

---

FACULTAD DE QUIMICA

U.N.A.M.

15

**Utilización de las Interferencias por Cobalto y  
Fierro en su Determinación por Espectroscopia  
de Absorción Atómica**

**T E S I S**

Que para obtener el título de :

**Q U I M I C O**

p r e s e n t a :

**SOFIA ESPINOSA PEREZ**

---

México, D. F.

1977





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

LAB. Tesis 1977  
ABO. M-135 138  
FECHA \_\_\_\_\_  
\*ROC \_\_\_\_\_  
• \_\_\_\_\_



**QUIMICA**

**Presidente Prof.:** MANUEL GAVALDON MONT

**Vocal " :** FRANCISCO ESPARZA HERRADA

**JURADO ASIGNADO**

**Secretario " :** FRANCISCO FERNANDEZ NORIEGA

**1er. Suplente" :** LILIANA SALDIVAR Y OSORIO

**2do. Suplente" :** RAYMUNDO CEA OLIVARES

**Sitio donde se desarrolló el tema:** A G A de México S.A.

**Nombre del sustentante:** Sofía Espinosa Pérez

**Nombre del asesor del tema:** Dr. Francisco Esparza Herrada

A mi papá: Con cariño y agradecimiento por todo lo que me enseñó en la vida.

A mi mamá y  
hermanas: Por todo el apoyo que me han brindado.

A mi profesor,  
Dr. Francisco  
Esparza H. : Mi sincero agradecimiento por todo lo que he aprendido durante su asesoría.

A mis amigos,  
José Luis Rangel  
M., Armando y J.  
Carlos Domínguez  
G. y Sergio A.  
Galván : Por su valiosa cooperación.

## I N T R O D U C C I O N

Una de las técnicas modernas del análisis elemental que más rápida difusión ha tenido a pesar del relativamente elevado costo del equipo que se utiliza es la Espectroscopía de Absorción Atómica; al mismo tiempo y debido a su gran demanda esta técnica es de las que más rápido desarrollo ha sufrido.

Las causas de este fenómeno son la gran sensibilidad del método y su selectividad.

No obstante es necesario hacer hincapie en el hecho de que aunque teóricamente toda línea de absorción de un determinado elemento debe poder ser captado y medido sin interferencias de ninguna otra línea, la limitación normal y la definición tanto en los monocromadores como en los detectores de señal implica que en un gran número de casos sean necesario o bien desechar algunas líneas muy interesantes por la presencia de interferencias por un elemento diferente o bien recurrir a trucos químicos para lograr el mismo fin.

Ahora bien, una limitación lógica de este método espectroscópico es la necesidad de contar con el tubo de emisión correspondiente a cada elemento que se quiera analizar; sin embargo es interesante considerar que si bien las limitaciones de definición son normalmente una desventaja por lo citado en el párrafo anterior, estas mismas desventajas pueden ser utilizadas en favor del analista haciendo posible en esta forma el análisis de un elemento para el cual no se cuente con el tubo de emisión apropiado.

En el presente trabajo el intento ha sido establecer un método de análisis aprovechando las interferencias que produce un elemento en el análisis de otro buscando las condiciones en las cuales esta interferencia es medible y presente una curva de absorbancia con una pendiente adecuada para ser utilizada en un análisis cuantitativo similar a lo que hacemos con la ley de Beer-Lambert.

Para llevar a cabo este trabajo se utilizaron: Tubos de cromo y níquel para medir cobalto y el tubo de manganeso para medir fierro; no se intentó en modo alguno agotar el tema pero consideramos que el presente trabajo puede ser una aportación útil para el análisis elemental por Espectroscopía de Absorción Atómica.

## C A P I T U L O 1

### Espectroscopia de Absorción Atómica.

#### 1.1 Definición e Historia

La espectroscopia de absorción atómica es el estudio y medición de la energía radiante producida por átomos libres. Este estudio nos proporciona información espectroscópica y analítica de los elementos metálicos.

La información espectroscópica incluye fuerzas de oscilación, localización de los átomos en sus diferentes niveles de energía, tiempos de vida de los elementos, etc.

La información analítica incluye determinaciones cualitativas y cuantitativas de varios elementos presentes en diferentes tipos de muestras.

En 1832 Breuster inició el estudio de la absorción atómica. El empezó el estudio de las líneas de absorción del anhídrido nitroso; pasando una luz blanca a través de una flama de anhídrido nitroso. Wollaston ya había descubierto las líneas famosas del sol llamadas líneas "Fraunhofer" y Breuster aprovechó este descubrimiento para proponer que dichas líneas son el resultado del paso de la luz blanca a través del vapor absorbente de anhídrido nitroso.

En 1860 Kirchoff investigó de una manera sistemática las líneas de Li, Na, K, Ca, Sr, y Ba en una flama no luminosa y unos años más tarde Lineing y Dewar también hicieron estudios de absorción de vapores en ciertas líneas espectrales y con el siguiente principio: cuando una luz pasa a través de un vapor caliente, aparecen las líneas de absorción o emisión siempre y cuando la diferencia de temperatura entre la fuente luminosa y el vapor caliente sea significativa. Pudieron determinar temperaturas de flamas o cuerpos luminosos.

En 1955 Walsh y sus colaboradores encontraron que el fenómeno de absorción atómica es responsable de las líneas Fraunhofer; con las cuáles dieron grandes aplicaciones a las mediciones analíticas con mucha sensibilidad y con una rapidez asombrosa.

Desde aquél momento Walsh pudo hacer varias determinaciones de diferentes elementos con aparatos bastantes sencillos a niveles de concentración en partes por millón. El objeto de sus estudios fue encontrar como se podría aumentar el número de aplicaciones del fenómeno de absorción atómica y cuáles las variables necesarias de controlar para poder obtener resultados reproduciblemente analíticos.

A partir de 1965, la espectroscopia de Absorción Atómica tuvo

un apreciable adelanto. El fenómeno de absorción atómica se utilizó para hacer numerosas determinaciones cuantitativas de varios elementos metálicos.

Los conocimientos físicos vinieron a reforzar el fenómeno de absorción atómica y permitieron la predicción de marcados mejoramientos en la sensibilidad de detección de muchos elementos.

Aunque los principios de absorción atómica y molecular son muy similares, los primeros han sido los más explotados para métodos analíticos.

Investigaciones con celdas de absorción demuestran la conexión de la espectroscopia de absorción atómica (EAA) con la ley de Lambert-Beer. La proporcionalidad entre la luz que entra a la solución y la luz absorbida como resultado de las características fisicoquímicas de la muestra a la concentración del medio absorbente y la longitud de trayectoria de absorción.

Esta técnica analítica es de presente y futuro. Actualmente existen cerca de 1000 espectrofotómetros.

Los científicos universitarios no le dan mayor importancia a este tipo de espectroscopia debido a su gran sencillez. Para ellos la EAA es trivial comparada con la espectroscopia de masas y activación neutrónica.

Análiticamente sus ventajas son muchas y no existen problemas de espectro alguno, además son pocas las interferencias que se encuentran y en el caso que hubiera alguna excepción, ésta será muy simple.

## 1.2 Principios físicos de la Espectroscopia de Absorción Atómica.

La utilización del fenómeno de absorción atómica como método analítico descansa en el principio de que la absorción total de luz expresada como  $\log I_0/I$  es directamente proporcional a la concentración y absorptividad de los átomos metálicos en la flama. Este principio se ha verificado para el caso de varios tipos de flama puesto que la absorción de luz por las moléculas homogéneas en solución depende sobre todo de su absorptividad y concentración. Sin embargo también es directamente proporcional a otra variable que es La Longitud de trayectoria. Al principio que incluye esta variable se le conoce como la ley de Lambert-Beer la cual se expresa con la siguiente ecuación:

$$\log \frac{I_0}{I} = a.b.c$$

Donde a=absortividad

b=longitud de trayectoria

c=concentración



Se puede decir que la absorción atómica sería proporcional a la longitud de trayectoria de la flama.

Si se mantienen constantes la absorptividad y la concentración, podemos manejar la longitud de trayectoria como una variable simple dentro de un sistema experimental.

Incrementando la longitud de trayectoria de la flama, teniendo en cuenta que la flama es marcadamente enlogada cuando esta insertada en una ranura de quemador apropiado y empleando una flama con longitud axial derecha como celda de absorción, se puede tener un incremento de la longitud de trayectoria en función de la longitud de la ranura. Usando este sistema, la dependencia de la absorción con la longitud de trayectoria es nula. Como se espera, el equilibrio dinámico de los átomos en la flama no se puede controlar más allá de ciertas limitaciones por ejemplo: la flama no se puede propagar indefinidamente; esto se demuestra por la interrupción eventual del incremento de sensibilidad cuando se aumenta la longitud de trayectoria más allá de 90 cm. (Fig. 1).

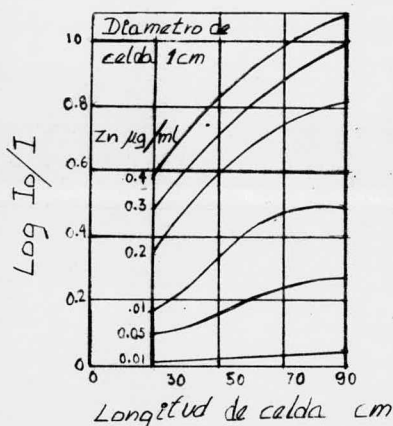


Fig. 1.- Efectos de la longitud de la celda de absorción sobre la absorbancia.

Se han hecho varios experimentos para demostrar la dependencia de la longitud de trayectoria con la absorbancia. Así entonces, usando la línea 2139 Å del cinc se observaron las siguientes características en la celda de absorción:

**A. Efecto de diámetro.**- La fig. 2 muestra este efecto usando una celda Vycor, la cual nos indica que a menor diámetro de celda se tiene una mayor sensibilidad. En todos los casos la sensibilidad se pierde a elevadas concentraciones (mayores a 0.1 ppm para un tubo de 1 cm.) Fig. 3. Para tubos de mayor diámetro, la sensibilidad se pierde a concentraciones mayores de

2 ppm.

La sensibilidad no se incrementa cuando el diametro interno se reduce hasta 1 cm.

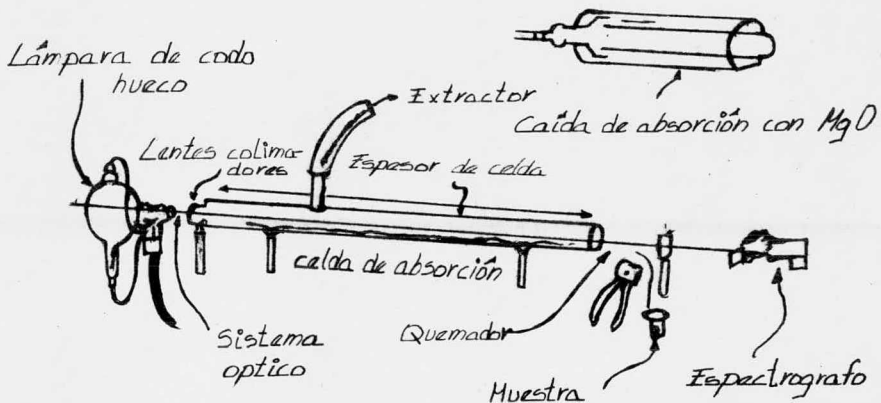


Fig. 2 y 3.- Diseño de la celda de absorción para un espectrofotómetro de absorción atómica. La celda de arriba esta cubierta con una capa de oxido de magnesio.

B. Efecto de la longitud de la celda.- También estudiado con una celda Vycor de diametro interno 1 cm. (Fig. 1). Si la longitud de la celda es de 70 cms, la absorbancia tendrá un incremento lineal correspondiente al incremento de la longitud de la celda. Sin embargo la velocidad de incremento de la absorbancia disminuye hasta encontrar un pequeño cambio a una longitud de 90 cms..

C. Reflexión en la superficie interna del tubo.- Para estudiar este efecto se prepara una celda de asbestos con superficie rugosa de 91 x 1 cm y la absorbancia obtenida con este tipo de celda se compara con la obtenida de otra celda de Vycor de dimensiones similares. Midiendo las absorbancias para el cinc de esta manera, se encuentra que a una concentración dada de cinc la absorbancia observada en la celda Vycor es cerca de 10 veces la observada con la celda de asbestos.

D. Efecto de una cubierta de oxido de magnesio.- La celda Vycor emplea una capa de MgO en polvo de 5 mm. de espesor, como reflector adicional (Fig. 4). Con esta capa se obtiene un incremento del 16% en la respuesta obtenida con la misma celda pero sin la capa de MgO.

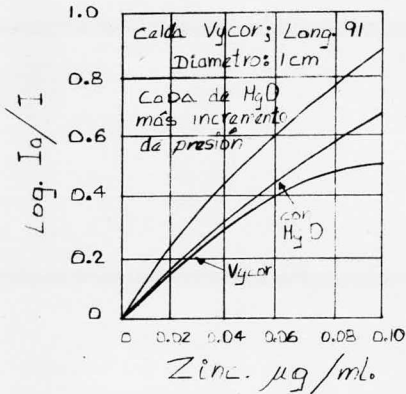


Fig. 4.- Efectos de la capa de oxido de magnesio y presión incrementada de las celdas de absorción sobre la absorbancia.

E. Efecto de Presión.- Para este fin se tiene que modificar la celda, poniéndole un tapón que contenga otra celda de 0.3 cm. de diametro al final de la celda principal. En la figura 4 se muestra este efecto que para el caso del cinc se tiene un incremento en la absorbancia del 30%.

Para definir los límites precisos de la contribución de la longitud de trayectoria de las flamas absorbentes y modificar así la ley de Lambert en el caso de absorción atómica, sería necesario delinear los factores físicos de los estados de agregación líquido y gaseoso.

En absorción molecular existen serios errores en la medición de absorbancia por la dispersión de la luz en las superficies de la celda de absorción. La absorción varía con la longitud de onda y bajo las condiciones que predominan en espectrofotometría de absorción atómica, la luz que entra a la celda de absorción no es estrictamente monocromática; la banda ancha del paso de luz entra a la solución y es función del poder de resolución del elemento dispersante y de la entrada y salida a los slits del espectrofotometro.

Entonces existe una última señal propia de una radiación heterocromática y la luz dispersada contribuirá en la medición de la absorción atómica como una cuarta fuerza de la longitud de onda del paso de luz que entra y también como una función de la absorbancia del material que

se este analizando.

En contraste, en absorción atómica la intensidad de radiación de las lámparas de cátodo hueco entra a la flama (celda) y es estrictamente monocromática a partir de la transición electrónica específica de la fuente luminosa seleccionada para una absorción en fase gaseosa o de líquido - aerosol. Entonces esta radiación monocromática dispersada, cuando se refleje en la celda, aumentara la absorbancia y la última señal no sufrirá el aumento correspondiente.

En base a la ley de Boyle-Charles, se puede predecir que la concentración de una especie se incrementa al parejo de la presión de vapor en la celda de absorción. Esto se puede confirmar con el hecho de que se tenga abierto uno de los extremos de la celda.

El efecto de la longitud de trayectoria y el límite de detección varía considerablemente de elemento a elemento o sea que las dimensiones de la celda y la sensibilidad dependen de otras variables como: material de la celda, características de reflectividad, velocidad de flujo del oxidante y del combustible; las cuales controlan a su vez el gradiente de temperatura y circunstancias de oxido-reducción a lo largo de la trayectoria. Por intuición se llega a pensar en el estudio de la distribución de la concentración de átomos neutros de varios elementos en función de la distancia (mayor a 2.5 m) de la flama. Se puede medir la absorbancia y temperatura a lo largo de la trayectoria con soluciones de los elementos que se quieran estudiar, y los resultados obtenidos nos indicarán la importancia de las condiciones de oxido reducción de las reacciones químicas que ocurren a elevadas temperaturas y las especies moleculares resultantes de dichas reacciones, las cuales determinan la sensibilidad.

La temperatura en una celda de absorción varía de acuerdo a la distancia al quemador, por lo que la temperatura en el centro de la celda es mayor; haciéndose menor hacia la periferia y más baja cerca de la pared de la celda.

La temperatura a lo largo de la celda es una función de la velocidad de flujo del combustible. En el caso de una flama de aire - hidrógeno, la temperatura máxima se obtiene con una velocidad de flujo del hidrógeno de 2.5 - 3 l/min. Con una velocidad de flujo mayor a 3 l/min. la temperatura se va haciendo menor (Fig. 5).

Un incremento en la velocidad de nebulización del agua (solvente) baja la temperatura a lo largo de la celda. Así por ejemplo: cuando se nebulizan soluciones acuosas de cloruro de sodio a una velocidad de

2ml/min y con una velocidad de flujo de  $H_2$  de 3 l/min y a una altura al quemador de 4 y 7 cm., se tienen temperaturas constantes de  $1430^\circ C$  y  $1360^\circ C$  respectivamente.

Las mediciones de temperatura se pueden hacer con sistemas eléctricos y con sistemas ópticos. Los sistemas eléctricos se utilizan para medir temperaturas a una altura al quemador de 10, 15 y 20 cm., mientras que los sistemas ópticos se emplean para hacer mediciones a 4 y 7 cm. del quemador. Las temperaturas obtenidas con los sistemas ópticos son ligeramente mayores a las obtenidas con los sistemas eléctricos.

Asumiendo que los gases son transparentes y homogéneos, se puede aplicar la ley de Lambert-Beer al igual que para las soluciones y por lo tanto se esperaría que la absorción aumente en función de la trayectoria, concentración y forma de las especies absorbentes por ejemplo: átomos neutros (son uniformes). Otros factores no alteran estas especies como su trayectoria de máxima absorción o su homogeneidad.

En estudios preliminares al estudio del principio básico de la EAA se han correlacionado la energía de disociación de óxidos y las presiones de vapor de los metales con el abatimiento de la absorción atómica a lo largo de la celda. Estos estudios quedaron incompletos por lo que más tarde se demostró que la absorción atómica de muchos elementos es una función simple de la abundancia de diferentes metales en la muestra por analizar y especies aniónicas presentes en la misma.

