serie  $S$ , análoga a la de Rydberg que antes hemos descrito y con límite común a ambas series.

Ambas pueden expresarse por la fórmula

$$M = n_{\infty} - \frac{C}{(m + \mu)^2 - m_0}$$

(\*) Fowler.—Proc. Roy. Soc. 71, pág. 419 (1903).

Fowler calculó las longitudes de onda de dos líneas de esta serie que son 5065 y 6674,5. La primera es evidentemente la 5067, pero la segunda no ha sido observada.

Este mismo autor ha vuelto a encontrar dos nuevas series de líneas en la chispa en el vacío, constituídas cada una por cuatro líneas sencillas y que aparentemente convergen en igual sitio: las denominó  $E_1$  y  $E_2$ . También ha encontrado una serie  $E$  constituída por las líneas 5711,56, 4730,42, 4354,53.

Por último, Saunders (\*) ha encontrado en el espectro de chispa una serie formada por tres líneas 2852, 2026,48 y 1828,06, la última de las cuales solo aparece en el vacío.

El dibujo adjunto da una idea de todas las regularidades que se conocen en el magnesio siendo  $H$  la serie principal,  $IN$  y  $IIN$  la primera secundaria y la segunda secundaria respectivamente;  $S$  la serie de Rydberg;  $S'$  la de Fowler  $E$ ,  $E_1$  y  $E_2$  representan la serie principal, la primera serie secundaria y la segunda serie secundaria de Fowler, respectivamente.  $E_3$  representa la serie de Saunders. En la línea siguiente del dibujo figuran los pares y por último las rayas cuya regularidad hasta hoy es desconocida.



---

(\*) Saunders.—Astr. Phy J. 43, pág. 236 (1916).

s de  
nte-  
evas  
cada  
con-  
bién  
neas  
o de  
48 y  
acío.  
ades  
cipal,  
daria  
owler  
serie  
res-  
En la  
io las

$\frac{1}{\lambda}$	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	$\frac{1}{\lambda}$
$\lambda$	25	20	15	12	10	8	7000	6000	5000	4000	3000	2000	1500	1000	800	700	600	500	400	300	250	200	150	100	80	70	60	50	$\frac{1}{\lambda}$	
H																														
IN																														
IIN																														
S																														
S'																														
E																														
E <sub>1</sub>																														
E <sub>2</sub>																														
E <sub>3</sub>																														
Pares																														
Lineas no Clasificadas																														
$\lambda$	25	20	15	12	10	8	7000	6000	5000	4000	3000	2000	1500	1000	800	700	600	500	400	300	250	200	150	100	80	70	60	50	$\frac{1}{\lambda}$	
$\frac{1}{\lambda}$	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	$\frac{1}{\lambda}$

## II

Al emprender un trabajo con otros fines, encontré una porción de rayas nuevas y esto me llevó a estudiar con detalle la bibliografía que ha quedado descrita y de otra parte a estudiar esas rayas en particular.

Para esto empleé los materiales que a continuación siguen.

Como medio productor de la radiación objeto de estudio, empleé siempre el *arco eléctrico* saltando *en el aire* y a la *presión ordinaria*; solo rara vez lo hice en atmósfera de *anhidrido carbónico*.

La electricidad usada fué la industrial a 120 voltios; mediante una resistencia, enviaba una corriente de voltaje y amperaje conocidos. El soporte que sostenía los electrodos era de brazos horizontales móviles, independientemente uno de otro o ambos a la vez, mediante tres cremalleras; así conseguía colocarlos a una distancia fija y luego ponerlos a la altura deseada. Los electrodos han sido cilíndricos, de carbón, cobre o plata y los estudiaré más adelante.

He empleado un espectrómetro y un espectrógrafo, ambos de la casa Hilger, de Londres. El espectrómetro es muy conocido (\*), por lo cual no doy su descripción; solamente advertiré que el tambor graduado en longitudes de onda era enormemente erróneo, a veces hasta de doce unidades Ansgtröm; para poderlo emplear hubimos de corregirlo del modo siguiente: obtenía el espectro visible de una substancia conocida, y medía con el tambor todas las mejores líneas; comparadas esas longitudes de onda

---

(\*) B. Baly.—«Espectroscopy», página 122-191.

con las de las tablas, obtenía una serie de errores que llevaba en ordenadas en una escala exagerada, mientras en abscisas llevaba los valores correspondientes de las longitudes de onda; repetido esto para una serie de espectros de diversas sustancias obtuve una curva con muchos máximos y mínimos. A este aparato podía suprimirle el anteojo de observación y colocar en su lugar una cámara fotográfica.

El uso del espectrógrafo ya no es tan corriente y por ello me detendré algo más en su descripción. Para la mejor comprensión acompaño el esquema.

Esencialmente puede dividirse en las siguientes partes:

1.<sup>a</sup> Lente exterior; 2.<sup>a</sup> Colimador con la rendija; 3.<sup>a</sup> Soporte del prisma; 4.<sup>a</sup> Cámara fotográfica y 5.<sup>a</sup> Sistema óptico.

La lente exterior es cilíndrica, de cuarzo y sirve para dar una imagen real del foco luminoso sobre la rendija.

El colimador, en un extremo, lleva un tubo enchufado que es el portador de la rendija y en el otro extremo lleva un fuelle terminado en una lente de cuarzo móvil.

La rendija se gradúa mediante un tornillo micrométrico que permite apreciar 0,01 milímetro en su tambor. El paralelismo de ambas láminas de la rendija se logra con otro tornillo muy sensible y por observación a simple vista. Delante de la rendija se pueden colocar chapas de diversas formas que permiten cerrar todo el largo de la rendija y dejar solamente libre una pequeña porción y así en sucesivas fotografías superponer espectros.

La plataforma del prisma se compone de dos partes: una, que forma parte del soporte del aparato, puede girar 360 grados y sobre ella va colocada la otra que está fija sobre tornillos de nivel. Con el objeto de emplear dos prismas y obtener una mayor dispersión, hube de emplear un soporte accesorio, que también podía colocarse sobre la primera plataforma, pero que se componía de dos círculos que giran independientemente uno de otro y pro-

que lle-  
ntras en  
las lon-  
spectros  
muchos  
mirle el  
cámara

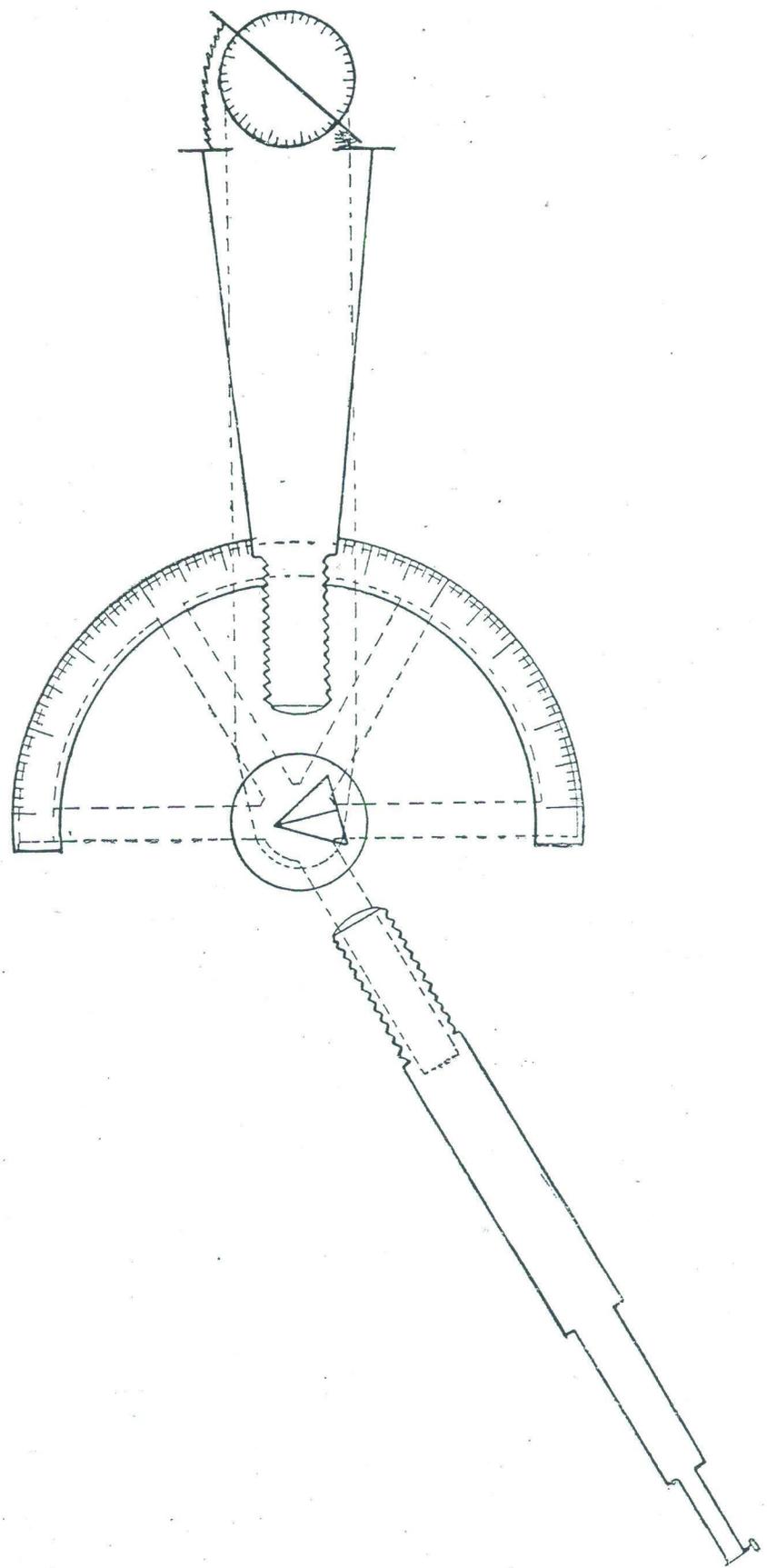
e y por  
Para la

s partes:  
; 3.<sup>a</sup> So-  
Sistema

rve para  
endija.  
enchu-  
otro ex-  
le cuarzo

micromé-  
i tambor.  
se logra  
a simple  
chapas de  
rgo de la  
ción y así

os partes:  
uede girar  
e está fija  
nplear dos  
e de em-  
colocarse  
nía de dos  
otro y pro-



vistos ambos de graduación; cada uno de ellos está destinado a sostener un prisma.

La cámara fotográfica lleva objetivo de cuarzo.