Depende de la temperatura prevaleciente y de las condiciones de oxidación la exactitud del análisis de un elemento. Una partícula salina se evapora y disocia para dar lugar a la formación de átomos neutros y sólo serán responsables de la absorción atómica los átomos que estén en la línea de resonancia adecuada a ellos.

Durante el proceso de evaporación ocurren otras reacciones químicas como la formación de hidruros, óxidos, hidróxidos y otras especies moleculares que no están relacionadas con los procesos primarios.

Mansfield, Galan y Winefordner han analizado la dependencia de la aspiración y la fracción de átomos libres con otros factores como son la velocidad del gas, tamaño de gota y temperatura de la flama.

La presión de vapor de los metales juega un papel importante en la determinación de la efectividad de la celda (su longitud) para la intervención de la sensibilidad de muchos elementos. Ejemplo: los límites de detección del Cd, Hg, y Zn dependen de la longitud de trayectoria, o sea que la celda debe tener una longitud de por lo menos 1 metro. Esto quizás se deba a las presiones de vapor tan altas que tienen estos meta-

les y a la estabilidad de los átomos libres en la flama.

Las concentraciones absolutas de los átomos neutros pueden depender de las características químicas que presenten dichos átomos; por lo tanto en el caso del  $HgCl_2$ , se forman muy rápidamente especies monoatómicas muy estables a bajas temperaturas y éstas no reaccionan con el oxígeno sino hasta que se encuentran a una temperatura mayor propia de la presión de vapor del mercurio. Las presiones de vapor del Cd, Pb y Zn son excepcionalmente altas por lo que a elevadas temperaturas se oxidan fácilmente; mientras que los metales nobles como el oro, plata, paladio y platino son resistentes a la oxidación por sus presiones de vapor tan bajas, pero a lo largo de la celda causan un abatimiento de la temperatura.

La absorbancia de algunos elementos se encuentra limitada por la formación de compuestos, los cuales forman depósitos en el quemador. Estos compuestos pueden ser óxidos o hidróxidos, por ejemplo: el calcio y el estroncio forman óxidos refractarios durante su combustión; por esta razón se usan diferentes tipos de flama para su determinación.

La temperatura de la flama depende del tipo de mezcla combustible oxidante que se emplee para dicha flama. Por ejemplo: Una flama de aire-hidrógeno, teóricamente, da una temperatura de  $2100^{\circ}C$ . Otros autores dan otras temperaturas como  $1967^{\circ}C$ ,  $1909^{\circ}C$   $2014^{\circ}C$  porque consideran las pérdidas de calor; y otros consideran la velocidad de flujo del hidrógeno por lo que dan temperaturas de  $1830^{\circ}C$  -  $1860^{\circ}C$ .

Cuando la mezcla de gases da una flama que no alcanza la temperatura de disociación, se debe agrandar la trayectoria en la flama cuidando las condiciones de óxido-reducción, ya que si no se hiciera, habría formación de óxidos y por consiguiente un abatimiento en la absorbancia. Ejemplo: Una flama rica en hidrógeno favorece condiciones reductoras por lo que cada elemento se analiza con una temperatura y velocidad de flujo de hidrógeno característico.

Muchos elementos son estables a temperaturas relativamente bajas, aproximadamente de  $500 - 1000^{\circ}C$  y las elevadas temperaturas solo se usan para elementos no volátiles o elementos fácilmente oxidables.

El estudio de los principios físicos de la EAA nos indican la estabilidad de un sistema analítico óptimo para diferentes elementos. Estos principios están soportados en la localización de los átomos, que se define en términos de  $L/2$ , distancia a lo largo de la celda donde la absorbancia tiene un valor medio <sup>o</sup> máximo de absorbancia. Este valor nos proporciona el criterio para elegir la longitud de la celda óptima para

el analisis.

La eficiencia y sensibilidad serán cada vez mejores si se pueden controlar las condiciones de oxidación - reducción del sistema que se este analizando.

La absorción atómica en el UV lejano ( $\lambda = 1937 \text{ \AA}$ ) es posible si se usa una atmósfera inerte de argón o nitrógeno.

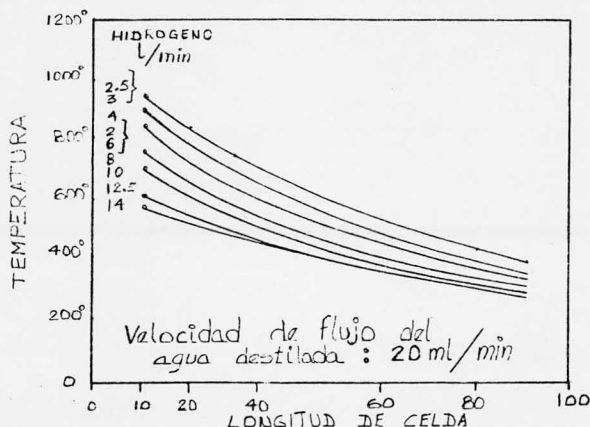


Fig. 5.- Temperaturas a lo largo de la trayectoria de la célula y efecto de la velocidad de flujo del hidrógeno durante la aspiración del agua. La temperatura es mayor, a 2.5 l. de  $H_2$ /min. y decae a valores menores de 2 l./min.

### 1.3 Distribución de los átomos en la flama.

La sensibilidad de la técnica de absorción atómica depende del tipo de flama que se este usando.

No se han llegado a conocer las reacciones químicas que se llevan a cabo dentro de la flama y por lo tanto no se pueden deducir las condiciones óptimas necesarias para que los átomos queden en su estado basal.

Buell y Gibson, Grossman y Cooke han descrito algunas distribuciones del espectro de emisión de algunas soluciones en la flama de oxígeno - hidrógeno con un quemador Beckman.

Gibson ha demostrado que la intensidad de emisión depende de que tan bien se logre pasar al estado basal los átomos en cuestión.

Muchas de las mediciones de emisión se hacen con quemadores pequeños circulares, los cuales dan una longitud de trayectoria muy apropiada para absorción atómica por tener ranuras grandes. Gatehouse y Willis han descrito un quemador típico muy parecido a los que usan los aparatos Perkin y Techtron de 10 cm.

El acetileno, propano y gases de carbón junto con el aire han sido las mezclas que más uso han tenido; pero en la actualidad existen otras mezclas más eficientes para algunos metales en especial, como la for

mada por oxido nitroso y acetileno.

El estudio de la distribución de los átomos en una flama determinada tiene como objeto mejorar la sensibilidad del método de absorción atómica y ayudar a deducir los mecanismos de formación de los átomos en estado basal.

La distribución de los átomos en la flama se estudia mediante un arreglo instrumental semejante al mostrado en la figura No. 6. La luz que pasa a través de la flama no es paralela al ancho finito de la fuente espectral y esta luz es refractada por la flama y la amplitud de la refracción depende de la parte de la flama por donde pasa la luz, por ejemplo: La luz que esta cerca de la flama permanece sin reflexión alguna. La fig. 7 nos muestra una trayectoria de refracción formada en un plano de apertura muy pequeña de 1 mm. (pinhole) de diametro. Esta refracción se examina con más detalle cambiando la posición vertical de la flama y la horizontal de la misma.

*Entrada al slit*

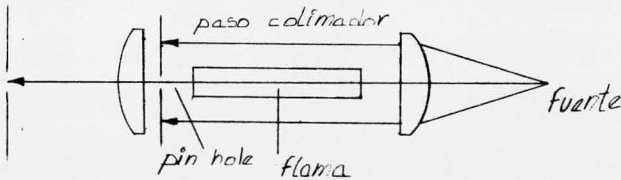


Fig. 6.- Arreglo óptico para medir la distribución de los átomos en la flama.

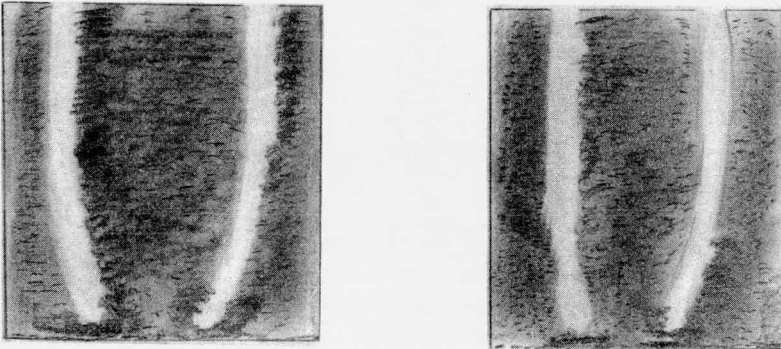


Fig. 7.- Trayectorias resultantes de la refracción de la luz colimada que pasa en flama de 10 cm. de largo.



En las figuras 8 y 9 se muestran algunas distribuciones de elementos como Cu, Mo, Mg, Cr, Ca, Ag, Sr, Ba, Na y Se.

Una posible fuente de error en este tipo de estudio, puede ser la emisión de los átomos excitados en la flama. Este error se puede minimizar usando un amplificador de corriente alterna y luz modulada.

Las distribuciones de la figura 8 fueron hechas con luz incidente dividida mecánicamente con un chopper a 300 c.p.s. y usando un amplificador de 3 c.p.s. Este sistema virtualmente elimina la emisión procedente de la flama.

El uso de una pequeña abertura (pinhole) da una severa atenuación de la luz de la lámpara espectral. Sólo se usa 1/100 de la luz útil por lo que se tiene una señal de ruido pobre. Sin embargo se obtienen resultados muy sencillos y reproducibles ( $Abs.=0.004$ ) con un amplificador de banda angosta y mejorando la obstrucción de la señal con capacitores.

#### Distribución de radicales oxhidrilo.

La distribución de los radicales  $OH^-$  en la flama se estudia mediante la técnica de absorción atómica.

Se ha encontrado que la lámpara de cátodo hueco de cobre emite una banda fuerte de  $OH^-$  en  $3060 \text{ \AA}$ , propia del agua o solvente orgánico que se haya empleado en la disolución de la muestra. La lámpara de cobre se emplea como fuente luminosa y el monocromador se coloca enseguida y atrás del slit que da un ancho de 0.15 mm para reducir la resolución espectral y por lo tanto minimizar cualquier complicación propia de diferentes temperaturas entre la fuente luminosa y la flama.

En el estudio de la distribución de los radicales  $OH^-$  en una flama de aire acetileno se presentan 2 complicaciones:

- 1.- El contenido de  $OH^-$  de la flama no se puede controlar; el spray de agua dentro de la flama tiene una absorbancia tan grande que no se pueden hacer mediciones mayores a 2, limitando así la exactitud de la medida.
- 2.-  $I$ , el valor de la luz transmitida por medio de la flama, cuando no hay absorbancia propia de  $OH^-$ , no se puede medir porque siempre están presentes los  $OH^-$ . Por la refracción, el valor  $I$  varía de un punto a otro en la sección cruzada de la flama, pero como esta variación cambia lentamente con la longitud de onda, se usa una longitud de onda donde no hay absorción de  $OH^-$ , para obtener la magnitud relativa de  $I$  en varios puntos de la distribución de los átomos de hidrógeno y oxígeno del  $OH^-$ .

El valor de  $I$  se puede calcular de la manera siguiente;

$$I = \frac{I'_{3060}}{I'_{3274}} \times I_{3274}$$

Donde I' = intensidad de la fuente luminosa con la flama apagada  
 $I_{3274}$  = intensidad de la línea de cobre medida con el pinhole  
y la flama encendida.

#### Formación de los átomos libres en la flama

Los estudios que se han hecho al respecto, son consistentes con la hipótesis que dice: los átomos que se forman dentro de la flama lo hacen por medio de una pirolisis.

El tiempo de vida del átomo más su formación a partir de la solución respectiva dependen del medio por el cual viajen (flama). Este medio se controla mediante la cantidad de oxidante y combustible que se use.

La altura del área de máxima absorción dependerá de la formación o no formación de los átomos libres.

Las distribuciones de la figura No. 8 sugiere que el mismo No. de átomos están libres dentro de las regiones de la flama insensibles. Los picos de absorbancia en las distribuciones de las figuras 8 y 9 muestran pequeñas diferencias entre las flamas ricas y pobres en combustible. En la distribución del molibdeno se ve una pequeña área con absorbancia grande en la flama pobre pero el radio de absorbancia es de 1.13 por lo tanto los dos tipos de flama contienen la misma concentración de átomos. David, Gatehouse y Willis reportaron poco o casi nada de sensibilidad del molibdeno en flamas pobres en combustible.

Con la técnica de "áreas pequeñas" se miden absorbancias de flamas delgadas.

En las flamas ricas en combustible, los átomos se distribuyen mejor y por lo tanto la sensibilidad será mayor. Se pueden obtener el No. total de átomos a una determinada altura, tomando la línea integral de la distribución a esa altura.

Las variaciones de la cantidad de átomos presentes en cualquier altura de la flama se explican por dos fenómenos opuestos: Un incremento y un decremento.

(a) Incremento.- El número de átomos aumenta con la altura hasta que la volatilización es completa.

(b) Decremento.- El número de átomos disminuye por combinación química y dilución propia del volumen expandido de los productos de combustión.

Las distribuciones de Mg, Ag, Na, y Cu muestran la concentración máxima de átomos en las partes superiores de la flama por lo tanto, las reacciones de recombinación química son relativamente lentas; mientras que en el caso del Ca, Sr y Ba no se forman átomos libres en la parte superior de la flama por su rápida recombinación química. El molibdeno en la flama pobre también tiene una rápida recombinación química.

La variación de la velocidad de emisión de átomos se puede ver en las gráficas comparando la del Mg con las de los demás.

La variación de la temperatura con la altura de la flama se estudia con soluciones de cloruro de sodio atomizadas en una flama de aire acetileno y se encuentra que la temperatura máxima se encuentra a una altura de la flama de 0.5 cm. y es la región de máxima concentración atómica para muchas distribuciones de flama pobre.

Si la variación del No. de átomos con la altura depende del balance entre velocidad de volatilización de la solución y formación de  $\text{OH}^-$  u otros compuestos, se esperaría un máximo cerca de la porción más caliente de la flama. La zona de máxima temperatura de una flama rica está muy alta y es más difusa.

Generalmente la presencia de aniones no afecta la distribución de los átomos metálicos en la flama. Sin embargo los estudios de Gibson demuestran que la formación de compuestos refractarios si afecta la distribución metálica.

Para pocos elementos estudiados en flama de aire propano, su distribución concuerda con la estudiada en flama de aire acetileno. No fácilmente correlaciona las distribuciones porque la mezcla de aire propano requiere un quemador con ranura mucho más ancha y esta da una velocidad de entrada de muestra baja y una flama vacilante con la cual resultan distribuciones más anchas con medidas de absorbancia inexactas.

Muchas de las distribuciones muestran una región pequeña con una absorbancia grande. Un analista que usa un arreglo óptico común con un paso de luz a la flama ancha, promediará los valores de absorbancia obtenidos en una región más un valor algo menor que la absorbancia máxima de la flama. A este tipo de mediciones se denomina de "área grande"; mientras que las mediciones que se hacen con apertura pequeña se llaman de "área pequeña".

Las distribuciones también nos explican el porque del incremento de la longitud de trayectoria con el uso de la técnica del múltiple pa-

so, igual que los resultados menores a los esperados para el incremento de sensibilidad.

Las distribuciones de la figura 8 también se hicieron con absor**ban**cia de área grande, ajustando el quemador en una posición donde la absor**ban**cia de área pequeña fuera máxima y quitando el pinhole. La luz col**li**mada que pasa a través de la flama es de una pulgada de diámetro.

Si los átomos son distribuidos de tal manera que no existan zonas saturadas, la absor**ban**cia de área grande será similar a la absor**ban**cia de área pequeña. Sin embargo si existen concentraciones elevadas de átomos en una región pequeña de la flama, habrá una marcada diferencia. La tabla 1 nos indica la utilidad de este tipo de absor**ban**cia. Se dan los radios de absor**ban**cia área pequeña-área grande. Si el número es grande en tonces se deberá usar la técnica de área pequeña para incrementar la sensibilidad.

Existen pocas flamas donde la absor**ban**cia de área pequeña es si milar a la de área grande.

La técnica que más utilidad nos da, es la de área pequeña; pero esta técnica no se usa mucho por la pérdida de luz en el aislamiento de los pasos de luz angostos.

	Na	Ag	Cu	Mo	Mg	Ba	Cr	Ca	Sr
$\frac{A_{rich}}{A_{lean}}$	0.80	1.00	0.93	1.13	1.08	1.41	1.00	1.37	1.20

Tabla 1.- Radios de picos de absor**ban**cia para flamas ricas y pobres.

Tabla sacada de la referencia 16

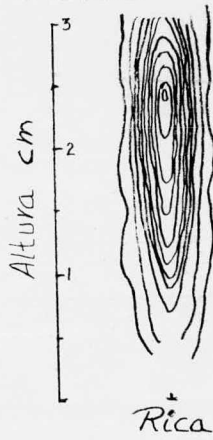
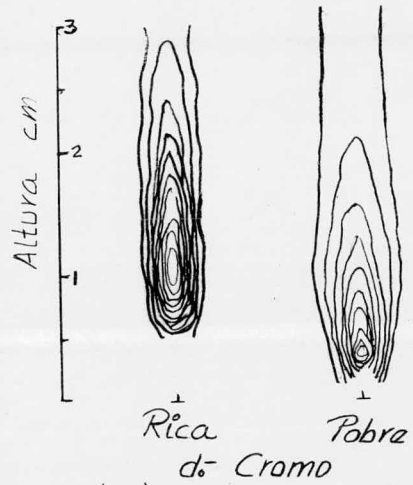
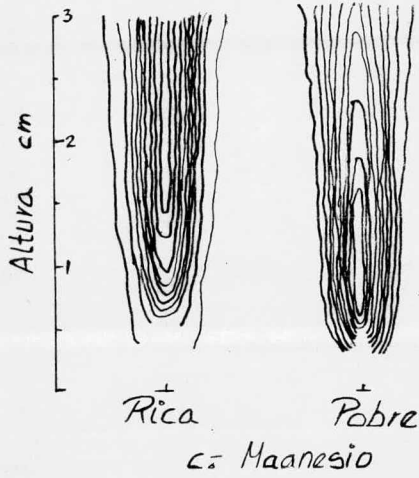
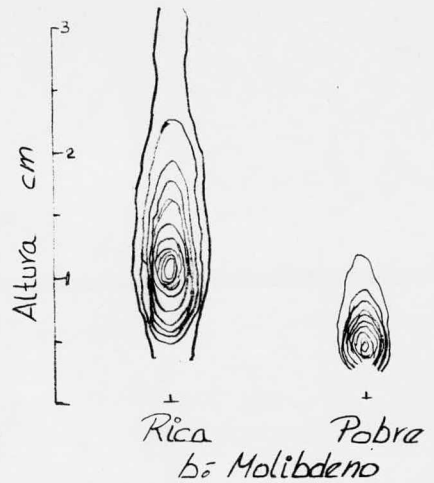
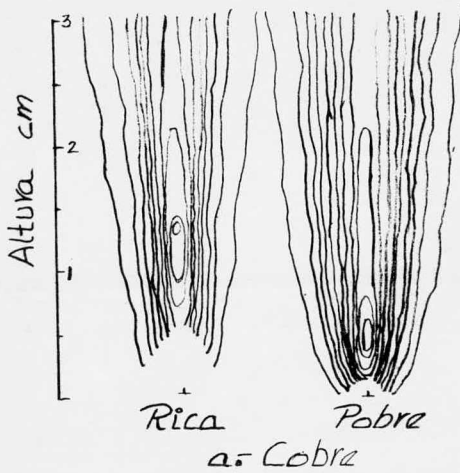


Fig. 8 y 9 .

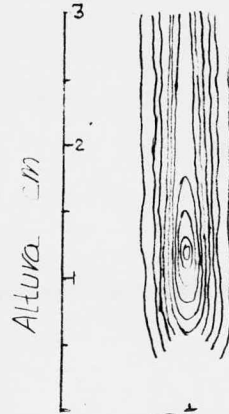


↑  
Rica



↑  
Pobre

fe Estroncio

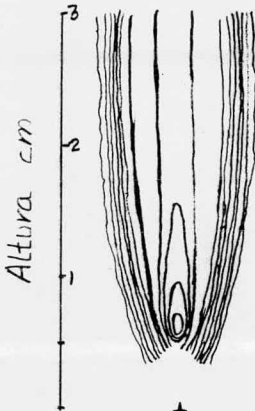


↑  
Rica

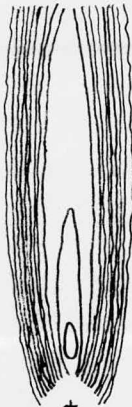


↑  
Pobre

gº Bario

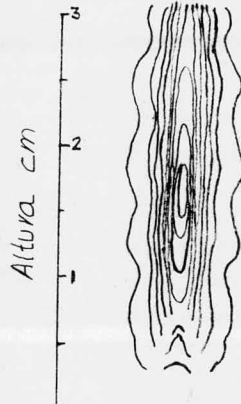


↑  
Rica



↑  
Pobre

hº Sodio



↑  
Rica

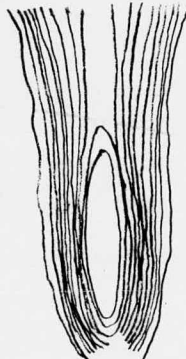


↑  
Pobre

iº Selenio



↑  
Rica



↑  
Pobre

jº Plata

Fig. 8 y 9.

**Mecanismo de la producción de átomos metálicos en la flama.**

Uno de los prerequisites básicos para entender el fenómeno de absorción atómica es el mecanismo por el cual se forman átomos libres en la flama y esto es una razón por la cual algunos metales son detectables por absorción atómica y otros no lo son.

Un mecanismo posible de formación de átomos libres se encuentra resumido en la tabla No. 2

MECHANISM OF METAL ATOM REDUCTION IN FLAMES			
<i>Part of flame</i>	<i>Physical form of sample</i>	<i>Reaction</i>	<i>Factors controlling reaction</i>
Outer mantle	Oxide	Equilibrium with metal atoms	Flame composition, stability of oxide
↑	↑		
Reaction zone	Atoms	Oxidation	$M + O_2 \rightleftharpoons M_{2x}O_x$ Flame composition, stability of oxide
↑	↑		
Inner cone	Solid particles	Disintegration to atoms	Flame temperature, anion
↑	↑		
Base	Droplets	Evaporation	Droplet size, solvent, flame temperature, feed rate

Tabla No. 2.- Sacada de la referencia No. 3

La localización y cantidad de átomos en cualquier punto de la flama es, probablemente, dependiente de la reactividad misma del metal. Si se construye una curva de las absorciones atómicas relativas contra altura por encima de la base de la flama, nos encontraremos con que algunos elementos tienen su máximo de absorción en las partes más bajas de la flama, mientras que otros en esas zonas tienen una absorción muy pobre.

La parte inferior de la flama está controlada por la producción de átomos y es función de los pasos de evaporización y reducción.; mientras que la parte superior de la flama es controlada por la velocidad de pérdida de átomos por la oxidación.

La relación entre la posición de máxima absorción en la flama y la estabilidad del óxido son afectadas por la temperatura e la flama y la composición de la misma (cantidad de combustible y oxidante).

### 1.3 Parte instrumental.

#### a).- Principio instrumental

En el proceso de absorción atómica, únicamente, existen rompimientos de enlaces químicos de los compuestos formados por el elemento que se está analizando y los aniones presentes en la disolución.

El resultado de estos rompimientos de enlace es la formación de átomos libres capaces de absorber energía de líneas espectrales muy angostas.

El rompimiento de enlaces químicos se logra por medio de la combustión de la muestra en el quemador.

La energía que absorben los átomos después que la muestra es atomizada, proviene de las lámparas de cátodo hueco.

El elemento que se desea analizar solo absorbe la energía de líneas de resonancia cuyas longitudes de onda corresponden a transiciones de el estado de mínima energía a otro de mayor energía (Fig. 10). Después que los átomos han estado en la flama, la línea de resonancia es reducida (fig. 11); mientras que las otras líneas del espectro de este elemento no son afectadas por la reducción. Ahora bien, para eliminar las líneas de emisión indeseables, la radiación se pasa por un filtro o monocromador que se encuentra calibrado para que pase solo la línea de interés (fig. 12). De esta forma el detector solo verá la línea de resonancia disminuida (fig. 13).

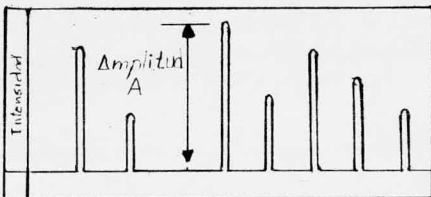


Fig. 10.-

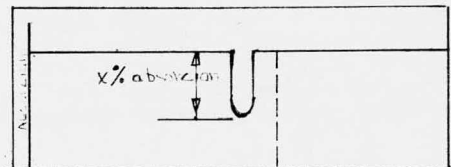


Fig. 11.-



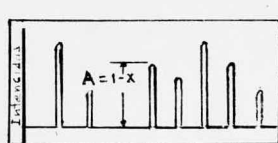


Fig. No. 12

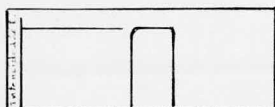


Fig. No. 13

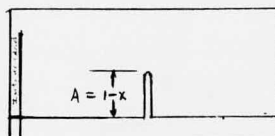


Fig. No. 14

Fig. 10. La lámpara de cátodo hueco emite la línea espectral del elemento que se va a analizar. Fig. 11. La muestra absorbe energía en la línea de resonancia. Fig. 12. El espectro resultante después de la absorción de la muestra. Fig. 13. El monocromador aísla la longitud de onda de resonancia y rechaza las demás. Fig. 14. El fotodetector ve solamente la línea de resonancia disminuida por la absorción de la muestra.

b).- Sensibilidad y límites de detección.

La sensibilidad en EAA se define como la concentración de un elemento en solución acuosa, la cual produce una absorción de 1% y que se expresa como ppm/1 %. En otras palabras se puede decir que la sensibilidad es la concentración del elemento en ppm que produce una deflexión en la aguja del microamperímetro usado en el sistema de lectura, de una división.

La cantidad absoluta de metal, detectable en gramos, es la cantidad más pequeña requerida para dar una absorción de 1%. Estos valores varían con la velocidad de flujo de la muestra y la velocidad de respuesta del sistema de detección.

La sensibilidad de un aparato es uno de los factores determinantes de los límites de detección de un elemento, al igual que la estabilidad del aparato y señal de ruido que tenga el mismo.

No existe una definición adecuada del límite de detección, pero se puede definir como la concentración en solución acuosa que dé una señal dos veces el tamaño de la variabilidad de la última señal.

En la práctica es posible aumentar la sensibilidad y hacer pequeño el límite de detección, sacrificando la estabilidad. Por ejemplo: la cámara de mezclado del quemador puede tener un desalojador de flujo, el

cual puede hacer cambiar el flujo de los gases y dar un mejoramiento del 50% en la sensibilidad.

Las flamas usadas en las técnicas de absorción y emisión presentan diferentes zonas de reacción, por lo cual la sensibilidad también depende de la localización de los átomos en las diferentes zonas de la flama, por ejemplo: los átomos de calcio son muy abundantes en la zona superior de una flama azul de aire acetileno, mientras que los átomos de metales alcalinos son muy escasos en esa zona, por lo tanto una flama azul de aire acetileno será muy buena en la determinación de calcio y muy mala para la determinación de metales alcalinos.

Cuando las lámparas de cátodo hueco son suficientemente brillantes y el sistema instrumental es estable se puede llegar a límites de detección menores a una ppm.

### c).- Espectrofotómetros de absorción atómica.

Los espectrofotómetros están constituidos por las siguientes partes:

#### 1.- Fuente de energía radiante.

En EAA, el elemento absorbe solamente en líneas muy angostas del orden de  $0.01 \text{ \AA}$  y las fuentes de energía luminosa o de emisión deben lograr este propósito.

Las fuentes de energía luminosa pueden ser lámparas de descarga o de cátodo hueco, las cuales cada vez se sofistican más.

En un principio se buscaba versatilidad, simplificación y abaratamiento en las lámparas; pero las dificultades se presentaron cuando se tomaron en cuenta los requerimientos de estabilidad y libertad de última señal de emisión.

Fassel y Kniscley han estado usando como fuente luminosa, una luz continua y brillante de un arco de Xe, la cual dependiendo del monocromador que se use, dará la angostura de longitud de onda.

Cátodos huecos de un solo elemento.

Los componentes activos de este tipo de lámparas son:

I).- Un cátodo hecho con el elemento de interés, de forma cilíndrica, cerrada por uno de sus extremos y de un centímetro de ancho por un centímetro de profundidad.

II).- Un ánodo que consiste en un alambre metálico recto (Fig. 15)

III).- Gases de relleno. El nitrógeno y el argón a baja presión son los gases más usados como relleno de las lámparas de cátodo hueco; aunque también se puede emplear el neón como gas de relleno.

Cuando la corriente fluye por la lámpara, los átomos metálicos del cátodo son dispersados y las colisiones con el argón o neon ocasionan que una porción de los átomos metálicos se empiecen a excitar y emitir su radiación característica.

Para elegir el gas de relleno de una lámpara se debe considerar el elemento que se va a analizar. Ejemplo: para las lámparas de Fe, Pb y Ni es muy bueno usar argón y para las de Li y As no es bueno.

Uno de los problemas que se presentan con el gas de relleno es la pérdida de éste, porque continuamente es absorbido o atrapado por la nube metálica y por la superficie del vidrio. Esta pérdida de gas ocasiona un decaimiento en la señal de absorción.

Las corrientes óptimas de trabajo están entre 5 - 100 mA y 100 - 200 volts. Cada lámpara tiene especificada una corriente máxima de trabajo, después de la cual peligra el cátodo y a corrientes menores a la especificada, la emisión de la lámpara se incrementa conforme aumenta la corriente. Sin embargo para muchos elementos la absorción de una concentración dada de muestra se ve reducida después que la corriente de la lámpara ha alcanzado cierto valor. Como los átomos procedentes del cátodo están atomizados, la lámpara tiene una absorción por sí misma y esto causa una emisión como la que se muestra en la figura 16.

La elección de la corriente de la lámpara depende de la intensidad de emisión y la sensibilidad de absorción para una concentración determinada del elemento que se está analizando.

Generalmente las dimensiones de una lámpara de cátodo hueco son: 2 pulgadas de diámetro y una longitud aproximada de 6 pulgadas (lámparas Perkin Elmer y A.S.L.).

La vida de una lámpara depende de la velocidad de limpieza atómica del gas de relleno. A mayor volumen del gas de relleno, la vida de la lámpara es mayor. El argón es uno de los gases de relleno que limpia muy lentamente; por ello el tiempo de vida de la lámpara es mayor.

Los factores que limitan el tiempo de vida de un cátodo hueco son:

I).- Pérdida de corriente eléctrica del aire. Esta pérdida se puede reconocer por la disminución de señal de emisión de los átomos metálicos del cátodo y por el color púrpura típico de la descarga en el aire. El oxígeno del aire rápidamente forma óxidos metálicos sobre el cátodo e impide el funcionamiento de la lámpara. La causa de esta pérdida es generalmente la ruptura del vidrio o un sello falso hecho durante su fabricación. La reparación es usualmente imposible; aunque se le puede prolongar un poco

la vida, invirtiendo las polaridades de los electrodos y pasando una corriente alta por medio del generador.

Westinghouse, es una de las compañías que venden lámparas de catodo hueco y opina que no es necesario un gran volumen de gas, si se reduce el tamaño del catodo.

La destrucción del catodo ocurre por el continuo flujo de átomos metálicos en su superficie. La nube atómica se difunde a través del catodo hueco y después caen en las paredes del tubo de vidrio que forman la lámpara. Esta difusión se debe evitar hasta donde sea posible y uno de los métodos que existen para lograrlo, es mediante el uso de electrodos huecos. Los primeros catodos huecos fueron de forma esférica con un pequeño agujero y fueron ideados por White. Los metales se colocaban dentro de la esfera hueca y con la corriente eléctrica encendían y emitían el espectro característico del metal en cuestión. La nube atómica se difunde por todos lados y después se redeposita y solamente pequeñas cantidades del metal se difunden fuera de la esfera (por el agujero).

El catodo tubular es mejor que el esférico. Uno de sus extremos es cerrado y el otro es abierto hacia el interior del tubo de vidrio. La ventaja de esta forma es que existen mayor número de átomos que están siendo emitidos hacia la trayectoria óptica y no se pierde por difusión. Si se usa una lámpara con la corriente lo más pequeño que se pueda, el tiempo de vida de dicha lámpara será mayor.

Hasta el momento no se tienen datos estadísticos acerca de los tiempos de vida de las lámparas. Sin embargo si se hace una determinación por minuto en un aparato de doble paso, 5 hr. - amper corresponderían a 30,000 determinaciones con la lámpara en calentamiento continuo.

La presencia de hidrogeno antes de ser colocado el catodo en la lámpara, ocasiona la reducción de la intensidad de la línea de resonancia, debido a que el hidrogeno tiene una fuerte emisión en la región UV y V del espectro.

Cuando las lámparas no tienen un adecuado manejo, pierden su sensibilidad analítica y cuando se comportan apropiadamente para otros elementos se dice que la lámpara está descompuesta; pero se puede usar con la corriente máxima de trabajo.

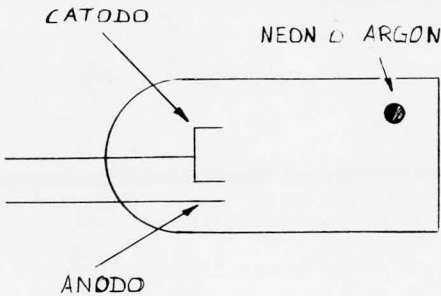


Fig. 15.- Esquema de lámpara de cátodo hueco. La copa que simula el cátodo, esta hecho o contiene el elemento de interes. Esta relleno con argón o neón a baja presión.

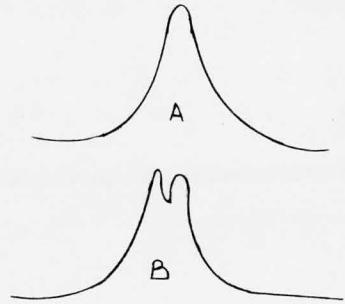


Fig. 16.- Línea de resonancia de emisión de una lámpara de cátodo hueco. A Emisión normal B Emisión causada por corriente excesiva o faltas hechas en su fabricación.

Existen otros tipos de lámparas, que también son usadas en EAA y se llaman de DESCARGA DE VAPOR.

Estas lámparas producen una emisión por medio de una corriente eléctrica que pasa a través de un vapor, el cual esta compuesto con el elemento de interes. Estas lámparas son fabricadas en Alemania (Osram) y Holanda (Philips). Las Osram son las más usadas, mientras que las Philips se usan en Norteamérica solo en sustitución de las de cátodo hueco.

Las lámparas de vapor son usadas principalmente para el analisis de mercurio y metales alcalinos, porque este tipo de lámpara emite el espectro del elemento concierne con líneas de emisión muy angostas comparadas con las líneas de absorción de dicho elemento. Además esta señal de emisión es muy estable.