El fuelle posterior, muy ancho, lleva un soporte destinado a recibir el *chasis*. Ese soporte gira alrededor de su centro como eje vertical y una parte de ese soporte del *chasis*, también se desplaza de arriba-abajo y está provisto de escala graduada en milímetros. El conjunto de la cámara fotográfica gira sobre un enorme círculo graduado con objeto de buscar con la cámara la región que nos convenga.

El sistema óptico del espectrógrafo está constituido por las dos lentes del colimador y del objetivo y el prisma o prismas. Las lentes son idénticas, hechas de cuarzo, tallado perpendicularmente al eje óptico, plano-convexas y de 47 milímetros de diámetro; la parte convexa mira hacia dentro y para compensar la polarización, una es levogira y la otra dextrógira. El sistema dispersor está formado por dos prismas yuxtapuestos de 30 grados tallados, el uno, en un bloque de cuarzo levogiro y el otro, en un bloque de cuarzo dextrógira, de modo que en cada uno, una de las caras del ángulo diedro refringente sea perpendicular al eje óptico. Es de la forma ideada por Cornú, y así, en la posición de mínima desviación, los rayos atraviesan simétricamente el prisma según el eje óptico y se suprime la doble refracción y la polarización rotatoria. Cada uno de los dos prismas que hemos empleado tiene la estructura que hemos descrito.

Este modelo de espectrógrafo lo llama «arc spectrograph» la casa constructora.

El enfoque del aparato es algo complicado por el número de graduaciones que hay que hacer y por tratarse de la región ultravioleta que solo fotográficamente se hace posible observarla.

Las lentes no están corregidas de aberración cromática y por ello el espectro se forma siguiendo la diacústica que es muy curvada por la región visible y casi una recta por la región ultravioleta.

Para enfocar conviene usar el espectro del hierro porque como tiene numerosas rayas, permite saber muy bien qué región está netamente enfocada.

Yo he usado la técnica de Neculcea (\*) que Campo (\*\*) ha descrito ya alguna vez, para el enfoque de este aparato.

Para obtener la totalidad del espectro ultravioleta enfocado, se precisan en nuestro espectrógrafo tres posiciones de la cámara, correspondientes a tantas placas.

Al prisma conviene colocarle papel de estaño en sus caras, de modo que sólo deje libre una banda de un centímetro de ancho, para la entrada de los rayos, e igual para la salida, pues la práctica enseña que salen espectros mucho más enfocados.

Para el estudio de un espectrógrama he empleado diversos métodos, según el objeto a que estaba destinado. Cuando trataba simplemente de identificar las líneas de un espectrógrama, me bastaba obtener las longitudes de onda con errores, en más o en menos, de dos décimas de unidad Angström, que generalmente es lo bastante para identificar.

A este fin, el método empleado era el siguiente: el cliché o espectrógrama se proyecta, mediante un sencillo aparato de proyección, sobre un fondo blanco, en el cual se pinta claramente una imagen cuatro o cinco veces agrandada del original. Tenemos construídas unas escalas que colocamos sobre esa imagen y de modo que coincidan, rayas del hierro patrón, con sus correspondientes longitudes de onda en la graduación de la escala; así, el resto de las líneas del espectrógrama, cayendo sobre diversas partes de la escala, nos permite, rápidamente, la lectura de su longitud de onda, sólo con la precaución de colocar la ampliadora siempre a la misma distancia del fondo blanco.

Cuando lo que se trataba era de hacer la medida de la longitud de onda con la mayor exactitud posible, empleaba

(\*) E. Neculcea.—These, pág. 137, París, 1900.

(\*\*) A. Campo.—Ann. S. E. de F. y Q.

un *comparador*. Este, que ha sido construído en el Instituto del material científico, es un comparador corriente, pero es además inscriptor. Dicho aparato permite la apreciación de fracción de  $\frac{1}{1.000}$  de milímetro.

Descritos ya los aparatos empleados, se habrá podido ver que la técnica empleada ha sido siempre la llamada de *arco a la presión ordinaria*. Esta técnica (\*) está hoy muy en boga, porque es muy cómoda, permite el empleo de la substancia problema bajo una forma sólida cualquiera y por tanto evita las manipulaciones tan pesadas que el empleo de la chispa trae consigo.

Primeramente empleamos la técnica corriente que es poco más o menos la siguiente: Los dos electrodos son carbones cilíndricos macizos de seis milímetros de diámetro, colocados en el soporte, que ya hemos descrito, y verticalmente uno sobre otro. El inferior, que hará de polo positivo, está provisto de una pequeña cavidad de cuatro milímetros de profundidad por otros tantos de diámetro que está destinada a recibir la substancia objeto de estudio.

Las líneas nuevas, que hoy presento, las encontré empleando cloruro magnésico cristalizado, como substancia problema, arco eléctrico de electrodos de carbón, como agente excitador, exposición de 30 a 40 segundos y corriente de 6 a 8 amperios de intensidad.

Estas líneas se presentaban como unas rayas difusas, agrupadas en tripletes análogos a aquellos otros que el magnesio tiene en esa región y que continuaban las series espectrales conocidas. Primeramente estudié las condiciones necesarias para obtener las rayas nuevas lo más intensamente posible, averiguar su origen y además para determinar sus longitudes de onda lo más exactamente que pudiera.

Los factores que podían variar eran los siguientes:

(\*) A. del Campo.—Ann. d. Soc. E. de F. Q., Noviembre, 1909; Id. 13, página 98 (1916).

Duración de la exposición; intensidad de la corriente; diferencia de potencial en los electrodos; naturaleza de la sustancia empleada; naturaleza de los electrodos; atmósfera que rodea al arco.

Todos estos factores han sido estudiados de un modo sistemático que voy a detallar.

Sobre una misma placa hice sucesivas exposiciones del espectro de magnesio, variando, desde un segundo de duración, hasta dos minutos. La exposición que pareció más conveniente para una corriente de seis a diez amperios, era de 30 a 60 segundos.

Elegida la exposición de 45 segundos, hice variar la intensidad de corriente y dió por resultado lo siguiente: Al aumentar la intensidad desde 0,5 amperios hasta 15 amperios, las rayas nuevas, que al principio no aparecen, lo hacen desde tres a cuatro amperios y al aumentar la intensidad de corriente las líneas se van haciendo más intensas y mucho más difusas, de modo que de cada triplete, sale un ancho halo que llega a dificultar el ver claramente las líneas. De ahí que la intensidad de ocho a diez amperios parezca la mejor, pues da lo suficientemente intensas las rayas nuevas y todavía no muy difusas, como ocurre a 12 amperios.

La diferencia de potencial ha sido estudiada y parece que su influencia no afecta apenas a la intensidad de dichas rayas. Para variar el potencial, monté la resistencia del arco eléctrico de modo que los dos extremos de ella estaban unidos a los polos del enchufe y luego tomé la corriente de un extremo y del cursor.

El estudio de la influencia de la naturaleza de la sustancia y del material de que están constituidos los electrodos se ha hecho, por exigirlo así la técnica, de una sola vez.

Los electrodos que hemos usado, han sido los siguientes:

1.º, electrodos cilíndricos de *carbón*, de seis milímetros de diámetro; uno de ellos provisto de una cavidad de

cuatro milímetros de diámetro por otros tantos de profundidad; 2.º, electrodos cilíndricos de *cobre*, de nueve milímetros de diámetro y provistos de cavidad de seis milímetros de anchura por seis de profundidad, y por último, electrodos formados por dos gruesas barras de plata, de diez milímetros de diámetro, y provistos de cavidad de seis milímetros de anchura por otros tantos de profundidad. Estos electrodos de plata fueron hechos de gran diámetro para evitar que sufran una fusión, especialmente el electrodo superior; sin embargo advertiremos, que cuando la intensidad de corriente llegaba a 15 amperios y se sostenía así durante un minuto, era frecuente ver que el electrodo negativo, o sea el superior, dejaba caer una gota de plata fundida.

Los electrodos de *carbón* y de *cobre*, han sido usados repetidas veces en este Laboratorio y ya eran por mí conocidos. Era la primera vez que se usaban los de *plata*, y por eso determiné hacer su estudio con más cuidado. Hice una serie de fotografías en diversas condiciones y por proyección comencé a medir e identificar todas las rayas allí presentes.

Pero así como quedé sorprendido por la aparición de nuevos términos, en las series del magnesio, aquí, en las series constituídas por pares, en que la diferencia de frecuencias entre las dos líneas de un par es constante, también ví algunos nuevos términos que no aparecían en las tablas. Por ello, después de revisar toda la bibliografía que hasta el día se ha publicado sobre el espectro de la plata, medí las rayas con la exactitud posible. De estos resultados daré cuenta, con la debida extensión, más adelante.

Voy ahora a tratar de las sustancias empleadas; éstas, han sido: Magnesio en cinta o en polvo del más puro que encontré, óxido magnésico anhidro, cloruro magnésico cristalizado, de varias procedencias, oxiclорuro magnésico anhidro, sulfato magnésico cristalizado, carbonato magnésico y fosfato magnésico.

De cada una de estas sustancias obtuve espectrógra-

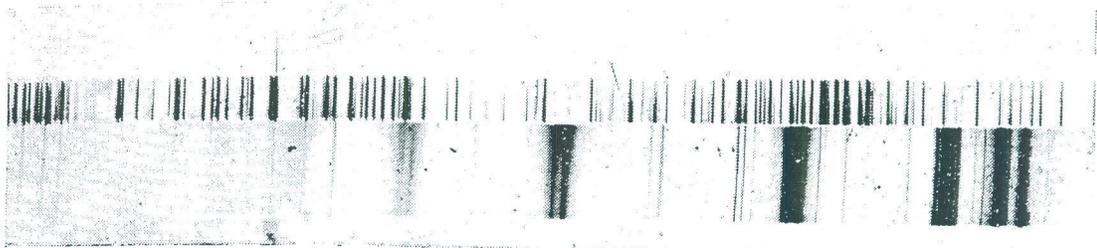
más en cada clase de electrodos y variando las condiciones, es decir, variando la intensidad de corriente, la exposición, la diferencia de potencial en los electrodos, la separación de éstos, etc.

Observé que de todos los espectrógramas quien daba más intensidad en las líneas del problema era el magnesio puro, fuera sobre electrodos de carbón, cobre o plata. Pero su intensidad aumentaba todavía por el siguiente método operatorio. En el cráter del electrodo, fuera de la clase que fuere, colocaba magnesio pulverizado y acercaba lentamente un electrodo al otro (puesto el positivo, como siempre, en la parte inferior); al ponerse en contacto se producía una llamarada al arder el magnesio y en ese momento, *rápidamente*, separaba los electrodos, produciéndose entonces una luz verde intensa. Pronto se apagaba el arco por sí solo y si no lo hacía lo efectuábamos nosotros. Después de frío el carbón, con una varita de *madera* (con objeto de no introducir impurezas) separaba del cráter todo el óxido que se había formado y repetía la carga con magnesio puro. Hacía nueva exposición por la misma técnica y la repetía de cuatro a cinco veces, con lo cual resultaba una exposición total de 45 segundos aproximadamente. De este modo es como los nuevos tripletes en el espectro del arco en el aire, salen más intensos.

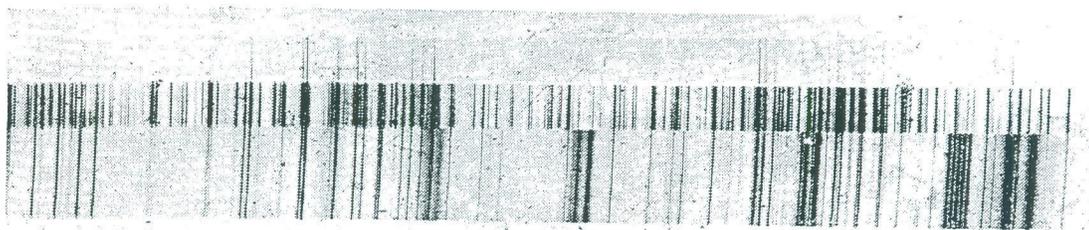
Si empleamos sales de magnesio, el resultado depende de los electrodos empleados. Si se ha obtenido el espectrógrama sobre *carbón*, resulta un espectro intenso, muy parecido al obtenido con magnesio metálico; por el contrario, si los electrodos que se emplean son de *cobre* o de *plata*, se obtienen las series espectrales mucho más débiles y los últimos términos desaparecen completamente, desaparición que se efectúa antes con plata que con cobre.

Los fenómenos más notables ocurren al emplear como substancia el óxido de magnesio. Si obtengo los espectros sobre electrodos de cobre, plata y carbón, las diferencias son enormes; si es en *carbón*, las series salen regularmen-

# ESPECTROS DE ARCO ELÉCTRICO



Magnesio sobre carbón.



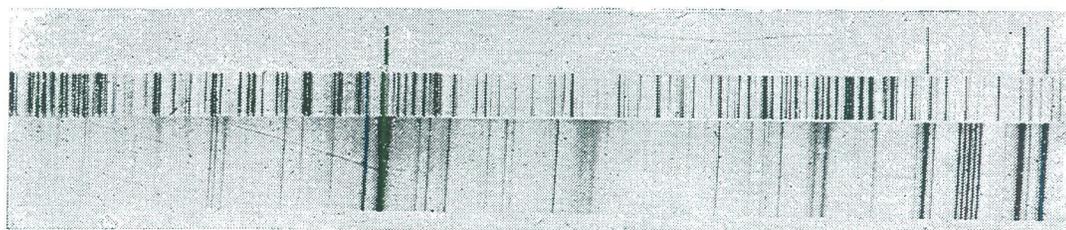
Óxido magnésico sobre carbón.



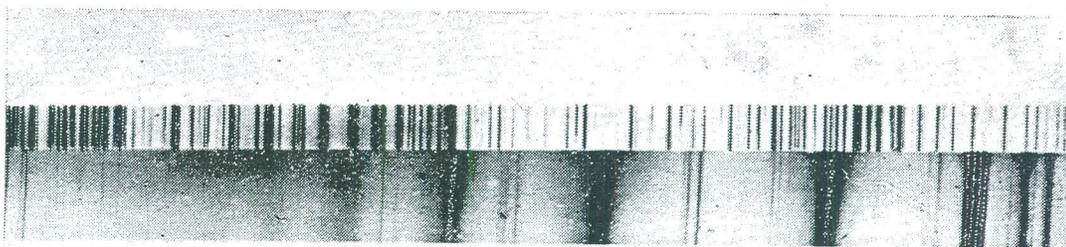
Magnesio sobre cobre.

(Clichés M. Catalán).

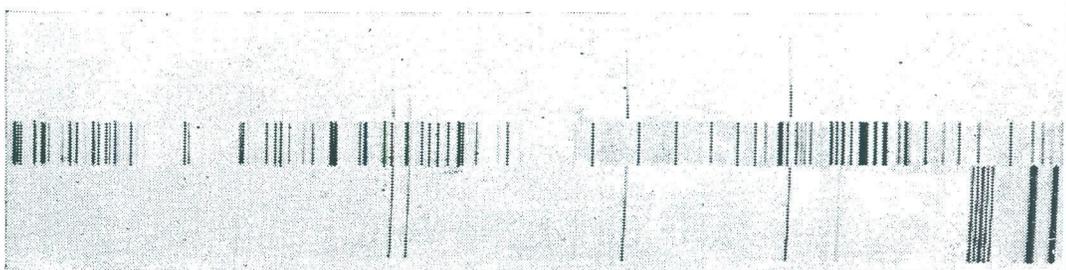
# ESPECTROS DE ARCO ELÉCTRICO



Óxido magnésico sobre cobre.



Magnesio sobre plata.



Óxido magnésico sobre plata.

TRICO

te intensas y solamente desaparecen los últimos tripletes; si es en *cobre*, la desaparición se efectúa antes, pero si es en *plata*, a pesar de conservarse intensísimas las líneas constituyentes de los dobletes, la serie de tripletes disminuye de un modo tan notable en su intensidad, que se pierde por completo a partir del triplete quinto o sea  $\lambda$  2736,84 — 2733,80 — 2732,35 en (*u. A.*) y debilitándose los anteriores de un modo considerable.

Elegidas ya las condiciones en que salen más intensas las líneas que trato de medir, hice unos espectrógramas dedicados a ese objeto, del siguiente modo: Fotografía del espectro del arco entre dos barras de hierro y por encima de él fotografía del espectro de los electrodos y por debajo fotografía del espectro de la substancia sobre esos mismos electrodos. Así las líneas del espectro de los electrodos no se tienen en cuenta en el de la substancia y el espectro del hierro sirve como escala para medir.

El método empleado para la medida de la longitud de onda ha sido el de interpolación simple y con el comparador que antes describí. Para ello enrasaba el retículo con el *centro* de una buena raya del hierro (a ser posible una línea *patrón*) y después, sucesivamente, con todas las líneas del problema, con las del hierro más aceptables para ser medidas, y por último, con una raya buena del hierro que no distara más de 20 unidades Angström de la primera enrasada.

La fórmula empleada fué

$$\frac{\lambda_1 - \lambda_x}{\lambda_1 - \lambda_n} = \frac{t_1 - t_x}{t_1 - t_n}$$

en que  $\lambda_1$  y  $\lambda_n$  representan las longitudes de onda (*u. A.*) de las dos rayas extremas del hierro, y  $t_1$   $t_n$  sus lecturas correspondientes de tornillo y  $t_x$  la que corresponde a la línea cuya  $\lambda_x$  se trata de calcular.

Las líneas intermedias del hierro, la media solamente con el objeto de saber los errores que se cometen; me resultaban diferencias de  $\pm 0,01$  a  $0,02$  en las buenas

líneas, comparados sus valores con los de Kaiser. Advierto que esa exactitud solo la obtuve después de repetidos ensayos.

He aquí la lista de las longitudes de onda de las líneas nuevas en unidades Angström. La segunda cifra decimal que va en algunas de las nuevas líneas, solo la pongo como media de valores obtenidos en las diferentes medidas y solo por seguir la costumbre de casi todos los autores.

LONGITUD DE ONDA	INTENSIDAD
2628,98	1 <i>Dr</i>
2617,61	2 <i>dr</i>
2614,77	1 <i>dr</i>
2606,81	3 <i>Dr</i>
2604,07	2 <i>Dr</i>
2602,66	1 <i>Dr</i>
2596,08	1 <i>d</i>
2593,32	1 <i>d</i>
2587,8	1 <i>D</i>
2585,2	1 <i>D</i>
2574	1 <i>D</i>
2571	1 <i>D</i>

Más arriba dejé anotado que estas rayas del espectro de arco del magnesio, parecían continuar las series subordinadas conocidas, y que, sobre todo, los términos de la serie 1.<sup>a</sup>, por ser nebulosos, eran los que más se distinguían.

Con el objeto de comprobar esta suposición, decidí hacer el cálculo teórico de dichas rayas y confrontar los resultados con las medidas por mí efectuadas.

Para ello empleé las constantes que da Kaiser (\*). Las fórmulas son:

1.<sup>a</sup> serie subordinada o serie nebulosa.

$$10^8 \lambda^{-1} = 39796,10 - 130398n^{-2} - 1432090n^{-4}$$

$$v_1 = 40,69; \quad v_2 = 20,21.$$

(\*) H. Kaiser.—Handbuch der Spectroscopie, tomo II, pág. 534.

2.<sup>a</sup> serie subordinada o serie neta.

$$10^8 \lambda^{-1} = 39836,74 - 125471 n^{-2} - 518781 n^{-4}$$

$$\nu_1 = 41,21; \quad \nu_2 = 19,96.$$

Los resultados aparecen en el cuadro adjunto. En la primera columna figuran los valores por mí medidos; en la segunda, los calculados por el método explicado. Las columnas encabezadas por una  $n$  indican el valor que se le ha dado a esa letra en la fórmula al hacer el cálculo, y, por consiguiente, el número del término en la serie correspondiente.

Las diferencias que figuran están obtenidas entre calculada y observada, es decir, longitud de onda calculada menos longitud de onda observada.

Se ve claramente que estas diferencias van aumentando de arriba hacia abajo, lo cual no tiene nada de particular. En efecto, las fórmulas empleadas no son exactas, sino solamente aproximadas. Las constantes han sido calculadas con las longitudes de ondas de tres líneas, correspondientes a tres términos de las series respectivas, pero de longitudes de onda relativamente elevadas, y claro está que al alejarse del punto desde donde se calcularon las constantes, el error tiene que ser mayor, pero conservándose del mismo orden para las tres líneas de un mismo triplete. Esto último también se ve en el cuadro.

En él también figuran una rectificación de intensidades y longitudes de onda de otras líneas ya conocidas en el espectro de arco en el aire del magnesio y que pertenecen a las dos series subordinadas. Mi intención al medirlas ha sido el creer que como su intensidad será bastante mayor que la obtenida por los anteriores experimentadores, su longitud de onda puede resultar algo más exacta.

Las longitudes de onda figuran en la primera columna del cuadro encima de las rayas nuevas. Las calculadas en la segunda columna. Las obtenidas por Kaiser y Runge en

la tercera. Las diferencias entre calculadas y observadas por mí, van en una columna, y las diferencias entre calculadas y observadas por Kaiser y Runge, en la siguiente.