El inconveniente de estas lámparas es su difícil manejo. Para un equipo de doble paso, se requiere un tiempo de calentamiento de la lámpara de 10 minutos y para el equipo de un solo paso se requiere media hora. Sin embargo sus ventajas son el mejoramiento de sensibilidad de los monocromadores y detectores, mejoramiento de los límites de detección de los metales alcalinos porque éstos tienen sus líneas de resonancia en el IR cercano.

Existen otras lámparas llamadas MULTIELEMENTO.

Debido a la necesidad de los químicos analíticos de usar varias lámparas a la vez, se pensó en construir un equipo que llenara estas necesidades. Así en 1965 Westinghouse y Perkin Elmer fabricaron los prime-

ras lámparas multielemento de cátodo hueco y años más adelante fueron promovidas por ASL.

Depende de los metales de interés, el tipo de aleación, compuesto intermetálico o mezcla de polvos que se emplee en la fabricación de la lámpara.

Las desventajas de este tipo de lámparas son mayores a las ventajas, debido al número tan grande de interferencias espectrales que presentan. Para equipos de un solo paso, estas lámparas son útiles en el sentido de ahorrar tiempo, ya que las lámparas de un solo elemento requieren bastante tiempo de calentamiento.

Un ejemplo de interferencia espectral que se presenta en este tipo de lámparas es: la lámpara de cromo manganeso está fabricada con una mezcla fuerte de cobre por lo que se presentan interferencias espectrales por parte de las líneas de resonancia del cobre.

Las lámparas más modernas son las de alta brillantez. La intensidad de emisión de estas lámparas, que también son de cátodo hueco, está limitada por el hecho de que solo algunos átomos son excitados y por lo tanto la señal de ruido es grande en algunos casos.

Las lámparas de alta brillantez tienen una mayor emisión, lo cual minimiza la señal de ruido. Ejemplo: el análisis de estaño es más exacto con este tipo de lámparas.

Una lámpara de alta brillantez tiene dos electrodos auxiliares, situados uno casi enfrente del cátodo y otro situado casi enfrente del ánodo. Por estos electrodos fluyen cientos de mA a bajo voltaje, con los cuales se produce un vapor de átomos gaseosos que colisionan con los átomos metálicos del cátodo y se tiene un incremento de 10 - 100 en la intensidad de la radiación, pero al mismo tiempo disminuye la radiación del elemento metálico.

Con una lámpara de alta intensidad se destruyen las líneas iónicas de un elemento y se aumenta la línea de resonancia de dicho elemento; lo que trae como consecuencia una mejor línea de trabajo.

Estas lámparas son útiles para muchos elementos, pero más para aquellos que se tienen que analizar con flamas brillantes como el V y Ti.

#### SOPORTES DE LAS LAMPARAS.

Las lámparas de cátodo hueco necesitan una fuente de corriente eléctrica y un soporte adecuado para el arreglo en el espectrofotómetro.

Al principio se tenía problemas con el calentamiento previo de las lámparas porque se tenía que esperar cierto tiempo, antes de iniciar los análisis. Por esto se ideó una varilla de abanico cinemática para que al mismo tiempo se pudieran calentar más de una lámpara. Esta varilla cinemática también recibe el nombre de Torreta. Estas torretas pueden tener de 3 a 6 lugares para colocar las lámparas.

## 2.- Quemadores, Atomizadores y flamas.

Los quemadores y atomizadores de los espectrofotómetros de absorción atómica, son las dos partes más importantes del aparato. El diseño de un quemador es un reto en la EAA y en fotometría de flama; debido a las funciones que tiene que desempeñar: a) Debe introducir la muestra dentro de la flama y b) Debe reducir el metal a su estado atómico. El control de ambas cosas afecta directamente las señales de absorción y emisión de la muestra. Tanto el atomizador como el quemador deben dar estabilidad a la señal de absorción o emisión por lo que la velocidad de alimentación de la muestra debe ser constante y la combustión debe estar perfectamente bien regulada por el flujo de los gases. Las flamas producidas por el combustible y oxidante tienen una forma y color definido, según se calibre el flujo del oxidante. Por ejemplo: en el caso de una flama de aire acetileno, la flama de tipo oxidante es aquella formada con un flujo menor de oxidante, en este caso la flama es de color azul con la base azul claro y de sección pequeña; mientras que la reductora es una flama amarilla con la base azul fuerte y el flujo del oxidante es mayor.

Los factores más importantes para el buen diseño de un quemador son:

- I).- Estabilidad. La absorción para una concentración dada debe permanecer constante de un día a otro.
- II).- Sensibilidad. La absorbancia para una concentración dada debe ser grande.
- III).- Ruido. El quemador debe ser perceptiblemente e instrumentalmente tranquilo y no introducir flamas vacilantes.
- IV).- Habilidad de quemado de muestras concentradas. El límite de detección también está dado por la concentración de solución que tolere el quemador.
- V).- Memoria. La concentración de la primera muestra no debe afectar para el resultado de la próxima.
- VI).- Última señal. Debe existir muy poca o nada de absorción por parte de la flama misma o del blanco.
- VII).- Linealidad. Las curvas de trabajo de concentración contra absorban

cia deben ser rectas y tan grandes en el rango como sea posible.

VIII).- Versatilidad. Un gran número de elementos y tipos de muestra deben ser manejados con el mismo quemador.

IX).- Velocidad de Respuesta. Después que hay entrado la muestra al quemador, la respuesta del digital debe ser inmediata.

X).- Velocidad de Alimentación de la Muestra. Esta variable afecta directamente el número de átomos introducidos dentro del atomizador por unidad de tiempo. Este efecto en absorción atómica es similar al causado en fotometría de flama, pero en un menor grado. Con soluciones acuosas, cuando se aumenta la velocidad de alimentación, la absorbancia se incrementa hasta un máximo. Con solventes orgánicos, la evaporación de las gotas está acompañada por la combustión y este paso es mucho más fácil de llevar a cabo que con soluciones acuosas, con lo que se tiene una producción más eficiente de átomos en la flama. Por esto en muchos casos los límites de detección de metales son mejores con solventes orgánicos.

XI).- Emisión Mínima. En un sistema de corriente alterna la emisión por parte del quemador no produce un error fotométrico; pero si esta emisión es muy grande, ocasionará la producción de una flama vacilante; debido a que un incremento en el ruido de la corriente llega al fotomultiplicador del detector y es directamente proporcional al total de la corriente que le llega. Una flama muy brillante daría lecturas fluctuantes.

XII).- Otros requerimientos que son muy obvios son: facilidad de limpieza de sus materiales de construcción que deben ser anticorrosivos y fáciles de ajustar.

Existen principalmente dos tipos de quemador-atomizador:

1.- Quemador de consumo total.- Este tipo de quemador se usa más para los métodos de emisión. El combustible, oxidante y muestra pasan por dos tubos separados hasta el lugar donde emerge la flama, la cual es turbulenta y relativamente pequeña a lo ancho ( 1 cm). Esta flama es útil en fotometría de flama, y tienen una eficiencia del 5% comparada con el quemador de premezclado.

La muestra completa pasa a la flama y el tránsito de las gotas en la región caliente de la flama no permite el secado y quemado de las gotas grandes. Esto significa una desventaja de este tipo de quemador, porque las gotas no quemadas producirán una dispersión de la luz incidente y por lo tanto el blanco produciría una absorción aparente, la cual debe ser restada de la absorbancia obtenida en la muestra. Este tipo de ab-



sorbancia aparente recibe el nombre de absorción atómica. (Fig. 17)

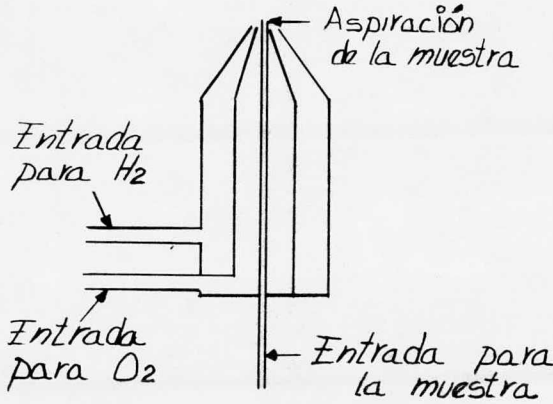


Fig. 17.- Diagrama esquemático de un quemador de consumo total.

2.- Quemador de premezclado o Lundegardh.- Cuando se observaron espectros de absorción y emisión atómica de varios elementos en flamas de aire acetileno y usando un quemador de consumo total, se encontraron dos problemas. (a) La mezcla de gases empleada es turbulenta y hace que aumente el ruido del aparato y (b) Los depósitos formados en el quemador tienden a formar capilaridad en el orificio de oxígeno cuando se emplea el quemador con mezcla rica en combustible durante mucho tiempo; y la formación de estos depósitos afecta la eficiencia de la atomización, incrementando así la última señal espectral. Debido a estos dos problemas, es que se pensó en la idea de crear otro tipo de quemador, para mejorar los límites de detección y minimizar la formación de depósitos en el quemador.

En un quemador de premezclado, la muestra, combustible y oxidante son mezclados antes de entrar a la flama. Con este tipo de quemador, las gotas grandes que se encuentran en la cámara de premezclado son coleccionadas en las paredes de la misma y después drenadas al exterior; mientras que las gotas pequeñas viajan a través de la flama (fig 18).

Existe muy poca dependencia entre el atomizador y el quemador, lo cual es bueno por dos motivos:

A. La longitud del capilar que introduce la muestra al quemador y el tamaño del recipiente que contiene la muestra no importa en el resultado del

análisis, si se usa un quemador de premezclado; en cambio si se usa uno de consumo total, el análisis se verá afectado por estos factores, por ello se deben usar recipientes pequeños llamados Petri.

B. Las interferencias por viscosidad de la solución se minimizan, pero no se eliminan.

Uno de los materiales que se usan en la fabricación de los quemadores es el plástico inerte Penton. (espectrofotómetros Perkin Elmer).

Para la limpieza del quemador solo es necesario pasar cerca de 50 ml. de agua destilada al terminar de usarlo. Cuando el quemador está obstruido o se forman sedimentos sobre la ranura del mismo, es necesario removerlos con una navaja delgada y larga, y en ocasiones es necesario desarmar el quemador porque no queda lo suficientemente limpio.

En 1965 los quemadores sufrieron un cambio, junto con el sistema de nebulización, para poder ser usados con soluciones muy concentradas sin ningún problema de obstrucción. Estos quemadores tienen la ranura más ancha que la de un quemador estándar y son capaces de analizar diluciones 1:1. Por ejemplo: suero de sangre y soluciones al 10 % de azúcar.

La ventaja del quemador de premezclado sobre el de consumo total es que el primero da un ruido de menor al que da el segundo.

La tabla IV muestra los posibles mejoramientos en los límites de detección usando un quemador de premezclado.

La flama ha sido usada, generalmente, en la atomización de las muestras, y una desventaja que se presenta es la formación de óxidos refractarios de algunos elementos durante la combustión. Esto limita su determinación por absorción atómica; pero si existen medios necesarios para romper estos óxidos, sería posible su determinación por absorción atómica. Estos medios pueden ser:

A. Aumentando la temperatura de la flama.- Se esperaría que la ruptura de un óxido metálico se lograra usando flamas más calientes que la de aire acetileno; sin embargo esto no es posible en muchos casos. Por ejemplo, los óxidos de aluminio formados durante la combustión de una solución de cloruro de aluminio, no se rompen con una flama de oxígeno cianuro, a pesar que esta flama es capaz de proporcionar temperaturas del orden de 4500 °C.

B. Usando una descarga eléctrica como atomizador.- Un cuantómetro ASL (Fig. 20) puede usarse como sistema de centelleo. La muestra puede ser atomizada dentro de una descarga eléctrica y obtener resultados muy exactos de análisis de elementos refractarios por absorción atómica.

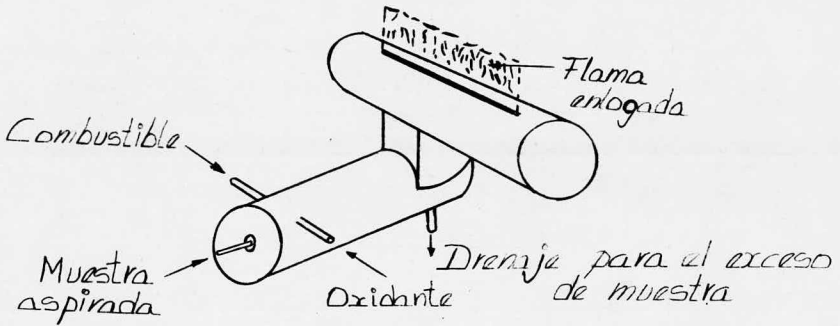


Fig. 18.- Un nebulizador de quemador basado en el quemador Lundergardh (después del Perkin-Elmer 303).

Element	Line (A.)	Estimated Practical Detection Limits for Several Elements*	
		Detection limit (p.p.m.) <sup>b</sup>	
		Standard Beckman burner (5)	Pre-mixed burner
V	4379.2 4408.2, 4478.5	3	0.3
Nb	3058.9	12	1.0
Ti	3428.6	5	0.5
Mo	3798.3	0.5	0.03
W	4098.8	90	4.0
Re	3460.5	3	0.3

Tabla No. 4.- Sacada de la referencia 12

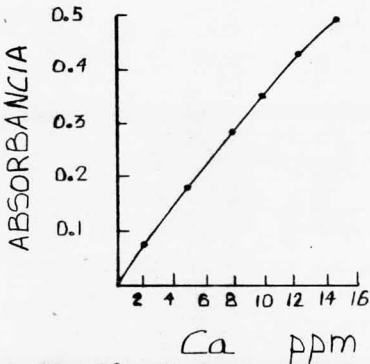


Fig. 18.- Curva de trabajo para Ca con un quemador de premezclado Perkin-Elmer modelo 214.

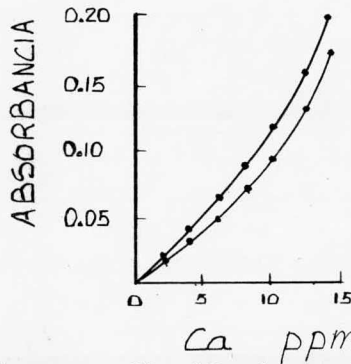


Fig. 19.- Curvas de trabajo de Ca con quemadores de consumo total Jarrell-Ash modelo 82-362.

Sin embargo la descarga eléctrica en la flama no da resultados positivos, debido a la alta conductividad de los cambios de la flama por efecto de la descarga.

Los cuantómetros dan una señal de ruido pobre asociada con la descarga eléctrica y cuando se analiza un elemento refractario con este sistema de atomización y se obtienen resultados negativos, se puede deber a un tiempo de vida del elemento extremadamente corto o a los electrones diferentes involucrados en el espectro de emisión y combinación química.

El tipo de flamas utilizadas en la absorción atómica es muy variado y la tabla V muestra algunos tipos de ellas con las temperaturas correspondientes que proporcionan. La más usada en la actualidad es la de oxido nitroso acetileno por ser la que proporciona menos interferencia y la que mejor disocia las moléculas que contiene el elemento que se esta analizando .

La posición de la flama en el quemador es muy importante porque cuando una gota de la solución que se esta analizando llega a la flama ocurren los siguientes pasos:

- (a) La gota se evapora, dejando un residuo de material solido que incluye al metal por analizar.
- (b) el residuo es descompuesto, liberando los átomos metálicos.
- (c) los átomos metálicos formados pueden recombinarse con los constituyentes de la flama, para formar oxidos, peroxidos, hidroxidos y probablen-

te carbónilos.

La concentración de los átomos metálicos depende de la posición de la flama porque el tiempo de vida de los átomos libres es usualmente corto, bajo las circunstancias de combustión. Usualmente es baja la concentración en la base de la flama y mayor en la parte media de la misma. La señal en la punta de la flama depende de la facilidad de formación de óxidos. Si los óxidos no se forman fácilmente la señal de absorción será grande y si sucede lo contrario, la señal será pequeña. Por esto es importante darle una orientación y altura adecuada al quemador para que nos proporcione las zonas de la flama abundantes en átomos del elemento que se está analizando.

Flame Temperatures of Typical Flames

Fuel	Oxidant	Flame temperature (°C)
H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	2800
H <sub>2</sub>	Air	2100
H <sub>2</sub>	Ar	1600
Acetylene	O <sub>2</sub>	3000
Acetylene	Air	2200
Acetylene	N <sub>2</sub> O	3000
Propane	O <sub>2</sub>	2800
Propane	Air	1900

Tabla No. 5.- Sacada de la referencia 34

### 3.- Monocromadores y sistemas de Slit.

Los rangos de longitud de onda en EAA son los mismos que para la emisión de flama y espectroscopia UV, por esta razón varios de los accesorios de absorción atómica pueden ser usados para otros propósitos.

Un monocromador debe permitir el paso de las líneas de resonancia y al mismo tiempo ocultar las líneas no resonantes o indeseadas más cercanas; de tal manera que permita la construcción de curvas de trabajo rectas. El paso de banda de un monocromador depende de la resolución que se requiera, ya que algunos elementos presentan menos interferencias espectrales que otros. Un paso de banda grande causa el encurvamiento de la recta construida con las variables absorbancia y concentración. Un paso de banda pequeño produce una disminución en el ruido del aparato.

La resolución requerida para un elemento en particular también depende del espectro del cátodo hueco que se está empleando.

Otra función importante del monocromador es prevenir la ruptura

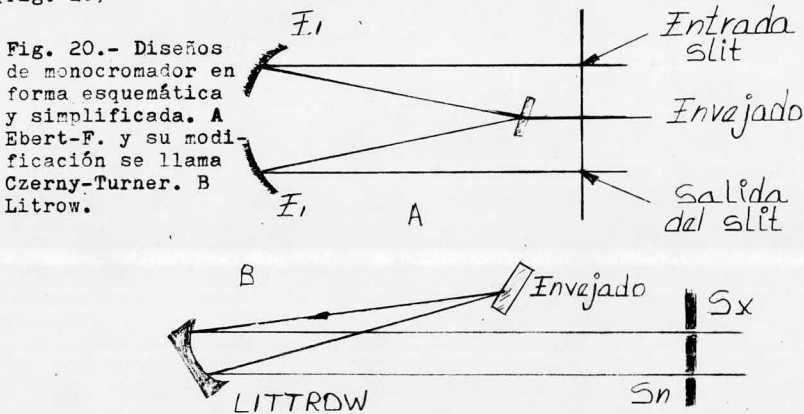
del circuito con la luz del gas acarreador en el tubo de descarga.