Comparando unas diferencias con otras, se ve claramente que el orden de magnitud, dentro de cada triplete, se conserva mejor en las medidas por mí efectuadas que en las de Kaiser, cosa que no es de extrañar, pues ya dije que aquí las líneas en cuestión tienen que ser bastante más intensas que en los espectrogramas de otros autores.

Por último, voy a hacer notar lo difícil que resulta el hacer una clasificación de la intensidad de las rayas, ya que hemos visto de qué manera tan notable varía ésta, según la substancia empleada y la naturaleza del electrodo. Pero es fácil ver que hay una discordancia bastante grande en los valores de las intensidades de ambas series con los resultados obtenidos en mis espectrogramas y en los de Kaiser (22). En efecto, cualquiera que sea la substancia empleada y la naturaleza del electrodo, la relación de intensidades de ambas series parece conservarse. Pues bien, Kaiser atribuye a los tripletes séptimos igual intensidad  $2U$  y  $2u$ , aunque distinta difusión. Igual sucede con los tripletes octavos. Yo, tomando como tipo el espectro del magnesio sobre plata, ya que éste ha sido el más intenso, doy aproximadamente la intensidad en una columna del cuadro.

INTENSIDADES		DIFERENCIAS							
Catalán	Kaiser y Runge	Observadas	Calculadas	Observadas por Kaiser - Runge	Valor de $n$	1.ª serie subordinada	Valor de $n$	2.ª serie subordinada	Con los valores de Kaiser
6 dr	2 u	2698,33	2698,23	2698,34	»	»	7	+ 0,11	+ 0,11
4 dr	2 u	2695,33	2695,23	2695,43	»	»	7	+ 0,10	+ 0,20
2 dr	2 u	2693,89	2693,76	2693,86	»	»	7	+ 0,13	+ 0,10
10 Dr	1 u	2672,70	2673,01	2672,79	8	- 0,31	»	»	- 0,22
8 Dr	1 U	2669,85	2670,15	2669,73	8	- 0,30	»	»	- 0,42
4 Dr	1 U	2668,40	2668,71	2668,15	8	- 0,31	»	»	- 0,56
3 dr	1 U	2649,23	2648,93	2649,20	»	»	8	+ 0,30	+ 0,27
2 dr	1 U	2646,36	2646,04	2646,51	»	»	8	+ 0,32	+ 0,47
1 dr	1 U	2644,95	2644,65	2645,12	»	»	8	+ 0,30	+ 0,47
5 Dr	1 U	2633,17	2633,70	2633,03	9	- 0,53	»	»	- 0,67
4 Dr	1 U	2630,30	2630,33	2630,42	9	- 0,53	»	»	- 0,41
1 Dr	»	2628,98	2629,48	»	9	- 0,50	»	»	»
2 dr	»	2617,61	2617,10	»	»	»	»	»	»
1 dr	»	2614,77	2614,28	»	»	»	9	+ 0,51	»
3 Dr	»	2606,81	2607,52	»	»	»	9	+ 0,47	»
2 Dr	»	2604,07	2604,76	(2605,4)	10	- 0,71	»	»	»
1 Dr	»	2602,66	2603,39	»	10	- 0,69	»	»	»
1 d	»	2596,08	2603,39	»	10	- 0,73	»	»	»
1 d	»	2593,32	2603,39	»	»	»	»	»	»
1 D	»	2587,8	2592,51	»	»	»	10	+ 0,79	»
1 D	»	2585,2	2589,18	»	»	»	10	+ 0,81	»
1 D	»	2574	2586,46	»	11	- 1,38	»	»	»
1 D	»	2571	2575,8	»	11	- 1,26	»	»	»
1 D	»	2571	2573,1	»	12	- 2,00	»	»	»
	»			»	12	- 2,00	»	»	»

dr significa ligeramente difusa hacia el rojo.  
 Dr fuertemente difusa hacia el rojo.  
 u difusa.  
 U fuertemente difusa.

Como nuevo argumento para atribuir esas líneas a las dos series secundarias, podemos también compararlas con las que Fowler y Reynolds (\*) han obtenido, en el espectro de arco de vacío.

Aplicaron la fórmula de Hicks para el cálculo de la serie y compararon sus resultados con los obtenidos por Kaiser y Runge.

La fórmula de Hicks, es

$$n = n_{\infty} - \frac{109675}{\left[ m + \mu + \frac{\alpha}{m} + \frac{\beta}{m^2} \right]^2}$$

Fowler, para el cálculo de las cuatro constantes empleó cuatro líneas señaladas en los cuadros con asteriscos y obtuvo los siguientes valores

1.<sup>a</sup> serie secundaria

$$Dm = 39759,06 - \frac{109675}{\left[ m + 0,825371 + \frac{0,023416}{m} - \frac{0,036786}{m^2} \right]^2}$$

2.<sup>a</sup> serie secundaria

$$S_{(m)} = 39675,18 - \frac{109675}{\left[ m + 1,375125 - \frac{0,058307}{m} - \frac{0,002355}{m^2} \right]^2}$$

Comparados con los por nosotros obtenidos, son los siguientes:

(\*) Fowler y Reynolds, Proc., Roy. Soc. 89, pág. 137 (1913).

PRIMERA SERIE SECUNDARIA O SERIE DIFUSA

m	$\lambda$ de K. R.	$\lambda$ de Fowler R. (vacío)	$\lambda$ de Catalán	Frecuencia (F. R.)	O - C
1	»	»	»	6798 — 6356	
2	3838,44	»	»	26044,4 (K. R.)	0,0*
	32,46	»	»	085,1	
	29,51	»	»	105,2	
3	3097,06	3097,03	»	32278,8 (K. R.)	0,0*
	93,14	93,09	»	319,7	
	91,18	91,19	»	340,2	
	»	2851,76	»	35056,0	- 1,1
4	2848,53	2848,54	»	095,0	
	46,91	46,88	»	114,9	
5	2736,84	2736,63	»	36530,7	- 1,5
	33,80	33,64	»	570,7	
	32,35	32,16	»	590,5	
6	2672,90	2672,53	2672,70	37406,8	- 1,2
	69,84	69,66	69,85	447,0	
	68,26	68,24	68,40	467,0	
7	2633,13	2632,98	2633,17	37968,8	- 1,3
	30,52	30,14	30,30	38009,8	
	»	28,73	28,98	030,1	
8	2605,4	2606,73	2606,81	38351,0	- 1,3
	»	03,98	04,87	391,5	
	»	02,59	02,66	412,1	
9	»	2588,37	2587,8	38623,0	- 0,0
	»	85,63	85,2	664,0	
	»	84,32	»	683,6	
10	»	2575,02	2574	38823,4	- 0,4
	»	72,03	2571	863,8	
	»	70,96	»	884,7	
11	»	2565,00	»	38974,9	- 0,3
	»	62,30	»	39016,0	
	»	60,96	»	036,5	
12	»	2557,29	»	39092,5	- 0,1
	»	54,70	»	132,6	
13	»	2551,22	»	39185,4	- 0,0*
	»	48,56	»	226,2	
m	$\lambda$ Kaiser y Runge	$\lambda$ en vacío Fowler y Reynolds	$\lambda$ en aire Catalán	Frecuencia F. R.	O - C

O - C significa frecuencia observada menos frecuencia calculada.

SEGUNDA SERIE SECUNDARIA O SERIE NETA

m	$\lambda$ K. R. arco en aire	$\lambda$ Fow. R. arco en vacío	$\lambda$ Catalán arco en aire	Frecuencia (F. R.)	0 - C
1	5183,84	»	»	19285,0	0,0*
	72,87	»	»	325,9	
	67,55	»	»	345,8	
2	3336,83	»	»	29959,4	0,0*
	32,28	»	»	30000,3	
	30,08	»	»	020,1	
3	2942,41	»	»	33977,3	0,0
	3867,	»	»	34018,5	
	36,99	»	»	038,0	
4	2781,53	[2781,43]	»	[35942,3]	
	78,36	[78,27]	»	[983,2]	
	76,80	[70,27]	»	[36084,3]	
5	2698,44	2698,23	2698,33	37050,5	— 0,15
	95,53	95,28	95,33	091,1	
	93,97	93,85	93,89	110,8	
6	2649,30	2649,12	2649,23	37737,4	— 0,1
	46,61	46,27	46,36	778,0	
	45,22	44,88	44,95	797,9	
7	»	2617,57	1617,61	38192,4	— 0,0
	»	14,74	14,77	233,6	
8	»	2596,01	2596,08	38509,4	0,0*
	»	93,28	93,22	550,0	

Todas esas observaciones que han quedado apuntadas, nos llevaron a la pretensión de explicarlas lo mejor posible y por ello a continuación voy a dar la argumentación.

Las series se pueden atribuir al espectro del elemento magnesio y por tanto si las sales o el óxido dan a veces ese espectro, es debido a una reducción que deja el elemento libre. En efecto, hemos visto que el magnesio *siempre*, sea cualquiera la naturaleza de los electrodos empleados, produce un espectro en el que las series secundarias aparecen intensamente marcadas; además, también hemos visto, que las sales, y especialmente el cloruro magnésico, tienen una relativa facilidad para dar espectro análogo al del metal, sobre todo en aquellos casos en que el electrodo reacciona, a esa alta temperatura, con la substancia y la

reduce, así ocurre con el carbón, algo con el cobre y muy poco con la plata; y por último, el óxido magnésico, presenta una gran dificultad a dar intensamente espectro de series en aquellos casos en que el electrodo no lo reduce, lo que está de acuerdo con la fotografía del espectro del óxido de magnesio sobre electrodos de plata.

Todos estos hechos, según mi modo de ver, concuerdan con los que se han observado en los espectros de difracción de rayos X en estos últimos años.

Parece resultar de esos trabajos (\*) que los óxidos y las sales; en cuanto a la disposición del metal en la intimidad de la molécula, son completamente diferentes. En las sales cristalizadas se admite hoy la existencia de una ionización, es decir, que los átomos del metal ya se encuentran en forma de iones en el cristal y completamente separados de los restantes átomos que integran la molécula, y por el contrario, en los óxidos, el metal se halla ligado intimamente al oxígeno; la constitución del óxido es, pues, esencialmente distinta de la de la sal.

Las series subordinadas que, como sabemos, provienen de la vibración de cierta parte del átomo y que están relacionadas con una constante universal, parecen producidas por el metal que estando libre puede vibrar con facilidad. Por eso he logrado obtener esta vibración muy intensa, y nuevos tripletes han aparecido en el espectro de arco, saltando en el aire.

Las sales de magnesio podrán dar fácilmente el espectro del metal, puesto que éste se halla libre del resto de la molécula, y así en efecto sucede, pero menos intenso que el metal porque a alta temperatura se convierten en óxido muy pronto. Por el contrario el óxido, cuyo oxígeno está intimamente ligado al magnesio, no le deja vibrar libremente y, por tanto, producir la serie y solamente da ésta muy débil.

(\*) Blas Cabrera.—Estado actual de la teoría de los rayos X y  $\gamma$ ; su aplicación al estudio de la estructura de la materia. Laboratorio de investigaciones Físicas. Madrid 1915.

El espectro del óxido, según todos los autores citados, presenta una hermosa banda verde y que parece indudablemente pertenece a él.

Traté de investigar el efecto de los electrodos y de la substancia en la banda verde y para ello hice iguales experiencias a las anteriormente descritas.

Con objeto de obtener una dispersión suficiente con el espectrógrafo de cuarzo, lo monté con dos prismas y así en una placa ordinaria fotografiaba desde la región verde hasta la  $\lambda$  3000 en el ultravioleta. De todas las experiencias practicadas resulta que la banda verde del óxido aparece más intensa que nunca cuando empleamos magnesio y que lo hace muy débilmente cuando se emplea óxido de magnesio. Esto me llamó mucho la atención, puesto que todos los que han estudiado dicha banda, concuerdan en atribuirle al óxido. Hice una fotografía de magnesio pufo sobre electrodos de plata, empleando una rendija muy *larga* y separando mucho los polos del arco; en ella se ve claramente que la banda parte del polo positivo donde está el magnesio y se desvanece hasta la casi desaparición en el polo negativo.

La interpretación de estos resultados no es fácil, y por ello voy a dar una explicación sólo como una primera aproximación. Quien acaso produce la banda verde es el *vapor de óxido magnésico*, vapor que resulta fácilmente con la combustión del magnesio, pero muy difícilmente cuando empleamos óxido, por su poca volatilidad; y por ello en este caso el vapor de óxido se enfría desde el momento de producirse en el cráter positivo, asciende y al llegar al polo negativo ya no es vapor y por tanto no da el espectro de bandas.

Como consecuencia de todo lo que llevamos dicho se puede dar la siguiente explicación general:

Colocamos una substancia cualquiera en el cráter positivo y hacemos saltar el arco; entonces, cada partícula sólida, es reducida porque la alta temperatura lo favorece y por la mayor o menor influencia del material de que está formado el electrodo y de la atmósfera que rodea al

arco, y esa parte reducida es vapor metálico, que emite su radiación; si la substancia es ya metal cuando la colocamos en el cráter, el caso es bien sencillo, el espectro resultará lo más intenso; si la substancia es un compuesto, tanto más intenso saldrá el espectro del metal cuanto más fácilmente pueda emitir vapor metálico. Si debido a especiales condiciones no llega a reducirse, no dará espectro del metal o solamente aquellas líneas más intensas, porque siempre habrá, aunque sea una cantidad infinitamente pequeña, algo de substancia reducida. Si el compuesto llega a volatizarse sin descomponerse, un espectro de bandas aparecerá y lo mismo si el metal puesto en libertad lo es de un modo complejo, no al estado de átomos, sino de moléculas.

Con objeto de identificar todas las rayas conocidas en el espectro del magnesio, estudié detenidamente los espectrogramas que poseía.

Ya hace tiempo que se notó la presencia en los espectros de arco de multitud de líneas de la chispa, y en la historia de las investigaciones sobre el magnesio se han visto los variados trabajos que se han hecho y los referentes a la línea 4481.

De estos siempre ha resultado que solamente aparecería dicha línea, mediante el empleo de electrodos de magnesio metálico; pues bien, he podido apreciarla claramente como línea polar en todos mis espectrogramas, aunque con intensidad muy reducida. Igualmente, cierto número de líneas de la chispa están presentes en mis espectrogramas.

La región extrema ultravioleta, que ya es parcialmente absorbida por el aire y especialmente por la gelatina de las placas ordinarias, ha sido investigada mediante el empleo de placas *Schumann*, que tienen una capa de gelatina de un espesor muy reducido. La región investigada ha comprendido desde  $\lambda 2100$  hasta el  $\lambda 2500$ , sin haber encontrado ninguna línea, pues las que aparecen es casi seguro que pertenecen al hierro que como impureza acompaña a los electrodos y que tiene líneas muy intensas en esa región.

### III

Al hablar de los electrodos empleados advertimos que parecíanos encontrarnos en presencia de algunas líneas nuevas en el espectro de arco de la plata y por ello emprendimos el trabajo de obtenerlas lo más intensamente posible, para poder efectuar fácilmente su medida.

Recordaremos que los electrodos están formados por dos barras cilíndricas de plata pura, de diez mm. de diámetro; el objeto de un grueso tan considerable es el evitar que cuando la intensidad de corriente sea grande, los electrodos lleguen a calentarse tanto que el electrodo superior funda. Aun con este grueso, si la corriente es de diez a doce amperios y se hacen exposiciones sucesivas de un minuto de duración el electrodo superior funde parcialmente, dejando caer una gota sobre el inferior.

Hemos investigado el espectro de la plata desde  $\lambda$  5.200 hasta  $\lambda$  2.300 con placas ordinarias y desde  $\lambda$  2.300 hasta  $\lambda$  2.000 con placas Schumann, ya que la sensibilidad de estas en esa última región, proporciona facilidad de encontrar nuevas líneas cuando las placas ordinarias ya no dan nada en nuestro aparato.

Se han hecho las fotografías con una intensidad de corriente de diez a doce amperios; la exposición, para las placas ordinarias, era aproximadamente de un minuto y para las placas Schumann próximamente igual o algo más.

La montura del espectrógrafo la hemos hecho con dos prismas para la región primera, es decir, desde  $\lambda$  5.200 hasta  $\lambda$  2.300 y con un solo prisma, por no permitir el aparato enfocar con dos, para la región  $\lambda$  2.300 a  $\lambda$  2.000.

En nuestros espectrogramas aparecen de un modo claro la totalidad de las líneas que componen el espectro de arco,

En la banda verde han podido ser identificadas hasta ocho líneas que son las siguientes:

5007,44	10	Eder	R.
4996,85	8	Eder	R.
86,23	6	Eder	D.
74,81	4	Eder	D.
62,45	3	Eder	DD.
49,30	2	Eder	DD.
35,01	1	Eder	DD.
23,65	1	Eder	DD.

Y de los grupos de Brooks se ha entrevisto el 4826 y 4820. El triplete 3824,74 — 3821,34 — 3820,65 que pertenece al espectro de bandas y cuya intensidad es 7 — 8 — 10 aparece como una débil sombra.

---

tal como hasta hoy es conocido, pero afectadas de una mayor intensidad. Además, la gran mayoría de las líneas del espectro de chispa aparecen de un modo claro y seguro; también las de algunas impurezas, correspondiendo a rayas intensísimas de otros cuerpos, y por último, un gran número de líneas que no ha sido posible atribuirles a ningún elemento.

De estas, hay unas cuantas, que por su aspecto y posición, parecían pertenecer a las series espectrales conocidas en la plata y por ello he hecho un estudio más detenido de ellas dejando las restantes líneas, que hoy no podemos atribuir con seguridad, para un ulterior trabajo.

Consultada la bibliografía (que al final del capítulo va colocada) en ninguno de los trabajos figuran las líneas encontradas por nosotros, y por ello, voy a dar sus longitudes de onda y frecuencia al vacío, así como su intensidad y aspecto.

<u>FRECUENCIA AL VACÍO</u>	<u>LONG. DE ONDA</u>	<u>INTENSIDAD</u>
27867,4	3587,40	3
28075,3	3568,46	2
28396,8	3520,5	5 u
28502,4	3507,5	4 u
28664,2	3487,68	I
28924,9	3456,4	3 u
29107,4	3436,01	I
29284,4	3413,8	1 u
29317,7	3409,9	4 u
29844,4	3349,8	2 u

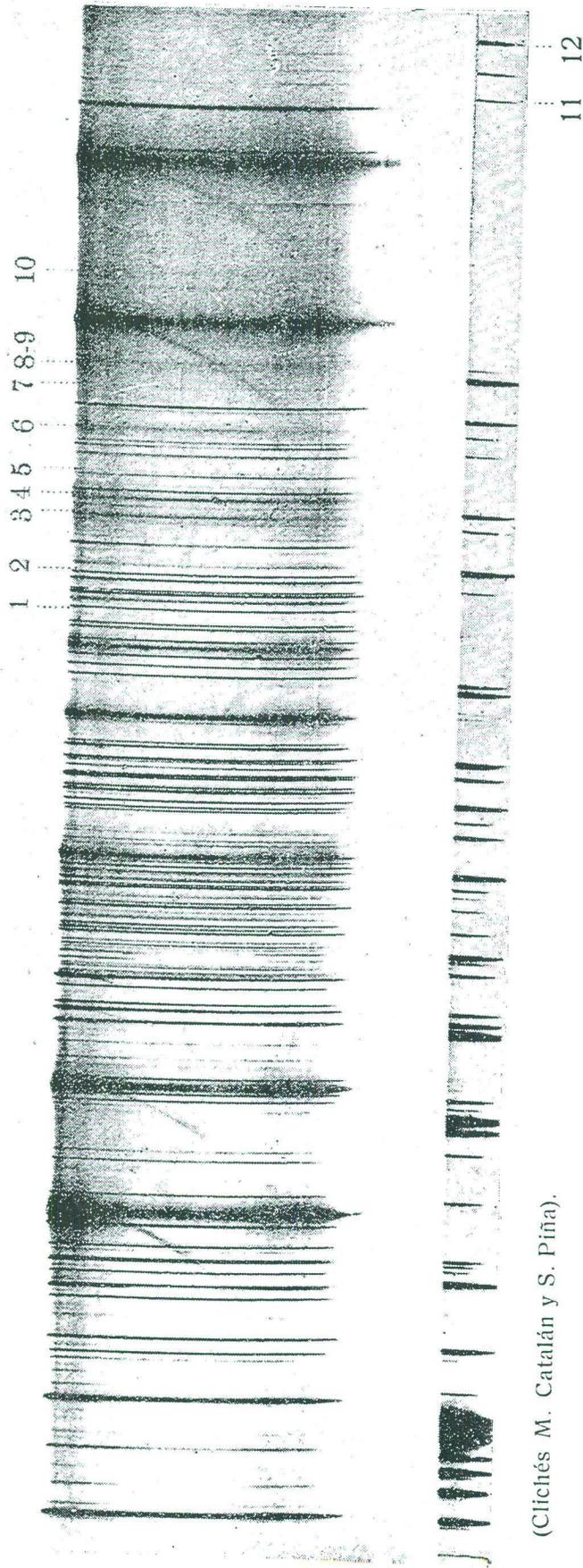
u significa difusa a ambos lados.