Los slits tienen como función ensanchar el paso de la luz al monocromador y la sensibilidad y precisión de un aparato depende de que tanto se pueda ensanchar el paso de luz. La mayoría de los elementos se analizan con anchuras de slit de 7-40 Å.

En absorción atómica se permite una exactitud de 10 Å en la longitud de onda y 1% de pérdida de luz, mientras que en UV se requiere una exactitud de 1 Å y una pérdida de luz de 0.0001 %.

En emisión de flama se mejoran las interferencias espectrales, usando un buen monocromador que tenga una resolución de 0.2 Å; mientras que en la absorción atómica no requiere de un paso de banda tan chico.

Existen dos monocromadores principales: El Hilger E Z con medio de cuarzo y el Bausch and Lomb de Littrow grande cambiabile con cuarzo y materiales ópticos de vidrio que sirven como elementos dispersantes (Fig. 20)



Usualmente las líneas de absorción de los metales alcalinos y alcalinoterreos están algo lejanas de otras partes del espectro de la fuente luminosa y probablemente un filtro de luz simple sería bueno para su determinación por absorción atómica. Sin embargo los catodos huecos de los metales de transición presentan espectros más complejos que los mostrados por los metales alcalinos. Un prisma de alta resolución o enrejado es necesario para estos casos.

Prismas usados en los espectrofotómetros de absorción atómica.

Generalmente no se usan prismas de vidrio, porque el vidrio no es transparente a longitudes de onda menores a  $3500 \text{ \AA}$ , en cambio los prismas de cuarzo sí lo son; por lo tanto son usados en los espectrofotómetros de absorción atómica.

Enrejados usados en los espectrofotómetros de absorción atómica son superficies metálicas planas paralelas unas con otras formando pequeñas rejillas que reflejan y resuelven la luz que llegan a ellas.

La energía disponible que pasa a través de un sistema es el producto de algunas variables como son la eficiencia del enrejado, dispersión del monocromador y eficiencia del cátodo del detector fotomultiplicador. La dispersión generalmente se da en  $\text{\AA}/\text{mm}$ . A menor número implica una mayor eficiencia de dispersión.

La luz transmitida de un monocromador también varía directamente con la superficie del prisma o enrejado y con la longitud focal.

#### 4.- Sistemas ópticos de absorción atómica.

La luz de la lámpara de cátodo hueco pasa a través de la flama, después de la cual la longitud de onda de resonancia es aislada por el monocromador para después llegar al fotodetector y sistemas electrónicos.

Existen tres tipos de sistemas:

##### A). El de un paso.

Este sistema óptico emplea corriente directa. La luz de la lámpara y de la flama no están divididas o choppeadas con lo que producen una corriente directa en el detector.

Este sistema presenta problemas en los casos de emisiones, por ejemplo: en el análisis de calcio, los átomos de calcio presentan emisión continua alrededor de la línea de sodio y el fotodetector no puede distinguir entre un foton de calcio y uno de sodio (fig. 21)

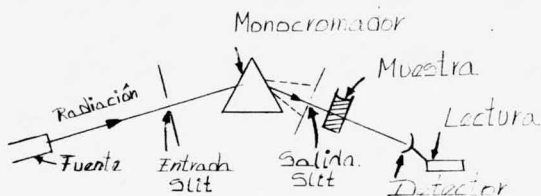


Fig. 21.- Diagrama esquemático de un sistema óptico de un paso.

B). La luz de la lámpara es dividida y la luz de la flama no lo es.

La luz que sí esta dividida produce una corriente alterna por lo que se le llama a este sistema óptico de un paso con corriente alterna.

Las secciones electrónicas del aparato se utilizan para amplificar la corriente alterna y esto causa que la luz de la flama sea ignorada.

En aparatos modernos se puede obtener el efecto de un chopper, usando en su lugar una corriente eléctrica dividida.

Como se tienen problemas con la corriente directa se usaron durante mucho tiempo sistemas ópticos de un solo paso con corriente alterna.

Sistemas de corriente directa se pueden usar para analisis en los cuales la radiación de la flama no sea un problema serio.

C). Sistema de doble paso con corriente alterna.

El chopper utilizado en el sistema de un paso se cambia por un espejo abierto rotatorio y se coloca después de la flama por la que pasa la luz de manera alterna.

El paso de luz de la muestra y de la referencia se combinan y después es medida por sistemas electrónicos.

Este sistema es bueno por dar estabilidad y mínima señal de ruido al aparato. Esto depende también del quemador. Si el quemador tiene el menor ruido posible, velocidad de aspiración constante y pequeña tendencia a obstrucciones, el uso de un sistema de doble paso es bueno e inclusive el sistema de un solo paso se mejoraría, pero en este caso la limitación sería la estabilidad de la señal luminosa.

Si se usa el sistema de un paso es necesario que la lámpara tenga por lo menos media hora de calentamiento, mientras que con el sistema de doble paso no es necesario este calentamiento.

En un sistema de doble paso, pequeñas variaciones en la señal de la fuente de poder de las lámparas puede ser compensada automáticamente por el instrumento.

La fuente de poder de las lámparas es más barata para un sistema de doble paso que para un sistema de un paso, debido a que en el primer caso el aparato compensa automáticamente la variación de la señal del catodo hueco.

Una ventaja grande del sistema de un paso es que se puede encontrar con mucha facilidad las longitudes de onda correctas para cada



elemento.

Usualmente es necesario registrar el rango aproximado de la longitud de onda de la banda de absorción para poder identificar la línea del espectro del catodo hueco. Con un sistema de doble paso, este procedimiento es muy difícil y lo ideal sería que se tuviera un instrumento con los dos sistemas ópticos (fig. 22)

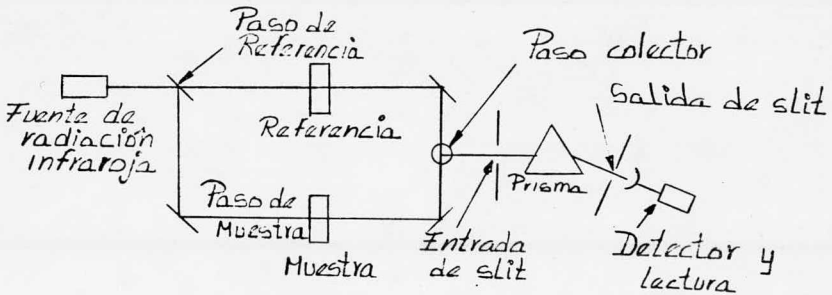


Fig. 22.- Diagrama esquemático de un sistema óptico de doble paso.

Existe otro tipo de sistema óptico llamado de MULTIPLE PASO, que consiste en: la mejoración de la sensibilidad en una determinación por absorción atómica haciendo pasar la muestra varias veces por la flama (Fig. 23).

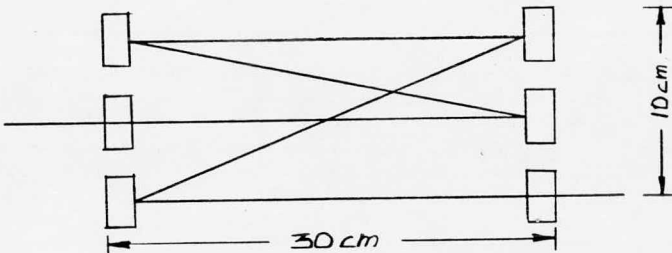


Fig. 23.- Arreglo óptico de multipaso de un espectrofotometro Jarrell-Ash.

Jarrell-Ash tiene un modelo de 5 pasos, Beckman uno de tres pasos, mientras que Perkin y Techtron no usan el sistema de múltiple paso.

Este sistema de múltiple paso no siempre es bueno. Por ejemplo: En el análisis de cobre, se tiene un paso de luz muy angosto por lo que

se tendrá mayor sensibilidad en este caso. En el caso de un análisis de molibdeno no es eficiente este sistema porque no se tiene un paso de luz angosto.

Con un sistema de múltiple paso se tiene una desorganización de los átomos y la flama porque las regiones de la misma tienen diferentes temperaturas, lo cual ocasiona problemas de interferencia e inestabilidad del instrumento.

#### 5.- Detectores y sistemas de lectura.

El detector más usado en EAA es el fotomultiplicador.

El fotomultiplicador consiste en una serie de electrodos con un potencial positivo característico por cada dos electrodos. Cuando un foton pega en la primera superficie de emisión, un electrón es expulsado y atraído a la vez por el siguiente diodo (la siguiente par ja de electrodos). Este electrón es acelerado durante el proceso y cuando pega en el próximo diodo, se producen varios electrones que también son expulsados y atraídos por los siguientes diodos. Esta expulsión y atracción de electrones continua hasta que una lluvia de electrones alcanza el final del enrejado del fotomultiplicador; y de esta manera un foton fue el causante de la generación de una señal eléctrica significativa. (Fig 24).

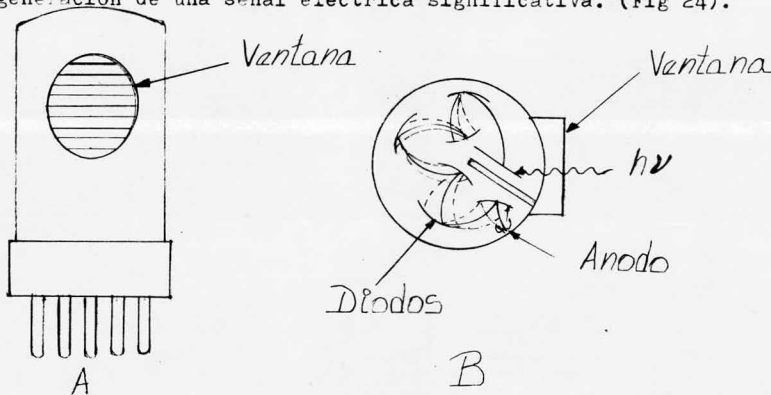


Fig. 24.- Diagrama esquemático de un fotomultiplicador. A Vista lateral B. Vista superior mostrando la configuración de los diodos y colector.

La sensibilidad de un fotomultiplicador depende del amplificador que se use y del voltaje que exista entre los diodos. Este voltaje debe ser grande pero no demasiado, porque se incrementaría mucho el voltaje y se tendría una señal errática y ruidosa .

Dentro de los fotomultiplicadores más comunes se encuentran los

de cátodo Bi - O - Ag y el de Cs - Sb. El más caro es el primero, pero tiene la ventaja de que puede ser utilizado en UV lejano (arsenico y selenio) y rangos de longitud de onda del orden de 7665 Å (potasio). Su superficie tiene cerca de diez veces la eficiencia del de Cs - Sb.

Los amplificadores son fuentes de alto voltaje que se colocan en un chasis junto a la lámpara de cátodo hueco. Esta fuente de voltaje variable se puede regular desde 700 a 1200 volts. de corriente directa para el fototubo.

El circuito del amplificador consiste de un rectificador seguido por un regulador de voltaje.

El voltaje que esta fuera de señal se controla mediante una resistencia variable de un megohm.

La señal de salida del amplificador pasa a través de un atenuador provisto con resistencias de precisión, tal que la sensibilidad del amplificador pueda ser variado por factores de 3 a 10 por cada paso del switch del atenuador. Después que la señal ha pasado por el atenuador, es enviada a un circuito puente, el cual tiene una resistencia variable que permite un balance adecuado del amplificador.

La EAA obedece a la ley Lambert- Beer, por esta razón todos los sistemas de lectura de los espectrofotómetros son lineales en transmitancia y tienen valores apropiados de absorbancia; pero también se pueden tener lecturas que sean lineales a la absorbancia o lecturas que den directamente la concentración.

Todos los instrumentos de absorción atómica dan expansión de escala hasta de 100 X y su sistema de lectura esta conectado a integradores.

Existen aparatos que no tienen expansión de escala y son lineales al % de transmitancia. Para poder usarlo con integrador, se requiere de un accesorio de expansión de escala que dé de 2 a 10 X. Otros aparatos utilizan como sistema de lectura el balance nulo; mientras que los espectrofotómetros más modernos a estos utilizan digitales como sistema de lectura. Estos digitales funcionan en base al siguiente principio:

La descarga de un capacitor es logarítmica con el tiempo, por lo que el canal de referencia es usado para cargar un capacitor grande, después este capacitor es descargado varias veces sobre un capacitor más pequeño, hasta que el voltaje del capacitor grande se iguale al voltaje del canal de la muestra. La lectura obtenida en el digital es la cantidad de veces que el capacitor pequeño ha recibido la carga del grande y es pro

porcional a la concentración de la muestra sea cual sea el sistema de unidades empleadas, porque lo único que cambia es el tamaño del capacitor pequeño.

El modo de integración puede ser de diferentes tipos, por ejemplo de 4 X, 8 X, o de 16 X. El de 16 X es la toma automática de 16 lecturas de una misma muestra en intervalos de 2 seg. y sus promedios son presentados digitalmente.

Quando la curva de trabajo esta encorvada (la absorbancia se incrementa a velocidad más baja que la concentración), se puede recuperar la linealidad de dicha curva empleando un corrector de curva (DCR-1).

## 6. Accesorios.

(a) Adaptación del espectrofotometro para hacer analisis por el método de emisión.- Los espectrofotometros de absorción atómica pueden ser adaptados por un chopper colocado entre la flama y el monocromador, para determinar elementos metálicos por el metodo de emisión de flama.

Existen varias opiniones al respecto, unas estan a favor del método y otras no. Por ejemplo: Walter Slavin opina que solo los metales que se encuentren con límites de detección grandes pueden ser determinados con mucha facilidad por emisión; mientras que Jarrell Ash opina que el método de emisión es muy eficiente y pueden hacer infinidad de analisis cualitativos, registrando fotometria de flama, inclusive el fósforo y el azufre, pueden ser determinados por emisión de bandas moleculares.

Existen dos sistemas de operación de la emisión:

- 1.-DC.- Este sistema necesita un switch que impida el funcionamiento de las lámparas.
- 2.- DB.- El chopper se mueve de enfrente de la flama hacia atras de la misma, para que la luz de la flama sea dividida y amplificada por el sistema electrónico.

(b) Varilla de carbón.- En 1969 West diseñó un accesorio para los espectrofotometros de absorción atómica, y lo llamó filamento de carbón.

Este filamento de carbón se calienta por conducción en atmósfera inerte de nitrógeno o argón y la muestra ( $1-2\mu\text{g}/\mu\text{l}$ ) se coloca encima del filamento para que sea atomizada con el calor de este y después la concentración de átomos metálicos presentes en la muestra sea determinada por el método de absorción atómica o de emisión de flama.

El uso de este filamento es particularmente útil por las siguien

tes razones: cuando se tienen volúmenes de soluciones muy pequeñas, como en el caso de algunos análisis clínicos, se puede usar este accesorio de la flama y se obtienen resultados tan precisos como si se hubiese analizado un volumen mayor de la solución de la muestra.

Cuando se tienen que analizar una muestra cuyo costo es muy elevado, se puede utilizar  $1 \text{ g.}$  de la muestra para efectuar la disolución y se utilizan solo de 1-10  $\mu\text{l}$  de la misma.

Con este accesorio se logran también mejoramientos en los límites de detección de elementos fácilmente oxidables. Por ejemplo en el caso del cadmio, se pueden detectar hasta  $1 \times 10^{-13} \text{ g.}$  La varilla de carbón también puede ser usada con corriente de hidrógeno con lo que se tiene una atmosfera reductora, la cual impide la posible oxidación del elemento.

La varilla de carbón se utiliza en lugar de los quemadores comunes que utilizan flama para la atomización de la muestra.

#### Descripción del funcionamiento del aparato.

La muestra, la cual debe estar en estado líquido, es aspirada hacia el quemador, para que allí sea atomizada (formen gotas). Las gotas formadas de esta manera, forman una nube que entra a la flama. Esta nube es de tamaño uniforme y bajo condiciones ideales contendrá la misma masa de soluto cada gota.

Las gotas dentro de la flama son evaporadas para formar una masa esférica del soluto que recibe el nombre de "grumo" (para distinguirlo de las gotas). Este grumo es una mezcla de las sales contenidas en la disolución de la muestra.

Después el grumo es dividido, descompuesto y dissociado por la flama. El tiempo efectivo de duración de este proceso depende de la cantidad de gas que este corriendo. A mayor concentración se tendrá un grumo de mayor tamaño y por lo tanto se necesitará mayor tiempo de estancia del grumo dentro de la flama; pero si se le da una orientación adecuada a la flama, o sea que la zona de mayor calentamiento de la flama este orientada en dirección de la entrada del monocromador, no se necesitará mucho tiempo de exposición del grumo a la flama.

La muestra ya dentro de la flama es reducida a su estado atómico (el metal que se este analizando). Una lámpara de cátodo hueco emite el espectro del elemento de interés y ésta emisión esta orientada de tal forma que atraviese la flama para que los átomos absorban cierta línea espectral procedente de dicha lámpara. La energía luminosa absorbida choca contra un enrejado o prisma del espectrofotometro. La longitud de onda

apropiada esta dirigida directamente hacia el sistema de detección y la cantidad de energía luminosa absorbida por los átomos es detectada por el fotomultiplicador y amplificada para que el digital dé el resultado de una manera directa y rápida.

### 1.3 Ventajas de la espectroscopia de absorción atómica.

A. La absorción atómica es virtualmente independiente de la temperatura del sistema, si se ignora la dependencia del proceso de atomización de una determinada muestra con la temperatura.