En la región de  $\lambda$  2300 a  $\lambda$  1950. Piña de Rubíes (\*) ha encontrado en el arco una porción de líneas de chispa y además las de arco que siguen:

44039,5	2270,0	I
48285,1	2070,4	4
48486,6	2061,8	2

(\*) Ann. d. Soc. E. de F. y Q. Abril, 1917.

# ESPECTRO DE ARCO ELÉCTRICO DE LA PLATA



- 1.—3587,40
- 2.—3568,46
- 3.—3520,5
- 4.—3507,5

- 5.—3487,68
- 6.—3456,4
- 7.—3436,01
- 8.—3413,8

- 9.—3409,9
- 10.—3349,8
- 11.—2070,4
- 12.—2061,8

(Clichés M. Catalán y S. Piña).

cuya placa nos ha cedido amablemente, con el objeto de que pudiéramos estudiarlas.

En una ampliación de un espectrograma, referente a una plata nativa, obtenida por el catedrático de esta Universidad D. Ignacio González Martí, con un espectrógrafo de tres prismas de *uvio*l y que ha puesto galantemente a nuestra disposición, aparecen, aunque muy débilmente, las líneas 3456 y 3507, y las 3568 y 3787, que son aún más fuertes, están enmascaradas por la banda Swan, que dan los electrodos de carbón por él empleados.

Todas esas líneas, excepto la 2270,0, las hemos colocado en las series ya conocidas en la plata.

Sabemos que para cualquier elemento, Ritz (\*) dió una fórmula que permite el cálculo de los diversos términos de una serie y que es

$$\nu = A - \frac{N}{[m + \alpha + \beta (A - \nu)]^2}$$

en la cual  $\nu$  es la frecuencia referida al vacío,  $N$  una constante universal,  $m$  el número del término y  $A$  el límite de la serie;  $\alpha$  y  $\beta$  son constantes que caracterizan la serie y que son idénticas para dos series de diferencias constantes.

Por abreviar se suele escribir

$$m\alpha\beta = \frac{N}{[m + \alpha + \beta (A - \nu)]^2}$$

Para las tres series de Rydberg corresponden las siguientes fórmulas abreviadas.

*Serie principal.*

$$\pm \nu = 1,5 s\delta - m p_i \pi_i; \quad i = 1, 2, 3 \dots; \quad m = 2, 3, 4 \dots; \quad p_1 > p_2$$

*2.ª serie secundaria.*

$$\pm \nu = 2 p_i \pi_i - m s \sigma; \quad i = 1, 2 \dots; \quad m = 1, 5, 2, 5 \dots;$$

$$\pm \nu = \begin{cases} 2 p_1 \pi_1 - m a \delta; & m = 3, 4, 5 \dots \quad [1.ª \text{ línea principal y satélite}] \\ 2 p_2 \pi_2 - m a \delta'; & m = 3, 4, 5 \dots \quad [2.ª \text{ línea principal y satélite}] \end{cases}$$

(\*) W. Ritz.—Ann. d. Phys. 12 pág. 361 (1903).

y la separación constante de los dobletes

$$\nu_1 = 2p_1 \pi_1 - 2p_2 \pi_2.$$

Randall (\*) dice, que la serie principal está en el ultravioleta, y calcula el término  $m = 3$  del siguiente modo:

Viendo las fórmulas de la serie principal y la segunda serie secundaria, se ve la posibilidad de obtener de ésta aquélla. En la segunda serie obtiene los siguientes valores:

$m$	1,5	3,5	3,5	
$\lambda$	3280,80	8274,1	4668,70	
$\nu$	30471,7	12082,6	21413,3	
$ms$	61092,4	18538,1	9207,3	$2p_1 = 30620,7$
$\lambda$	3383,00	7688,2	4476,29	
$\nu$	29551,00	13003,4	22333,8	$2p_2 = 31541,7$
$ms$	61092,4	18537,7	9207,3	

De ésta calcula la principal que es

$$\pm \nu = 1,5 s = mp_1 \quad \pm \nu = 1,5 s - mp_2$$

y obtiene

$m$	2		3
$\lambda$	3280,8	Observado	2061,3
$\nu$	3047,7		48498,3
$mp_1$	30620,7		12594,1
$\lambda$	3383,0		2070,0
$\nu$	29551,3		48295,4
$mp_2$	31541,1		12797,0

Es decir que Randall prevé la existencia del par  $\left. \begin{matrix} 2070,0 \\ 2061,3 \end{matrix} \right\}$  como segundo término de la serie principal y cuyo primer término sería el par tan conocido  $\left. \begin{matrix} 3200,8 \\ 3383,0 \end{matrix} \right\}$  que es el más intenso en el espectro de la plata.

Se ve que con un error que se comete en el cálculo y

(\*) H. M. Randall.—Ann. d. Physik (4) 33 pág. 739 (1910).

en la medida de las líneas, la concordancia entre el par calculado por Randall y el obtenido por nosotros

Calculado	2061,3	2070,0
Observado	2061,8	2070,4
$\Delta =$	— 0,5	— 0,4

es más que suficiente para dejar sentado de un modo firme la atribución de dicho par a la serie principal y por tanto afirmar *experimentalmente* la existencia de la serie principal en el espectro de la plata.

Los restantes pares los hemos comparado con los calculados por las fórmulas de Kaiser y Runge (\*). Estos dicen que en el espectro de la plata se han encontrado dos series de pares, una de las cuales es la primera serie secundaria o serie difusa y la otra la segunda serie secundaria o serie neta. En la primera han sido observados los términos cuatro, cinco, seis y el siete incompleto; en la segunda serie han sido encontrados los términos cuatro, cinco y del sexto solamente una línea.

Pues bien, las líneas encontradas por nosotros, se agrupan a continuación de esos otros pares formando: una línea del siete, término ocho, término nueve y primera línea del término diez, para la primera serie, y para la segunda serie: segunda línea del incompletamente conocido, término seis, primera línea del siete, cuya segunda está enmascarada, primera línea del término ocho, cuya segunda también está enmascarada, y por último la línea primera del par número nueve.

La fórmula de Kaiser y Runge, es

$$10^8 \lambda^{-1} = A - Bn^{-2} - Cn^{-4}$$

en que  $\lambda$  es la longitud de onda,  $A$ ,  $B$  y  $C$  son constantes y  $n$  el número del término en la serie. Con las líneas señaladas con un asterisco, en el cuadro que a continuación

(\*) Kaiser.—Espectroscopie, tomo II, pág. 531 (1908).

sigue, han efectuado el cálculo de las constantes, habiendo hallado los valores.

$$10^8 \lambda^{-1} = 30712,1 - 130621 n^{-2} - 1093823 n^{-4}$$

$$10^8 \lambda^{-1} = 31633,2 - 130621 n^{-2} - 1003823 n^{-4}$$

$$10^8 \lambda^{-1} = 20696,2 - 123788 n^{-2} - 294202 n^{-4}$$

$$10^8 \lambda^{-1} = 21633,2 - 123788 n^{-2} - 394303 n^{-4}$$

Nosotros hemos calculado los términos que siguen y el resultado es:

Autor	$\lambda$	Intensidad	$\frac{1}{\lambda}$ en el vacío	PRIMERA SERIE		SEGUNDA SERIE	
				u.	$\Delta v$	O - C en $\lambda$	u.
K. R.	5471,72	5	18275,8	4	920,8	0,00	
»	65,66	8 r	18296,0	4			
»	5209,25	8 r	19196,6	4		0,00 *	
»	4668,70	6 uR	21419,6				4) 920,7
»	4576,29	5 uR	22339,9				4) 0,00
»	4212,1	6 ur	23741,1	5	917,1	- 0,6	
»	4055,44	5 ur	24658,2	5			
»	3981,87	5 uR	25113,8			0,00 *	
»	3841,3	5 uR	26032,9				5) 919,1
»	10,6	3 u	26242,6	6		- 0,3	
»	3710,11	2 u	26953,3		918,0	0,00 *	
»	3681,77	3 u	27160,6	6			
»	24,00	1 u	593,8	7		- 0,37	6) 922,0
Catalán	3587,40	3	875,3				6) - 0,24
»	68,46	2	28023,3		916,7		
»	20,5	5 uR	404,8	8			
»	07,5	4 uR	510,5	7		+ 0,17	
»	3487,68	1 u	672,3		921,2	+ 0,17	
»	56,4	3 uR	933,1	9			
»	36,01	1 u	29115,6			+ 0,20	8 + 0,69
»	13,8	1 uR	292,7	10	919,8	+ 0,48	
»	09,9	4 uR	326,0	8			
»	3349,8	2 uR	852,9	9		+ 0,11	9 + 1,43

uR. significa muy difusa hacia el rojo y regularmente difusa hacia el violeta.

u. » difusa hacia ambos lados.

r. » » » el rojo.

O - O » diferencia observada. Calculada en longitudes de onda.

Como se ve, la concordancia es lo suficiente para hacer la atribución de esas líneas a las series secundarias.

A continuación sigue un cuadro de todas las líneas identificadas y en el que se ve claramente que existen una porción de líneas que apesar de pertenecer al espectro de chispa, salen en el espectro de arco.