B. La mayoría de los átomos libres existen en estado basal y no en estados excitados, con lo cual podemos concluir que la técnica de absorción atómica es más eficiente que la de emisión de flama.

C. Un equipo de absorción atómica bien diseñado está libre de interferencias. En emisión de flama ocurren interferencias cuando las líneas de otros elementos están muy cerca de la línea de emisión del elemento que se este analizando. En la figura No. 25 la línea punteada significa que ya no habrá absorción después de la línea del elemento de interes, ya que en esas líneas la lámpara no emite radiación alguna, esto no es verdad en ciertas ocasiones, por ejemplo: en la determinación de selenio se tendrá interferencia de cobre porque la lámpara de selenio esta fabricada con cobre.

La espectroscopia de absorción atómica esta relativamente libre de interferencias.

D. El metal que se va a analizar únicamente es disociado de los compuestos que forman cuando se disuelve la muestra y no es excitado; esta disociación se logra a determinadas temperaturas. Estas temperaturas son alcanzables mediante el uso de varias mezclas de gases y existen algunos casos más difíciles que otros. Por ejemplo: el cinc a temperatura de 3000 °K solo un átomo en  $10^9$  átomos es excitado, con lo cual se tiene una desventaja para el método de emisión de flama y no para el método de absorción atómica.

E.- La técnica de analítica de absorción atómica es de mucha precisión y con un equipo óptimo se puede esperar una desviación estandar de 0.2%.

### Posibilidades Analíticas.

Teóricamente se puede sustituir la energía luminosa por:

Plasma jet (un tipo de energía producida por un generador especial). Esta energía es muy brillante, de gran valor y temperatura.

Descarga eléctrica, Laser o un horno. Sin embargo muchos de los espectrofotómetros de absorción atómica utilizan flamas para la disociación de las moléculas de la muestra.

Una forma muy vieja de detector fue el de mercurio por tener la presión de vapor más apropiada a la temperatura ambiente.

En la determinación de uranio se podría usar una lámpara de ctodo hueco desmontable.

El rango de longitudes de onda empleado en EAA incluye longitudes de onda de metales, semimetales y excluye las longitudes de onda de los no metales como el fósforo y halógenos, cuyas longitudes de onda están en la región de absorción atmosférica; sin embargo exist n métodos indirectos para determinación de los no metales.

Hasta hace poco, se tenían flamas que daban bajas temperaturas como es la de aire acetileno, la cual no sirve para la disociación de elementos refractarios como el titanio, aluminio y vanadio; pero John Willis demostró que una flama de oxido nitroso acetileno es útil en la determinación de elementos como silicio, boro, renio tungsteno y muchos de los lanthanidos y actinidos.

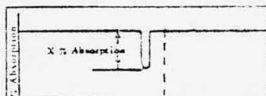


Fig. No. 25.- Sacada de la referencia 1



#### 1.4 Curvas de trabajo en EAA

Las curvas que se construyen de ABS contra CONC. pueden presentar una forma curva o recta, esto dependerá del tipo de material con el que se este trabajando y de la concentración del elemento que se esta analizando. A elevadas concentraciones las curvas son líneas rectas. El grado de curvatura depende de las condiciones bajo las cuales se midan las absorbancias.

Curvas hechas por Russell, Shelton y Walsh aparecen como rectas que se van haciendo curvas conforme se avanza en el eje de la concentración. Russell y sus colaboradores consideran en el caso del cinc, que la

curvatura de la gráfica construida por ellos con el analisis del elemento, se debe probablemente al incremento de la presión de ensanchamiento y a las concentraciones alcanzadas. La curvatura puede mejorarse, pero también se deben tomar en cuenta otros factores en la curvatura de la gráfica. Estos factores son: algo de luz incidente queda fuera de la región de absorción fuerte, la línea de emisión de la fuente es muy ancha o las regiones de la flama recibidas por el monocromador son todas igualmente absorbidas (anchura espectral). La absorción es diluida por algo de luz que escapa a la absorción (altura espacial).

Tomando en consideración las diferentes zonas de la flama, podemos derivar un modelo: suponer dos zonas diferentes del monocromador, una absorbente y otra no. Suponer que  $I$  es la intensidad de la luz incidente sobre la región absorbente. Tales suposiciones aceptadas por el sistema de detección,  $i$  la intensidad de la luz aceptada por el detector, la cual cae sobre el sistema no absorbente,  $I$  la intensidad a la cual  $I$  cae después de la absorción de la flama.

En un instante dado la absorción esperada será:

$$A = \log I_0/I$$

que sería medida con la siguiente ecuación:

$$A' = \log (I_0 + i_0)/(I + i_0)$$

Con la observación de  $A'$  a 2 diferentes concentraciones,  $i_0/I_0$  puede ser calculado. Esto ha sido calculado para las curvas de trabajo de la figura 26. Una constancia de  $i_0/I_0$  para cada curva nos indica que la curvatura de la línea de trabajo se debe a la dilución de la luz, la cual a su vez se debe a la anchura de la línea de emisión de la fuente o a la inclusión de una zona grande de absorbencia pobre.

Los cálculos de  $i_0/I_0$  para una curva de trabajo de calcio son consistentes con la región donde abundan los átomos de calcio, porque el valor de  $i_0/I_0$  es grande y la zona de abundancia es pequeña.



## C A P I T U L O    I I

Tablas de longitud de onda de las líneas principales de los elementos.

### 2.1 Líneas principales de absorción de los elementos.

Para que un elemento pueda ser analizado por absorción atómica, es necesario conocer sus líneas de absorción, límites de detección de dicho elemento y datos de calibración y libertad de interferencia de otros elementos.

Cuando los átomos metálicos se encuentran dentro de una flama, están en estado basal. Si estos átomos reciben energía de la flama o de alguna fuente espectral, pasan a un estado excitado de energía o sea que sufren transiciones electrónicas L-S tal que L debe cambiar +1 a -1 y J debe cambiar de +1 a cero y los dos términos espectrales deben tener la misma multiplicidad. Estas leyes espectrales no son observadas en los casos de absorción atómica, especialmente por elementos difíciles como el mercurio.

La línea de resonancia es aquella cuya longitud de onda es la más grande o sea que es la que corresponde a la transición de mínima energía.

Las líneas de resonancia más sensibles y pasos de banda de un elemento son las condiciones físicas necesarias para analizarlo por absorción atómica. Estas condiciones son independientes del diseño del instrumento, mientras que la sensibilidad y límite de detección dependen del tipo de lámpara y quemador usados.

Si los átomos neutros reciben la energía de la flama, estos la regresan en forma de una emisión de longitud de onda característica; mientras que si la reciben de una fuente luminosa, entonces la radiación corresponderá a una absorción atómica.

Algunas veces se obtienen buenos resultados empleando líneas de absorción de un estado metaestable del átomo y no de su estado basal; pero desde los cuales un átomo no puede pasar directamente al estado basal sin romper las reglas de selección. Estos estados metaestables deben de ser excitados primero a un estado de mayor energía desde el cual puedan pasar al estado basal después. Por el resultado de colisiones entre los átomos de nivel metaestable y otros, los primeros pueden pasar al estado basal.

Para un elemento particular, las condiciones de la flama pueden ser tales que los átomos existan en un estado metaestable y que la línea de absorción sea buena para el análisis de dicho elemento. Actualmente las mejores líneas descubiertas para los estados metaestables son aquellas que se usan para el análisis de cobalto y níquel. Es muy importante tratar diferentes líneas para un solo elemento y escoger las líneas que den mejor resultado.

Para escoger la longitud de onda de absorción de un elemento, primero se registra el espectro de emisión del cátodo hueco y después se aspira la muestra por medio del sistema de quemador-atomizador y su correspondiente espectro también se registra. Cualquier línea que fuera absorbida por la muestra puede ser detectada, porque las intensidades de absorción disminuyen después de que se introduce la muestra en la flama y trayectoria luminosa.

Otra cosa importante que hay que tomar en cuenta para hacer una buena elección de la longitud de onda es la sensibilidad del aparato. Se deben considerar solo las regiones del espectro donde el aparato tenga la máxima sensibilidad. Por ejemplo: existen algunas líneas de resonancia que están fuera de las regiones sensibles de la fotocelda.

En la tabla 6 se encuentran algunas líneas de absorción obtenidas con un aparato Uvispeck. Algunas de las líneas no son de resonancia y otras son de transiciones de un nivel metaestable al estado basal.

En la tabla 7 se tiene el siguiente arreglo:

Todos los elementos incluidos en esta tabla están con letras negras gruesas y en orden alfabético. Abajo de cada nombre se encuentran las líneas sensibles de interferencia. Todas las longitudes de onda están dadas en angstroms y están ordenadas de mayor a menor. Cada línea va seguida del símbolo del elemento interferente y su intensidad de arco. En esta escala de intensidad, las líneas de mayor intensidad están dadas alrededor de 9000, mientras que las más débiles se les asigna el número I.

Las líneas de fuerza intermedia están dadas en 25 diferentes valores. Para facilitar la identificación de la línea más sensible, éstas están impresas en números más negros.

La tabla 8 muestra algunas longitudes de onda de las líneas principales de los elementos y usa números romanos después del nombre del elemento en algunos casos. Estos números romanos significan:

I La línea es emitida de un átomo neutro.

II Resultan de una ionización simple.

III Líneas de la flama y líneas de arco verdaderas.

II a IV Líneas de átomos ionizados también llamadas líneas de centelleo.

El rango de longitud de onda que abarca esta tabla es de 483 Å a 71930 Å.

La tabla 9 muestra algunas longitudes de onda de los gases nobles como nitrógeno, carbón e hidrógeno, usando diferentes standars para su determinación.

Element Line Element Line Tabla No. 6 Sacada de la referencia 8

Ag	3281	Mg	2852
Au	2428	Mn	4034, 2794
Ca	4227	Na	5890
Cd	2258	Ni	3415
Co	3533	Pb	2533
Cr	3579, 4254	Pd	2476
Cs	8521	Pt	2659
Cu	3248	Rh	3435
Fe	2483	Sr	2863
Hg	2536	Sr	4607, 5535
K	7665	Zn	2138

**ALUMINUM**

3961.527	
3944.032	
3092.713	
3082.155	
3962.28 Ca	3w
.12 Ni	I 10h
.09 Ce	I 15
3961.59 Zr	I 500
3961.53 Al	I 3000
.3 Ag	I 15
.15 Fe	I 25
.00 Co	I 60
3960.91 Ce	II 40
.76 Cr	I 40
(Also Cb, Fe, Mo, Sb, Th, U, W)	
3945.33 Co	I 200
.13 Fe	I 30
3944.90 Fe	I 15
.38 Ir	I 20
3944.03 Al	I 2000
3943.89 Ce	II 40
.82 U	I 35
.69 Th	I 10
.67 Cb	I 20
.66 V	I 50
.61 Cr	I 18
.35 Fe	I 40
.14 Ce	II 12
.09 Mo	I 10
.04 Mo	I 100
3942.44 Fe	I 100
(Also Ni I, Rh, W, Y)	
3094.18 Cb	II 100
3093.99 Cu	I 150
.68 Mo	I 10
.61 Ce	I 18
.58 Bi	I 10w
.51 W	I 12
.46 Ca	I 2
.36 Fe	I 70
.34 Ce	II 12
.11 V	II 100R
.01 U	I 20
3092.95 Ta	I 18
.99 Mo	I 125
.84 Al	I 50R
.78 Fe	I 50
.73 Mn	II 50
.72 V	I 10
3092.71 Al	I 1000
70 Mo	I 10
44 Ta	I 10
39 Cd	I 10

Tabla No. 7

.07 Mo	30
.06 Ta	15
3091.92 Ce	20
.84 Mo	10
.58 Fe	I 300
(Also Cr, Ir, Rh I, Sc II, Th, Y, Zr I)	

3083.74 Fe	I 500
.05 Th	I 12
3082.84 Co	I 35
.70 Mn	I 12
.68 Cd	I 30
.62 Co	I 150R
.45 Ta	I 15h
.30 Ce	I 20
.27 Rb	I 10
.18 Th	I 10
.47 U	I 12
3082.16 Al	I 800
.11 V	I 80r
.05 Mn	I 50
.03 Th	I 12
.01 V	I 15
3081.95 Mo	I 25
.86 W	I 10
.85 Ta	I 50
.66 Th	I 10
.65 Ca	I 2
.33 Mn	I 75
.16 Mo	I 25
3080.83 Cd	I 150
.76 Ni	I 200
(Also Cb, Sc II, Ti I, U, Y II)	

**ANTIMONY**

2877.915	
2598.062	
2878.45 Cr	I 20
.38 Mo	I 20
2877.98 Cr	II 30
2877.92 Sb	I 250W
.91 Ca	I 1h
.69 Cu	II 5
.69 V	I 15
.69 Ta	I 15
.68 Ir	I 20
.52 Pt	II 40
.44 Ti	II 30
.30 Ga	I 200
2876.95 Cb	I 40W
(Also Ce, U, W, Y II)	
2598.43 W	I 10
17 Fe	II 100
17 Mn	I 12

2598.06 Sb	I 200
2597.73 W	I 10
.69 U	I 25
(Also Ce, Fe, Ir, Ir I, Pt, Rh, I, Ta)	

**ARSENIC**

2860.452	
2780.197	
2349.84	
2860.96 Cr	II 60
.85 Zr	I 15
.80 U	I 15
.76 Rh	I 30
.68 Pt	II 30
.68 Rh	I 30
.67 Ir	I 12
.47 U	I 35
2860.45 As	I 50r
2859.97 V	I 50
(Also Ce, Fe, Ti I, W)	
2780.70 Cr	I 600R
.70 Fe	I 30
.54 Fe	I 10
.52 Bi	I 200W
.28 W	II 10
.25 Cb	I 30
2780.20 As	I 75R
.04 Mo	I 60
.01 Ce	I 15
.00 Mn	I 25
2779.83 Mg	I 40
.82 Sn	I 80
.70 Ta	I 30r
.54 Rh	I 100
(Also Ir I, U, W)	
2350.84 Be	I 12
.69 Bo	I 25
.54 W	I 12
.47 Ni	I 10
.28 Co	I 12
.05 Ir	I 15
2349.86 Cd	I 2
.85 Sb	I 30
2349.84 As	I 300R
.78 Mo	I 10
.59 Zr	I 10
2348.61 Be	I 1000
(Also Cb, Cu, Fe I, Rh, Ti, Tl, U, Y)	

**BARIAN**

5933-551	
4594-092	
5071-591	

**BARIUM (Continued)**

5211.15 Ba	I	1000R
41 Fe		50
24 Ce		15
04 Rh		80
5534.81 Sr		20
66 Fe	I	20
5533.05 Mo		200
(Also Rh I, Ta, U, V I, Zr)		
4556.35 Ta		200
.13 Fe	I	150
4555.52 Zr	I	30
.49 Ti	I	125
.36 Ca	I	2000R
.30 Cr		15
.13 Zr	I	15
.10 U		20
.09 Cr		15
.08 Ti	I	12
4554.83 Cr		25
.59 Pt		10
.51 Ru	I	1000R
4554.04 Ba	II	1000R
.04 Ce		35a
4553.95 Cr		20
.80 Mo		20
.7 bhPb		6
.69 Ta		200f
.33 Co	I	25
.32 Mo		12
.31 Mn		12h
.22 Mo		12
.18 Ni	I	15r
.05 V	I	20
.01 Zr		10
4552.55 Fe		10
.53 W		12
4551.95 Ta		400
(Also Co, Ir, Th, Y I, Zr II)		
3072.39 Ce	II	20
.34 Co	I	200R
.12 Th		10
.11 Ti	II	25
.06 Zn	I	200
3071.96 Co		80
.94 Pt	I	60
.62 Ce		18a
3071.59 Ba	I	100R
.59 Ca	I	5
.56 Pb		10
.44 Mo		25
.30 Cr	I	15
.24 Ti	II	12
.11 Ce	II	20a
.03 Rh	I	20

3070.90 Mo		40
.89 V	I	10
.82 Th		12
.27 Mn		100
(Also Fe, Fe II, Ir, Ta, U, W II, Y)		

**BERYLLIUM**

3131.072-3130.416		
2348.610		
3132.59 Mo		1000R
.07 Zr	I	10
.06 Cr	II	25
.04 Ce		15
3131.83 Hg	I	200
.55 Hg	I	400
.21 Cr		20
3131.67 Be	II	200
.07 Th		12
3130.87 Ce		30
.80 Ti	II	25
.79 Rh	I	60
.79 Cb		100
.73 U		10
.58 Ta		100W
.57 Ba	I	2
.46 W		10
3130.42 Be	II	200
.33 Ce		30
.29 Ta		15f
.27 V	II	50
.20 Ce		15
.01 Ag		25h
3129.95 Ta		50
.91 Th		10
.76 Zr	II	10
.55 Ta		50
.48 Co	I	40
.37 Na	II	35
.33 Fe	I	100
.31 Ni	I	125
(Also Fe, Fe II, Ir, Ti, U, Y II)		
2349.84 As	I	250R
.10 Bi		10
2348.82 Cu	I	15d
.74 Ni	I	10
2348.61 Be	I	2000R
.99 Zr		15
.30 Ir		20
2347.97 W		10
.58 Ba		30
(Also Co, Fe II, Mn, Mo, Pt II, U)		

**BISMUTH**

3067.716		
2897.975		
3069.24 Ta		150
3068.68 Ce		20
.64 Mo		15
.18 Fe	I	150
.00 Mo		30
3067.94 Fe		15
.76 Sn		107
3067.73 Th		12
3067.72 Bi	I	3000HR
.64 Mo		10
.31 Rh		80
.24 Fe	I	300
.16 Cr	II	25
.12 V	I	15
.01 Ga		60
.01 Ca	I	6
3066.76 Ta		10
.38 V	I	400r
(Also Ir, U, W, W II, Zr I, Zr II)		
2899.04 Ta		200
2898.54 Cr		12
.43 Ta		30
.36 Fe		100
.35 Ir	I	10
.27 Be	I	20
.19 Be	I	15
2897.99 Mn		15
2897.98 Bi	I	500WR
.87 Pt	I	400
.81 Cb		15
.80 Mn		15
.63 Mo		20
(Also Co, Ir, Rh, Th, U, V, W, Y II, Zr)		

**BORON**

2497.733-2496.778		
2498.50 Pt	I	400
.33 Ta		30
.28 Mo		10
.23 V	I	10
2497.86 Mo		20
.82 Fe	II	15
2497.73 B	I	50C
.72 Sn		8
.58 Mo		30h
.48 W	II	10
2496.99 Fe		20
2496.78 B	I	300
.77 Sn		10
.64 Ta		20
.64 W	II	10
.58 Fe		40

Tabla No. 7 (Cont.)

<b>BORON (Continued)</b>		.93 Ca	Ih	.00 Th	10
.31 Cr	I 125r	.82 Co	I 70	3968.48 Ir	25
.27 Ir	I 10	.74 B	II 4	.47 Co	35
2495.86 Fe	I 25	.56 Cb	15	<b>3968.47 Ca II</b>	<b>500R</b>
.82 Pt	I 40	.48 Mo	10	.43 Y	10
.72 Sn	100	.26 Fe	20	.26 Zr	I 100
(Also Cr, Co, Ge I, Th,		.26 T I, II	12	.22 Ag	100
V, W, Zr II)		.23 Mn	75	.09 V	II 25
		.18 Ta	125	3967.97 Fe	I 60
		.11 Zr	I 10	.48 U	10
		3259.99 Fe	I 150	.42 Fe	125
		(Also Co, Pt, Pt I, Th, Zr)		(Also Cb, Ir I, Mo, Rh I,	
				Y II, Zr)	
<b>CADMIUM</b>		2288.39 Ni	I 12	3934.84 Ir	I 200
6438.4698		.19 Pt	II 15	.24 Ti	I 30
3610.510		.12 As	I 250R	.23 Rh	I 100
3261.057		<b>2288.02 Cd I</b>	<b>1500R</b>	.12 Zr	II 20
2288.018		2287.88 Ir	20	.01 V	I 100
6440.97 Mn	60	.81 Co	12d	3933.91 Co	I 60
6439.17 Co	80	.67 W	10	.90 Ir	20
.07 Ca	I 150	.08 Ni	II 100	.73 Ce	60
<b>6438.47 Cd I</b>	<b>2000</b>	(Also Fe I, Mn, Ta, V)		<b>3933.67 Ca II</b>	<b>600R</b>
6435.16 Y	I 150			.66 Ir	20
(Also Co, Ta, W, Zr I)		<b>CALCIUM</b>		.65 Co	80
		4226.728		.62 Ag	80
3612.47 Rh	I 200	3933.666		.60 Fe	I 200
3611.52 Ca	I 200	3179.332		.38 Sc	I 60
.39 U	12	4227.76 Zr	I 150	3932.92 Cu	I 10
.34 Co	II 10	.75 Ce	40	.92 Th	10
.13 Ta	25	.74 V	I 10	(Also Cb, Fe, Mo, U, W, Zr I)	
.05 Y	II 40	.65 Ti	I 18	3180.95 Ta	100
.00 Ba	10	.43 Fe	I 300	.76 Fe	I 100
3610.91 Co	10	.41 Co	10	.28 Co	I 10
.81 Cu	I 25	4226.92 W	15	.23 Fe	I 300
.70 Fe	I 10	.76 Cr	125	.20 Th	15
<b>3610.51 Cd I</b>	<b>1000</b>	.74 Ir	30	.16 Fe	II 10
.46 Ni	I 1000r	.74 Co	50	3179.83 U	12
.30 Mn	60	<b>4226.73 Ca I</b>	<b>500R</b>	.73 Rh	I 50
.16 Fe	I 100	.73 Mo	15	.54 Ta	15h
.16 Ti	I 100	.57 Ge	I 290	.42 Y	II 20
.05 Cr	20	.55 Mo	10	.35 B	II 5
3609.77 Ir	30	.43 Fe	I 80	<b>3179.33 Ca II</b>	<b>100</b>
.69 Co	40	.34 W	10	.29 Ti	I 10
.68 U	15	.29 Mo	20	.28 Cr	100
.59 Ti	I 12	4225.96 Fe	I 80	.24 Ag	2
.31 Ni	I 200	.50 Ir	15	.14 Ag	2
3608.86 Fe	I 500	.47 Fe	I 80	.06 W	10
(Also Cb, Co, Mo, Pt, Th, Zr)		(Also B, Cb, Th, U, V II, Y)		.06 Na	II 6
3262.33 Sn	I 400h	3970.10 Ta	100	.05 Th	10
.01 Fe	30	3969.75 Cr	I 200	.04 U	10
.01 Ir	I 20	.26 Sr	I 30	3178.97 Fe	30
3261.96 Ba	I 40	.26 Fe	I 600	.75 Ce	15
.88 Cb	10	.20 W	12	.69 Ir	10
.72 U	15	.17 Ir	30	.55 Fe	10
.61 Ti	II 70	.12 Co	I 100w	.50 Mn	150
.33, Fe	25	.06 Cr	I 80	.49 Ce	II 12
.17 W	10				
.08 V	15				
<b>3261.06 Cd I</b>	<b>300</b>				
3260.98 Ce	II 25				

Tabla No. 7 (Cont.)

**CALCIUM (Continued)**  
 .02 Fe I 300  
 (Also Cb, Ir I, Mo, Pt, V, W  
 II, Zr I)

**CARBON**  
 2478.573  
 2479.13 Cr 20  
 .05 V 15  
 2478.66 Hg I 15h  
**2478.57 C I 400**  
 .31 Sb 75  
 .22 Ta 60  
 (Also Cb, Co, Fe II, Ir I, Zr)

**CERIUM**  
 4186.599  
 4188.32 Mo 100  
 .07 U 10  
 4187.80 Fe I 200  
 .32 Ce II 35  
 .25 Co I 50  
 .04 Fe I 250  
 4186.98 U I 25  
**4186.60 Ce II 60**  
 .36 Cr 50  
 .28 Mn 15  
 .12 Ti I 100  
 .02 W 12  
 4185.83 Mo 40  
 .66 Ir 25  
 .35 Cr 30  
 .33 Ce II 30  
 4184.90 Fe I 100  
 (Also Cb, Co, Fe, Zr, Zr  
 I, Zr II)

**CHROMIUM**  
 4289.721  
 4254.346  
 2843.252  
 4292.13 Mo 100  
 4291.47 Fe I 125  
 .20 Mo 15  
 .16 Cb 10  
 .17 Ba 10  
 .14 Ti I 10  
**4290.94 Ti I 70**  
 .89 U 15  
 .87 Fe I 20  
 .6 Na I 3  
 .38 Fe 35  
 .23 Ti II 35  
 .21 Zr I 40  
 .19 Mo 30h  
 4289.94 Co 50

.92 Ti I 15  
 .88 U 12  
**4289.72 Cr I 300R**  
 .46 Co II 25  
 .44 Cb 10  
 .42 Mo 20  
 .36 Ca I 35  
 .07 Ti I 125  
**4288.84 U 20**  
 .71 Rh I 400  
 .67 Co II 30  
 .64 Mo 40  
 .38 Cr 15  
 .01 Ni I 150  
 4287.41 Ti I 100  
 (Also Mn, Pt, Th, V II, W, Y I)  
 4255.78 Co 40  
 .50 Cr 30  
 .44 Cb 30  
 .36 Co II 19  
**4254.95 Mo 25**  
 .70 Co 25  
 .69 Cb 10  
 .43 Mo 10  
 .39 Cb 10  
**4254.35 Cr I 500R**  
 .15 Bi I 10  
**4253.85 U 12**  
 .70 Cb 25  
 .57 Zr I 20  
 .5 Sr 2  
 .36 Co 40h  
 .34 Cu I 7wh  
**4252.97 Cb 30**  
 .97 Sr I 2  
 .31 Co I 150  
 (Also Co, Fe, Th, W, V II)

2844.25 Ta 40cr  
 2843.98 Fe I 300  
 .95 Ag 5  
 .78 W 3  
 .63 Fe I 25  
**2843.25 Cr II 125**  
**2842.83 Co 25d**  
 .82 Ta 200  
 .82 Th 12  
 (Also Cb, Fe, Mo, Ti I,  
 U, Zr II)  
**Co&ALT**  
 3453.605  
 3405.120  
 3455.23 Co I 2000R  
 .72 Rh I 300  
 3454.46 Co 15  
 .17 Ti I 15

3453.74 Co 15  
**3453.51 Co I 300**  
 .33 Co I 15  
 .02 Fe 15  
**3452.89 Ni I 60**  
 .68 Th 15  
 .65 Co 15  
 .62 W 15  
 .60 Mo 15  
 .28 Fe I 150  
**3451.92 Fe I 160**  
 (Also Co II, Pt, Pt  
 Ta, U, Y I)  
**3406.81 Fe I 100**  
 .13 Cb 10  
**3405.98 Co 15**  
 .94 Mo 25  
 .82 Co 25  
 .81 Ce 15  
 .75 U 12  
 .66 Bi I 100  
 .41 Cb 10  
 .33 Bi 10  
 .25 Cr 10  
 .16 V 10  
**3405.17 Co I 200**  
 .88 Fe I 150  
 .83 Ag 15  
**3404.94 Co 15**  
 .85 Zr 15  
 .86 Fe I 200  
 .43 Co 15  
 .37 Ti I 15  
 .36 Mo 15  
 .35 Fe I 15  
 .34 Co 15  
**3403.68 Co I 80**  
 (Also Fe, Ta, Th, W)

**COLUMBIUM**  
 4079.229  
 4058.974  
 3130.736  
 3094.183  
 4091.22 Co 15  
 .22 Zr I 15  
 4080.63 Ba I 15  
 .61 U 15  
 .65 Cu I 15  
 .22 Fe I 60  
 .22 Cr 15  
 .11 Pd 2  
 4079.91 Co 15  
 .72 Co 15  
 4075.22 Co 15  
**.72 Ti 15**  
**.72 Ti 15**

Tabla No. 7 (Cont.)

<b>COLUMBIUM (Continued)</b>			.07 Be II 200	4594.63 Co I 400
.67 Ce	15		.07 Th 12	.40 Cr 10
.42 Mn	50		3130.87 Ce 30	.11 Mn 12
.24 Mn	50		.80 Ti II 25	.11 V I 30wh
.21 Bi II	2h		.79 Rh I 60	4593.93 Ce 30
.19 Ta	10		<b>3130.79 Cb 100</b>	.83 Cr 12
.02 Ce	15		.73 U 10	<b>4593.18 Cs I 1000R</b>
4978.47 Ti I	125		.58 Ta 100W	4592.66 Fe I 200
.36 Fe I	80		.57 Ba I 2	.58 W 15
.32 Ce	15		.46 W 10	.54 Cr 25
.31 Zr I	10		.42 Be II 200	.53 Ni I 200
4077.81 Hg I	150		.33 Ce 30	.42 W 20
.71 Sr II	400r		.29 Ta 15 I	.21 Mo 20
.41 Co I	100wh		.27 V II 50	4591.83 Ba 15
(Also Cb, Ce II, Fe, Mo, Rh I, Th, W, V I, Y I)			.20 Ce 15	.39 Cr II 200
4060.27 Ti I	60		.01 Ag 25h	(Also Mo, Sc I, Th, U, Y)
.08 Zr I	10		3129.95 Ta 50	4556.87 W 15
4059.88 Ca 2h			.91 Th 10	.35 Ta 200
.72 Fe 15			.33 Fe I 100	.17 Cr 40
.61 Mo 10			.31 Ni I 125	.13 Fe I 150
.39 Mn 20			(Also Co I, Fe, Fe II, Ir, Ti I, Y II)	4555.92 Cu II 2
.23 Ir 30			3095.86 Cr 125	.90 Fe II 12
4058.96 Mg 2			.10 Ce II 15	.52 Zr I 30
<b>4058.34 Cb I 1000w</b>			.04 U 12	.45 Ti I 125
.93 Mn 80			3094.90 Fe I 30	<b>4555.36 Cs I 2000R</b>
.93 Ca I 3d			.83 U 10	.30 Cr 15
.77 Cr 80			.74 Th 10	.13 Zr I 15
.76 Fe I 40			.69 V I 40	.10 U 20
.60 Co I 100			.66 Mo 150	.09 Cr 15
.46 Ta 10			.20 V 20	.08 Ti I 12
.24 Co II 18			<b>3094.18 Cb II 100</b>	4554.83 Cr 25
.23 Fe 80			.01 Ir I 20	.59 Pt 10
.19 Co I 100			3093.99 Cu I 150	.51 Ru I 1000R
.16 U 10			.88 Fe 40	.04 Ba II 1000R
.14 Ti I 50			.87 Ta 50	.04 Ce 35s
.0 bhSr 3			.81 Fe I 50	4553.95 Cr 20
4057.95 Mn 80			.79 V I 30	.69 Ta 200l
.87 In 80			.74 Cd II 3	(Also Cb, Ir, Mo, Th, V, Y, Y I, Zr II)
.83 V I 10			.68 Mo 10	
.82 Pb I 2000R			.61 Ce 18	
.71 Zn II 80			.58 Bi I 10w	
.63 Mg I 10w			.51 W 12	
.62 Ti I 40			.46 Ca 2	
.58 Mo 10			.36 Fe 70	
.20 Co I 100			.34 Ce II 12	
(Also Co, Th, W)			.11 V II 100R	
3132.64 Ta 250w			3092.99 Mg I 125	
.59 Mo 1000R			.72 V 100r	
.07 Zr I 10			.71 Al I 1000	
.06 Cr II 25			(Also Ch, Ir, Rh I, Sc, Ti I, Y II, Zr I, Zr II)	
.04 Ce 15				
3131.83 Hg I 200				
.55 Hg I 400				
.21 Cr 20				
			<b>CESIUM</b>	
			4593.177	
			4555.355	
				<b>COPPER</b>
				3273.962
				3247.540
				3274.95 Ta 200
				.86 Ce 35
				.66 Ca I 20
				.40 Ta 35
				.45 Fe 80
				.22 Na II 15
				.06 Ce 10
				<b>3273.96 Cu I 3000R</b>
				.96 Mo 20
				.96 Ca 2
				.93 Co 10
				.89 Cb 20r
				.88 Th 10

Tabla No. 7 (Cont.)

**COPPER** (Continued)

.62 Sc	I	35
.13 Ta		70
.05 Zr	II	50
.03 V	I	30
.02 Mn		20
(Also Ir I, Rh, Ti I, U)		
3246.52 Ta		100
.52 Mn		100
.16 Ni	I	150
.43 Co		12
.28 Ca		1h
.21 Fe	I	200
3247.62 Mo		30
.55 Ce		15
.55 Ag		15
.55 Sb		2h
.54 Mn		125
3247.54 Cu	I	500R
.47 Cl		50w
.28 Fe	I	20
.27 Cr	I	20
.21 Fe		10
.18 Co	I	80
3247.00 Co	I	35
3246.96 Fe	I	100
.90 Ta		35h
.67 Ce	I,II	35
3245.98 Fe	I	200
(Also Ir I, Pt I, Th, U)		

**FLUORINE**

5291.0		
5292.9 bhF		150
.52 Cu	I	50
.14 Rh	I	80
.08 Mo		20
5291.0 bhF		200
5290.95 Ba		10
.94 Ce		12
.85 Fe	I	15
.72 V		10
(Also Cr, Mn, Th, U, V I, Y II, Zr)		

**GALLIUM**

4032.982		
2943.637		
4034.49 Mn	I	250r
.26 Th		10
.05 Cr	I	20
4033.91 Ti	I	40
.76 Ir		100
.73 U		12
.54 Sb		70

.43 U		12
.26 Cr	I	30
.19 Sr	I	6
.07 Mn	I	400r
.07 Cr		15
.07 Ta		100
4032.98 Ga	I	1000R
.63 Ti	I	35
.63 Fe	I	80
.54 Th		10
.52 Cb		30
.38 Sr	I	20
.21 Ir		10
4031.97 Fe		80
.83 V	I	10
.75 Ti	I	35
.67 Ce		10d
4030.76 Mn	I	500r
.49 Fe	I	120
(Also In, Ir I, Mn, Mo, Sc I, W, Zr, Zr II)		
2944.18 Ga		10
2943.91 Ni	I	50r
.90 U		10
.77 Ta		10
2943.64 Cu	I	15
.57 Fe		12
.48 Co	I	30
.20 V	I	30
.15 Ir	I	30
(Also Co, Ir, Mn, Mo, V, W)		

**GERMANIUM**

3039.064		
2651.575		
3040.85 Cr	I	500R
.81 Co	I	10
.60 Mn		50
.47 Ir	I	35
.43 Fe	I	400
.05 Th		12
3039.82 Mo		20
.78 Cr	I	60
.57 Cd		4
.57 Co		70
.50 U		10
.36 In	I	1000R
.32 Fe		20
.31 W		10
.26 U		15
.26 Ir		25
.21 Ca	I	1h
3039.06 Ge	I	1000
3038.71 V		20
.60 Th		12
.31 Co	I	25

3037.94 Ni	I	30
.39 Fe	I	700
(Also Cl, Ce, Ir, Mn, Pt II, W II, Y I)		
2652.49 Al	I	100H
.04 Hg	I	100
.01 Ce		10
2651.99 V	I	50
.75 Fe	I	60
2651.54 Co	I	30
.46 Ta		50
.18 Go	I	40
2650.86 Pt	I	700
(Also Cl, U, W)		

**GOLD**

2675.95		
2427.95		
2677.15 Pt	I	800w
2676.63 Ir	I	35
.33 Ma		10
.15 Fe		15w
.15 Sb		10
2676.98 Ce		10w
2675.95 Au	I	4000
.54 Cb		10
.50 Ta		150
.38 U		15
.87 W		2
.76 V	I	12
.40 W		10
.3 bhB		60
.28 Fe		30
.13 W		10
.12 U		15
2674.67 Pt		200
(Also Ce, Cr, Hg I, Th, Ti I, Ti II)		
2428.42 Mn		12
.29 Co	II	15
.28 V	I	30
.23 Ti	I	10
.20 Pt	I	100
.20 Ag	II	10
.10 Sr	I	100
.04 Pt	I	100
2427.95 Au	I	4000
.64 Ta		150
.62 U		12
.61 Ir	I	25
.49 W	II	100
.45 U		10
.29 W		10
.60 Co		12
2426.35 Se		75
(Also Cl, Cr, Fe, Ir, Th)		

Tabla No. 7 (Cont.)