Regularidad	λ	Autor	Intensidad	Aspecto	Conocida en	
					Arco	Chispa
IN II 4	5209,25	K. R.	10 R	FF	a	ch
	5123,85	»	1 U	DD	a	»
	4874,36	»	4 r	R	a	ch
	48,33	»	4 U	D	a	»
	4797,0	»	2 U	D	a	»
	4678,04	»	4 U	R-D	a	ch
	68,70	»	8 r	FF	a	ch
	16,03	»	4 u	R	a	ch
	4556,13	»	4 U	R	a	ch
	4476,29	»	6 r	FF	a	ch
IIN II 4	4396,49	»	2 u	R-D	a	ch
	94,11	Ed. y V.	2	D	»	ch
	85,16	»	4	D	»	ch
	79,45	K. R.	4 u	D	»	ch
	11,28	»	4 r	F	a	»
	4226,55	Ed. V.	4	R	a	ch
	13,2	Ex. H.	1 u	R	»	ch
	11,0	»	10	R	a	ch
	4096,70	»	2	DD	»	ch
	85,92	Ed. V.	2	DD	»	ch
IN { I 5 I 5 II 5	55,41	K. R.	6 R	DD	»	ch
	04,9	Ex. H.	1 u	F-R	a	ch
	3994,96	Ed. V.	1 u	R	»	ch
	3991,9	K. R.	1 u	D	»	ch
	81,87	»	6 r	D	a	»
	68,34	Ed. V.	5	F	a	»
	61,27	»	2	F	»	ch
	51,3	Ex. H.	1	D	»	ch
	49,60	»	2	D	»	ch
	43,1	K. R.	1 u	D	a	ch
IIN II 5	40,3	»	1 u	D	a	ch
	37,2	Ex. H.	1 u	DD	»	»
	33,60	E. V.	5	F	»	ch
	14,47	K. R.	2 u	R	a	ch
	07,73	»	2 u	R	a	ch
	3841,3	»	2 u	R	a	ch
	10,6	»	2 r	F-R	a	ch
	3766,50	»	2 u	R	a	ch
	10,1	Ex. H.	1 u	D	a	ch
	3681,8	K. R.	1 u	R	a	ch
IIN I 6	74,28	»	2 u	F	a	»
	24,0	Ed. V.	2	DD	a	ch
	16,20	K. R.	1 U	R	»	ch
IN II 6	12,73	Ed. V.	1 u	D	a	»
	3587,40	Ex. H.	1	DD	»	ch
	80,77	Catalán	1 u	R	a	ch
IIN I 7	68,46	Ed. V.	1 u	D	»	»
	57,3	Catalán	1 u	D	»	ch
	47,3	K. R.	1 u	R	a	»
IN I 8	42,67	»	1 u	R-D	a	ch
	3520,53	»	4 u	F	a	»
		Catalán		D	a	»

Regularidad	λ	Autor	Intensidad	Aspecto	Conocida en	
					Arco	Chispa
IN II 7	15,6	K. R.	1	DD	»	ch
	13,44	E. H.	1 u	D	»	ch
	3507,48	Catalán		R - D	a	»
	05,43	K. R.	1 u	DD	a	ch
	01,90	»	4 u	F	a	ch
IIN I 8	3499,65	»	1 u	DD	a	ch
	95,57	Ed. V.	1	DD	»	ch
	3487,68	Catalán		DD	a	»
	75,89	E. V.	3	DD	>	ch
	69,30	Ex. H.	1	R	»	ch
IN I 9	3456,45	Catalán		R - D	a	»
IN I 10	3413,82	Catalán		DD	a	»
IN II 8	3409,84	Catalán		DD	a	»
H	3383,00	K. R.	10 R	FF invertida	a	ch
IN II 9	52,16	Ed. V.	4	DD	»	eh
	3349,76	Catalán		DD	a	»
H	39,30	E. V.	2	D	»	ch
	31,91	»	3	DD	»	ch
	27,82	K. R.	1 u	D	a	»
	07,77	»	2 u	R	a	ch
	3280,80	»	10 R	FF invertida	a	ch
	64,20	E. V.	2	D	»	ch
	49,14	»	2	DD	»	ch
	37,52	»	1	DD	»	ch
	3232,94	K. R.	4 u	D	a	ch
	23,37	Ed. V.	3	DD	»	ch
	3187,75	»	2	DD	»	ch
	86,1	Ex. H.	1	DD	»	ch
	80,69	Ed. V.	2	DD	»	ch
	77,8	E. H.	1	DD	»	ch
	73,22	E. V.	2 u	DD	»	ch
70,66	K. R.	4 u	R - D	a	»	
30,09	»	6 u	F	a	ch	
17,82	Ed. V.	1	DD	»	ch	
02,64	»	1	D	»	ch	
3099,19	K. R.	2	F - R	a	»	
38,42	»	6 u	F	a	ch	
Regularidad	λ	Autor	Intensidad	Aspecto	Arco	Chispa
					conocida en	

## IV

Para terminar, voy a resumir rápidamente los resultados de mis investigaciones.

En la parte referente al Magnesio, han sido de dos clases: unas puramente químicas y otras físicas. En cuanto a las primeras, he pretendido hacer un ensayo de espectroquímica, es decir, estudiar las modalidades de un espectro producido por diversos compuestos de un mismo elemento y en presencia de electrodos de naturaleza variable.

El resultado ha sido ver de un modo claro que:

1.º El espectro del *metal* (magnesio), es el más completo, cualquiera que sea la naturaleza de los electrodos que se empleen. El espectro de las sales es menos completo, porque se obtiene con menor intensidad, y por tanto las líneas más débiles se pierden. El óxido es quien da un espectro más incompleto por igual razón.

2.º Que la influencia de la naturaleza de los electrodos resulta muy manifiesta por acción *reductora* en el caso del *carbón*, poco en el de *cobre* y apenas nada en el de *plata*.

Queda también anotado que la forma parecida en que dan el espectro el metal y las sales cristalizadas, puede estar de acuerdo con la ionización intermolecular que hoy se admite para esas sales. Doy una explicación de la pertenencia de la banda verde al *vapor de óxido magnésico*.

En cuanto a la parte física del espectro del magnesio doy las longitudes de onda de *doce* líneas nuevas, que he fotografiado y que han sido obtenidas por el método del arco en el aire y las he colocado en las series espectrales, ya conocidas, como tripletes adicionales por resultar

concordantes sus longitudes de onda con las obtenidas por el cálculo.

Además se han encontrado en el arco *once* líneas que solamente habían sido vistas en el espectro de chispa.

En el espectro de arco en el aire de la plata, he encontrado *diez* líneas nuevas, bastante intensas algunas de ellas, y cuyas longitudes de onda, por mi medidas, concuerdan con las calculadas para términos adicionales a las series de pares. Además, he apuntado *treinta y cuatro* líneas de chispa presentes en el espectro de arco.

Por último, he visto el completo acuerdo que hay entre el cálculo y la experiencia para la longitud de onda del doblete situado en la región extrema ultravioleta, quedando demostrada *experimentalmente* la existencia de la *serie principal* en el espectro de la plata.

\* \* \*

Solo me resta expresar mi gratitud al Dr. D. Angel del Campo, Catedrático de la Universidad Central y Profesor de la Sección Espectrográfica de este Centro.

Laboratorio de Investigaciones Físicas.

*Madrid, Junio de 1917.*

---

## BIBLIOGRAFÍA

---

1. W. A. Miller.—*Experiments and observations.....* «Phil. Mag.» (3), 27, páginas 81 a 91 (1845).
2. G. Kirchoff.—*Untersuchungen über das Sonnen-spectrum und die Spectra der chemischen Elemente.*
3. W. A. Miller.—*On the photograpie... of the electric spark.* «Phil. Trans.», 1251, páginas 861 a 867 (1862).
4. A. Mitscherlich.—*Über die Spectra der Verbindungen un der einfachen Körper.* «Pogg. Ann.», 121, páginas 459 a 488 (1864).
5. Lecoq de Boisbaudran.—*Spectres lumineux.* París (1874).
6. J. N. Lockyer.—*Note on the spectrum of hydrogen.* «Proc. Roy. Soc.», 30, páginas 22 a 31 (1879).
7. Liveing and Dewar.—*On the spectrum of magnesium and lithium.* «Proc. Roy Soc.», 30, páginas 93 a 99 (1880).
8. Liveing and Dewar.—*Investigations on the spectrum of magnesium.* «Proc. Roy Soc.», 32, páginas 185 a 203 (1881).
9. Liveing and Dewar.—*On the disappearance of some spectral lines and the variations of metallic spectre due to mixed vapours.* «Proc. Roy Soc.», 33, páginas 428 a 434 (1888).
10. Liveing and Dewar.—*On an arrangement of the electric arc for the study of the radiations of vapours, together with preliminary results.* «Proc. Roy Soc.», 34, páginas 119-122 (1882).
11. Liveing and Dewar.—*On the ultraviolet-spectra of the elements.* «Phil. Trans.», 174-I, páginas 187 a 222 (1883).
12. H. Bequerel.—*Spectres d'emission infrarouges au moyen des phénomènes de phosphorescence.* «C. R.», 96, páginas 1215 a 1218 (1883).
13. Liveing and Dewar.—*Spectroscopie studies on gaseous explosions.* «Proc. Roy. Soc.», 36, páginas 471 a 478 (1884).
14. W. N. Hartley and W. E. Adeney.—*Measurements of the wave-lengths of lines of high refrangibility in the spectra of elementary substances.* «Phil. Trans.», 175-I, páginas 63 a 137 (1884).
15. W. N. Hartley.—*Researches on spectrum photography in relation to new method of cuantitative chemical analysis.* «Phil. Trans.», 165-II, páginas 325 a 342 (1884).

16. H. Bequerel.—*Spectres d'émission infrarouges au moyen des phénomènes de phosphorescence*, «C. R.», 99, páginas 374 a 376 (1884).
17. J. M. Eder.—*Über einige gelignete practiche...* «Wien. Ber. Ber.», 94, II, página 378 (1886).
18. Liveing and Dewar.—*Investigations on the spectrum of magnesium*. «Proc. Roy. Soc.», 44, páginas 241 a 252 (1888).
- 18 bis. J. N. Lockyer.—*Researches on the spectra of meteorites*. «Proc. Roy. Soc.», 43, páginas 77 a 156 (1887).
19. V. Schumann.—*Zur Photographie der brachbarsten Strahlen*. «Photog. Rundsch», 41, páginas 71 a 80 (1890).
20. J. N. Lockyer.—*On the chief line in the spectrum of the nebulae*. «Proc. Roy. Soc.», 48, páginas 167 a 198 (1890).
21. H. Kaiser y C. Runge.—*Beitrage zur Kenntniss der Linienspectra*. «Wiedem Ann.», 50, páginas 625 a 638 (1893).
22. R. A. Rowland.—*A new table of standard wavelengths*. «Astron. and Astrophys», 12, páginas 321 a 346 (1893).
23. J. R. Rydberg.—*Beitrage zur Kenntniss der Linienspectra*. «Wiedem. Ann.», 50, páginas 625 a 638 (1893).
24. W. N. Hartley.—*Flamme spectra at high temperatures. I. Oxy-hydrogen blow-pipe spectra*. «Proc. Roy. Soc.», 54, páginas 5 a 7 (1893).
25. J. Kheler.—*The magnesium as a index to the temperature of the stars*. «Astron. and Astroph.», 13, páginas 660 a 662 (1894).
26. J. Scheiner.—*Die Temperatur an der oberfläche der Fix sterne, und der Sonne, verglichen mit derjenigen erdisscher Warmequellen*. Berlin Ber. 1, páginas 257 a 258, (1894).
27. H. Crew y O. H. Basquin.—*Note on the magnesium band at 5007*. «Astroph. J.», 2, página 100 (1895).
28. E. Demarçay.—*Spectres électriques*. París, (1895).
29. H. A. Rowland.—*Preliminary table of solar spectrum wavelengths*. Chicago, (1896-1898).
30. R. Thalen.—*Memorie sur la détermination des longueurs d'onde des raies métalliques*. «Nova Acta Reg. Soc. Upsal» (3), 6 (1898).
31. J. N. Lockyer.—*The present stand point in spectrum analyses*. «Nat.», 59, páginas 585 a 588 (1899).
32. H. Lermann.—*Die ultrarothern Spectren der Alcalien*. «Freiburg Br. lei Lehmann's Nachf», 1900.
- 23 H. Crew. — *On the spectrum of...*

*Metallelectrodes in Stickstoff un Wasserstoff.* «Ann. d. Phys.» (4) 1, páginas 700 a 718 (1900).

35. H. Crew.—*On the arc-spectra of some metals as influenced by an atmosphere of hydrogen.* «Astroph. J.», 12, páginas 167 a 175 (1900).

36. O. H. Basquin.—*The spectrum of hidrogen given by the metallic arc of tin, copper, etc.* «Astroph. J.» 13, páginas 1-16 (1901).

36. G. A. Hemsalech.—*Sur l'influence de selfinduction sur les spectres d'etincelles.* «C. R.», 132, páginas 959 a 962 (1901).

37. C. C. Schenk.—*Some properties of the electric spark and its spectrum.* «Astroph J.», 14, páginas 116 a 135 (1901).

38. A. Porter.—*The influence of atmosphere of nitrogen and hydrogen on the arc spectra...* «Astrophys J.», 15, páginas 274 a 281 (1902).

39. W. N. Hartley y H. Ramage.—*Banded flame spectra of metals.* «Trans. Roy. Dublin Soc.» (2), 7, páginas 339 a 352 (1901).

39 bis. F. Exner und B. Harchek.—*Tabelle der Funken-spectra.* Wien., (1902).

40. A. S. King.—*Some effects of change of atmosphere on arc spectra with reference to series relations.* «Astrophys J.», 16, páginas 122 a 150 (1903).

40 bis. H. Crew.—*Note on the wave-length of the magnesium line at 4481.* «Astroph. J.», 16, páginas 246 a 248 (1902).

41. A. Fowler.—*On a new series of lines in the spectrum of magnesium.* «Proc. Roy. Soc.», 71, páginas 419 a 420 (1903).

42. A. Fowler and H. Payn.—*The spectra of metallics arc in an exhausted globe.* «Proc. Roy. Soc.», 72, páginas 253 a 257 (1903).

43. A. S. King.—*Some effect of change of atmosphere on arc spectra with reference to series relation.* «Astroph. J.», 16, páginas 129 a 150 (1903).

44. J. Hartmann y G. Eberhard.—*Über das Auftreten von Funkenlinien in Bogenspectrum.* «Astroph J.», 17, páginas 270 a 280 (1903).

45. J. M. Eder.—*Das Flammen-und Funkenspectrum des magnesiums.* «Dekschr. Wienn. Akad», 74, páginas 45 a 54 (1903).

46. B. Eginites.—*Sur l'echauffement des poles et les spectres des etincelles.* «Bull. Astrons.», 21, páginas 27 a 92 (1904).

47. Sir W. Huggins and Lady Huggins.—*Preliminary note on some modifications of the magnesium lines in arc spectra at*

- 4481 *under different laboratory conditions of the spark discharge.* «Astroph. J.», páginas 145 a 146 (1904).
48. H. Crew.—*On the conditions which govern the appearance of spark lines in arc spectra.* «Astroph. J.», 20, páginas 274 a 284 (1904).
49. G. A. Hemsalech.—*Recherches experimentales sur les spectres d'etincelles.* «Bull. Astrons.», 21, páginas 27 a 92 (1904).
50. H. W. Morse.—*Spectra from the Wehnelt interrupter.* «Astroph. J.», 11, páginas 162 a 186 (1904).
51. F. Exner und Hachek.—*Tabellen der Bogen-spectra.* Wienn. (1904).
52. J. Barnes.—*On the spectrum of magnesium.* «Astroph. J.», 21, páginas 74 a 80 (1905).
53. A. S. King.—*Über Emissions spectra von Metallen in electrischen ofen.* «Astroph. J.», 21, páginas 236-257 (1905).
54. R. E. Loving.—*The arc in high vacua.* «Astroph. J.», 22, páginas 285-304 (1905).
55. A. Hagenbach and H. Könen.—*Atlas der Emissions spectre.* Jena (1905).
56. Ch. M. Olmsted.—*Die Bandenspectra nahe verwandter Verbindungen.* Dissert. Bonn., (1906).
57. F. A. Saunders.—*New series in the arc spectra of magnesium, zinc and cadmium.* «Physic. Rev.», 20, páginas 116 a 118 (1905).
58. E. E. Brooks.—*The spectrum of magnesium and of so-called magnesium hydride, as obtained by spark discharge under reduced pressure.* «Proc. Roy. Soc. A.», 80, páginas 218 a 228 (1908). *A probable new fluting son the spectrum of magnesium oxide.* «Nat.», 78, página 198 (1908).
59. J. Haremann.—*Die Wellenlänge der Magnesium linie 4881.* «Physik. Zs.», 4, páginas 427 a 429 (1909).
60. E. E. Brooks.—*The magnesium spectrum under reduced pressure.* «Astroph. J.», 29, páginas 177 a 189 (1909).
61. R. W. Wood and D. V. Guthrie.—*The ultraviolet absorption spectra of certain metallic vapours and their mixtures.* «Astroph. J.», 28, páginas 211 a 223 (1909).
62. H. Hermann.—*Messung der Wellenlangen rote Linien in einigen Bogenspectren.* «Dissert Tubingen», 1904; «Ann. d. Phys.», 16, páginas 625 a 663 (1900).

65. H. Kayser.—*Spectroscopie*. Tomo 5, páginas 719 (1910).
66. J. Barnes.—*The spectra of Al, Cu, and Mg in the arc under reduced pressure*. «Astroph. J.», 34, páginas 159-164 (1911).
67. H. Lehmann.—*Ultraviolet Emissions spectra*. «Ann. d. Phy.», 39, página 53 (1912).
68. Elien O'Connoir.—*Sur le spectre de l'arc a haute fréquence du Magnesium*. «Philosop. Mag.», 23, página 94 (1912).
69. Theodore Lyman.—*Spark spectra of the and alkali earths in the schumann region*. «Astroph. J.», 35, página 341 (1912).
70. A. S. King.—*A. Study of the relation of arc and spark lines by means of the tube-arc*. «Astroph. J.», 38, página 315 (1913).
71. Fowler y Reynolds.—*Additional triplets and other serie lines in the spectrum of magnesium*. «Roy. Soc. London», 89, página 137 (1913).
72. A. Fowler.—*New series of lines in the spark spectrum of magnesium*. «Roy. Soc. London», 89, página 133 (1913).
73. Andreas Nücken.—*Über Messungen in Magnesium spektrum nach internationalen Normalen*. «Zeitsch. Photog.», 12, página 54 (1913).
74. Ch. Wali-Mohammad.—*The complex structure of spectrum lines*. «Astroph. J.», 39, páginas 185 (1914).
75. F. Saunders.—*New «vapor lamp» and some preliminary observations of their spectre in the Schumann region*. «Astroph. J.», 40, página 367 (1914).
76. J. Barnes.—*The spectre of Mg, Ca, and Na vapours*. «Astroph. J.», 39, página 370 (1914).
77. F. A. Saunders.—*Notes on certain ultraviolet spectra*. «Astroph. J.», 43, páginas 234 (1916).
78. Arthur King.—*The production in the electric furnace of the banded spectra ascribed to titanium oxide, magnesium hydride, and calcium hydride*. «Astroph. J.», 43, página 341 (1916).
79. J. M. Eder y E. Valenta.—*Wellenlangenmessungen im sichtbaren.. Bezirk der Funkenspectra*, «Sitzungsber. K. Akad. Wiss. Wien.», 118, páginas 1077-1100 (1909).
80. J. M. Eder y E. Valenta.—*Messungen im ultravioletten Funkenspectra von Metallen nach dem internationalem System*. «Zte. Photog. B.», páginas 20 a 40 (1913).
81. J. M. Eder.—*Messungen im ultravioletten Funkenspectrum von Ag... bis  $\lambda$  1850 nach dem internationalem System*. «Vgl. Sitzungsber. K. Akad. Wiss. Wien.», 122, II<sup>a</sup>, C. (1913).
82. J. M. Eder.—*The ultraviolet spark spectra of silver... to  $\lambda$  1850 in the international System*. «Phot.», 14, página 137 (1914).

*Measurements of the wave lengths on the international System in the red and infra-red arc spectra of the elements.* «Sitzb. Akad. Wiss. Wienn.», Abt. II a 124, 101 (1915).

83. L. Janicki.—*Die Beschaffenheit der Spektrallinie der Elementen.* «Ann. der Phyk.» (4), 29, página 833 (1909).

84. H. M. Randall.—*Zur Kenntnis ultrarother Linienspektren.* «Ann. d. Physik» (4), 33, página 739 (1910). *Some infra-red spectra.* «Astr. Phy.», 34, página 1 (1911).

85. A. de Gramont.—*Sobre la colocación de las líneas últimas en las series espectrales.* «C. R.», 151, página 308 (1910).

86. L. R. Ingersoll.—*Dispersion of metals in infra-red.* «Astr. Phys. J.», 32 página 265 (1910).

87. W. G. Duffield.—*Die Wirkung des Drückes auf Bogen spectra, Silber.....* «Proc. Roy. Soc. A.», 81, página 378 (1910).

88. H. Könemann.—*Die Verteilung der Emission in der Bogen Zwischen metallstaben für Wellenlängen unterhalb  $\lambda = 40000$ .* «Ztschs. Photg.», 12, páginas 65 a 76 y 123-43. Mayo (1913).

89. B. Reismann.—*Die unterschide der Polspektra verschiedener Elemente im Geislerrohr.* «Ztsch. Photog.», 13, páginas 269-300 y 301-12 (1913).

90. H. Huppers.—*Neue Messungen der Bogenspectra einigen Metalle interhalbe  $\lambda = 3200$ .* «Ztsch. Photog.», 13, páginas 44-88 (1913).

91. Joseph Frings.—*The arc and spark spectrum of silver referred to international normals.* «Ztsch. Photog.», 15, páginas 165 a 182 (1915).