<b>INDIUM</b>			
4511.323			
3256.090			
3039.356			
4512.74	Ti	I	100
.28	Ca	I	10
.15	Mo		25
4511.90	Cr		80
.64	Co		10
.60	Ta		300
.34	Cd		5
<b>4511.32</b>	<b>In</b>	<b>I</b>	<b>5000R</b>
.30	Sn		200
.17	Ti		40
4510.98	Ta		200W
.54	Th		30
.32	U		20
.01	Cr		15
4509.39	Cu	I	150
(Also Cb, Ir, Mn, Pt I, V, V I, Zr I)			
3257.59	Fe	I	100
.0	bhB		100
3256.77	Ta		100
.70	Fe		20
.68	Co		20
.27	Th		10
.25	Ce		12
.21	Mo		40
.14	Mn		75
<b>3256.09</b>	<b>In</b>	<b>I</b>	<b>1500R</b>
3255.89	Fe	II	20
.81	Ca		1h
.69	Ta		18h
.68	Sc	I	15
.65	V	I	25
.81	Th		10
3254.36	Fe		200
.21	Co	I	300R
(Also Cb, Ir I, Pt, Pt I, U, V, W)			
3040.85	Cr	I	500R
.43	In	I	400
.05	Th		12
3039.82	Mo		20
.78	Cr	I	80
.57	Cd		4
.57	Co	I	70
.50	U		10
<b>3039.36</b>	<b>In</b>	<b>I</b>	<b>1000R</b>
.32	Fe		20
.31	W		10
.26	U		15
.26	Ir	I	25
.21	Ca	I	1h

.06	Ge	I	1000
3038.71	V		20
.60	Th		12
3037.94	Ni	I	800R
.39	Fe	I	700R
(Also Cb, Co, Ir, Mn, Mn II, Sc II, Ti II, W II, Y I)			

<b>IRIDIUM</b>			
3515.05	Ni	I	1000R
3514.62	U		18
3513.93	Ni	I	200
.82	Fe	I	400
.68	U		10
<b>3513.65</b>	<b>Ir</b>	<b>I</b>	<b>100h</b>
.61	Ta		35
.48	Co	I	300R
.10	Rh	I	50
.07	Fe	I	10
3512.83	Ta		15
.64	Co	I	400R
(Also Cb, Co, Cr, Fe, Ni, Th, V, W, Y I, Zr I, Zr II)			

3222.07	Fe	I	200
3221.74	Mo		20
.65	Ni	I	300
.63	Ba	I	2
.38	Ti	I	25
.32	Ta		70
.29	Th		15
.28	Ir		10
.27	Ni	I	35
.21	W		12d
.17	Ce	II	50
3220.93	Cb	II	50
.87	Ce		30
<b>3220.78</b>	<b>Ir</b>	<b>I</b>	<b>100</b>
.54	Pb		50h
.40	Ce		12s
.30	Th		12
3219.81	Fe	I	100
.58	Fe	I	200
(Also Pt, Rh, U)			
2850.49	Ta		200
.04	Co	I	75
2849.84	Cr	II	80
.82	Ta		15Ws
<b>2849.73</b>	<b>Ir</b>	<b>I</b>	<b>40h</b>
.48	U		18
.38	Mo		50
.29	Cr		35
(Also Cb, Fe, Rh, W)			

<b>IRON</b>			
3720.77	Cu	I	10
.38	Ti	I	40
.31	Th		15
.25	Mo		10
<b>3719.94</b>	<b>Fe</b>	<b>I</b>	<b>1000R</b>
.93	Ba	I	2
.80	Co	II	15h
.44	Th		30
.41	W		12
.29	U		12
3718.93	Mn		75
(Also Cb, Ce, Ir, I, Pt, Ta)			
2396.09	Ir	I	20
2395.89	Ir	I	15
.79	Cr	I	25
.63	Ag		4
<b>2395.63</b>	<b>Fe</b>	<b>II</b>	<b>50</b>
.61	Ni		10
.32	Cb		15
.25	Mo		12
.20	Sb		50
(Also Co, V I, W, W II)			

<b>LEAD</b>			
4057.23	Ir		30
4058.96	Mg		2
.94	Cb	I	1000w
.93	Mn		80
.93	Ce	I	3d
.77	Cr	I	80
.76	Fe	I	40
.60	Co	I	100
.46	Ta		10
.24	Ce	II	18
.23	Fe		80
.19	Co	I	100
.10	II		10
.14	Ti	I	50
.0	bhSr		3
4057.95	Mn		80
.87	In		80
.83	V	I	10
<b>4057.82</b>	<b>Pb</b>	<b>I</b>	<b>2000R</b>
.71	Zn	II	80
.63	Mg	I	10w
.62	Ti	I	40
.58	Mo		10
.35	Fe	I	20
.34	Th		10

Tabla No. 7 (Cont. )

**LEAD (Continued)**

4057.20 Co	I	100
.10 Ca		2
.07 V	I	2
4056.98 Co	I	20h
.90 Ce		15
.79 Cr		15
.7 Cu	I	8wh
.67 Sr	II	4
.47 Ir		12
.32 Mo		15
(Also Ni I, Rh I, Sc I, W, Zr I)		
3641.10 V	I	100h
3640.39 Ba		3
.39 Fe	I	300
.39 Cr	I	30
3639.80 Cr	I	60
.53 Zn		20
.51 Rh	I	125
.50 U		25
.45 Th		10
.44 Co	I	200
.33 Cb		15
.02 V	I	70
3638.79 Pt	I	250
.79 Cb		10
.30 Fe	I	100
(Also Ce, Co II, Ir, Mn, Mo, Ti I, W, Y I, Zr, Zr I)		
2833.64 Ta		300w
.63 W		15
.40 Fe		10
.31 Co		50d
2833.07 Pb	I	500R
2832.95 W		10
.44 Fe	I	300
(Also Cb, Ir, Rh I, Th, U, Zr)		
2614.67 Mg	I	5
.67 Sb		4
.61 Pt	I	10
.49 Fe	I	40
.20 Ir	I	10
2614.18 Pb		200r
2614.18 Sn		5
.17 Ta		200wh
.13 Co	I	30
2613.95 U		10
.90 Co		15
.82 Fe	II	400
.82 W		15
.72 Mo		15
.72 Bi		8
.65 Pb		50R

.59 Mn		12
(Also Cb, Co II, V)		
<b>LITHIUM</b>		
		6707.844
		6103.642
		3232.61
6709.88 Cb		15
.39 Ta		10
6708.18 W		20
6707.86 Co		200Wh
.85 Mo		300W
6707.84 Li	I	300R
6705.9 bhSc		6
(Also Ce, V I, Zr I)		
6195.47 Co	I	10h
.30 Cb		10
6104.57 Th		12
6103.64 Li	I	200R
6102.74 Co		10
.72 Ca	I	80
.72 Rh		100
.71 Cr		10
.54 Zn	II	6
.18 Fe	I	15
6101.9 bhSc		30
.87 Mn		40
.65 Au		5
.58 Ta		150
(Also Ce, Fe I, U)		
3234.61 Fe	I	200
.52 Ti	I	100
3233.97 Fe		300
.54 V	I	10
.54 Be	II	5
.44 Ce	II	30
.42 Pt	I	40
3233.7 Ag		5
.23 Cr	I	30
.19 V	I	40
.14 Mn		50
.05 Fe		100
3232.96 Ni	I	300R
.07 Co	I	60
3232.61 Li	I	1000R
.50 Si	I	150
.35 Pb		30
.29 Ce		15
.28 Ti	II	30
.26 Ta		25
.16 U		12
.06 Os	I	500R
.00 Ir		20
3231.69 Zr	II	10
.67 Ta		18h

3230.97 Fe	I	200
.86 Ta		200
(Also Rh, Rh I, Th, Th I, W, W I, Y I, Zr I)		
<b>MAGNESIUM</b>		
		2852.129
		2802.695
		2795.53
2852.83 Na	I	100R
.75 U		15
.53 Ag		1
.13 Mo		200
.13 Ir		200
.13 Fe		150
2852.13 Mg	I	300R
.12 Ce		300
2851.97 Zr	II	12
.80 Fe	I	200
.75 V	I	100
.65 Mg	I	25
2850.99 Ta		400
(Also Cb, Th, V)		
2803.24 Pt	I	400
.17 Fe	I	15
.12 Fe		35
2802.95 W		12d
.80 Mn		12
.40 V		15
2802.71 Co		100
.70 Ta		10
.70 Co		10
2802.70 Mg	II	150
.66 Cu	I	10
.58 U		15
.49 Ta		15
.41 Mn		12
.35 Mo		15
.27 Ni		50
.07 Ta		200
.00 Pb		200R
(Also Cb, Hg, Ni I)		
2796.34 Ta		400
2796.85 Fe		15W
.02 Os	I	18
.62 Cr		35
.70 Rh	I	15
.54 Fe	I	90
.53 Ag		10
2795.53 Ag	I	160
.53 Co		30
.23 Co		30
.00 W	I	50
2794.62 Au		100R
.00 Os		100R
(Also Co, W, Zr)		

Tabla No. 7 (Cont.)

MANGANESE								
4034.490			.68 Zr	II	40	.73 Y	I	10
4033.073			.64 Fe	I	80	.53 Cr	I	12
4030.755			4028.95 Zr	I	40	.17 Co	I	10
2794.82			.79 W		12	(Also Fe, Pt, I, Th, U, V, I, Zr II)		
2576.104			.41 Ce	II	35			
			.35 Ti	II	30			
4035.89 Ta		10	(Also Co, In, Ir, I, Mo, Y, Y I, Zr)			2536.93 V		10
.89 Zr	I	40				.85 Mo		25
.83 Ti	I	50	2795.53 Mg	II	150	.82 Fe	II	10
.73 Mn		50	.23 U		18	.71 Rh		15
.63 V	II	40	.01 Fe	I	50	.56 Bi		5h
.55 Co	I	150	2794.82 Mn	1000R		2536.52 Hg	I	2000R
.36 W		10	.82 Co		100R	.49 Pt	I	100
4034.91 Ti	I	25	.70 Fe	I	50	.23 Ta		100W
.52 Cb		10	(Also Co, Ir, I, Mo, Zr I)			2535.65 P	I	100
4034.49 Mn	250r		2577.26 Pb		100wh	.60 Fe	I	1000
.26 Th		10	2576.69 Fe	I	40	(Also Co, I, Fe, Ir, Th, U, W)		
.05 Cr	I	20	.69 Th		15	MOLYBDENUM		
4033.91 Ti	I	40	.30 Hg	I	20	3864.110		
.76 Ir		100	2576.10 Mn	II	300R	3798.252		
.73 U		12	.10 Co		30	3170.35		
.54 Sb		70	2575.74 Ag		10h	2816.154		
.43 U		12	.74 Fe		80	3865.53 Fe	I	600
.26 Cr	I	30	.74 Ir	I	10	.04 Cb		10d
.19 Sr	I	6	.51 Mn		150	3864.86 V	I	100r
4033.07 Mn	I	400r	.47 Ta		80	.50 Ti		15
.07 Cr		15	2575.47 W		10	.34 W		12
.07 Ta		100	.41 Al		30	.34 Zr	I	50
4032.98 Ga	I	1000R	.10 Al		200R	.30 V	I	30
.63 Ti	I	35	(Also Co, Ce, Mo, Rh, Rh I, V, W II, Zr I)			3864.11 Mo	I	1000R
.53 Fe	I	80	MERCURY			3863.87 Zr	I	20
.54 Th		10	4358.35			.87 V	I, II	25
.52 Cb		30	2536.519			.74 Fe	I	60
.38 Sr	I	20	4359.85 Cb		50	.61 Co	I	30
.21 Ir		10	.81 Mn		25	.39 Th		20
4031.97 Fe		80	.65 Sc		12	.38 Cb		15
.83 V	I	10	.63 Cr	I	200	(Also Co, Ce II, Fe, Fe II, U)		
.75 Ti	I	35	.63 Mn		15	3800.12 Ir		150
.67 Ce		10d	.62 Mo		15	3799.55 Fe	I	400
.40 Sc	I	10	.59 Ni	I	100	.31 Rh	I	25
.34 Ce	II	40	.58 Ir		12	.27 V	I	10
.22 V	I	10	.55 Ba		15	.26 Mn		80
.13 Cr		30	.43 Co	I	15	.22 Th		13
4030.86 Th		10	.08 Sc		12	.00 Zn	I	5
.76 Zr	I	20	.07 Ce		13	3798.84 U		15
4030.76 Mn	I	500r	4358.74 Zr	I	10	.51 Fe	I	1000R
.68 Cr		40	.73 Y	II	60	.31 T.	I	1000R
.67 Ta		10	.65 Ta		10	3798.25 Mo	I	1000R
.66 Sc	I	10	.65 Sc	I	10	.12 Cb		50
.51 Ti	I	80	.55 Mo		20w	2797.77 U		10
.49 Fe	I	120	.51 Fe	I	70	.72 Cr	I	100
.23 Sr	I	40	4358.35 Hg	I	3000w	.52 Fe		300
.14 Ce	II	10	4357.91 Ce		12	(Also Co, Ce II, Ir I, Ta, W)		
.11 Fe	I	15				3171.35 Fe	I	100
.10 Fe	I	30				3170.86 U		10

Tabla No. 7 (Cont.)

**MOLYBDENUM (Continued)**

.58 Ag	5
.43 Th	10
<b>3170.35 Mo</b>	<b>1000R</b>
.35 Fe	II 10
.29 Ta	250w
.20 W	15
.07 Co	12
3169.93 W	10
.85 Ca	I 10
.77 Co	100
.68 Cu	I 50
.58 Cr	I 25
(Also Cb, Fe, Ni I, Ti I)	
2817.10 Ta	80d
<b>2816.15 Mo</b>	<b>II 200</b>
.08 Th	10
2815.97 V	12
.91 Mo	20
.60 Mn	12h
.12 Ta	100
(Also Co, Fe, U)	

**NICKEL**

3524.541	
3515.054	
3492.956	
3414.765	
3525.4	bhSr 8
.23 Cb	15w
.16 Ti	I 10
3524.99 Ba	I 20
.72 V	II 10
<b>3524.64 Ni</b>	<b>I 1000R</b>
.54 Mn	15
.54 Zr	I 9
.24 Zr	12
.24 Fe	I 60
.24 Cu	I 40
.07 Fe	50
3523.70 Co	I 15
.59 Cr	10
.44 Ni	I 100
.43 Co	I 300r
(Also Ca, Ir, Mo, Th, Ti, U, W)	
3515.95 Ir	I 35
.55 Be	I 30
.42 Cb	20
.11 Zn	I 2h

.48 Co I 300R  
(Also Co, Ce II, Fe, Mo, Pt, Ta, Th, V, W, Zr, Zr I, Zr II)

3494.00 U	12
3493.72 Ce	II 18
.53 Th	30
.47 Fe	II 40
.47 Ta	15W
.28 Ti	I 15
.17 V	II 15
.11 Co	12
3492.96 Mn	10
<b>3492.96 Ni</b>	<b>I 1000R</b>
.25 Ce	12
.0 bhZr	30
3491.99 Co	I 10
.32 Co	I 200R
(Also Cb, Fe, Fe I, Ir I, Mo, W, W I, Zr I)	
3415.78 Co	II 100R
.78 Cu	10Wh
.63 Mo	10
.61 Ce	10
.53 Fe	I 60
.53 Co	I 20
.38 Ca	2
.24 Ir	10
<b>3414.77 Ni</b>	<b>I 1000R</b>
.74 Co	I 200W
.66 Zr	II 20
.55 Ag	I 4
.20 V	I 20
.14 Ta	18W
.07 Cb	10
3413.94 Ni	I 300
.48 Ni	I 500
.14 Fe	I 400
3412.63 Co	I 1000R
(Also Co II, Cr, Ir I, Th, U, W, Y, Zr I)	

**PHOSPHORUS**

2551.20	
2535.65	2534.01
2553.82 W	12
.70 Mo	15
.67 V	10
.60 W	10
.56 Cd	I 25
.41 Ag	II 2
.38 Ni	I 20
.37 Co	I 10r
<b>2553.20 P</b>	<b>I 60</b>
.20 Fe	10
.18 Ta	100

.16 W	12
.06 Cr	I 20
.00 Co	I 40r
2552.98 Ti	I 10R
.96 V	10
.87 Mo	20
.77 Fe	20
(Also Cb, Co, Fe I, U, Zr II)	

2536.52 Hg	I 2000R
.49 Pt	I 100
.23 Ta	100W
2535.97 Ni	25
.97 Pt	25
.96 Co	I 10r
.87 Ti	II 20
<b>2535.65 P</b>	<b>I 100</b>
.60 Fe	I 1000
.60 Ta	50h
.31 Ag	II 10
.10 W	12
2534.97 Ta	30
.95 U	12
.83 V	20
.78 Hg	I 30
.68 W	12
.62 Ti	II 25
.52 V	II 10
.47 Ta	25
.46 Ir	I 100
<b>2534.81 P</b>	<b>I 50</b>
2533.98 W	10
.91 Cd	I 2
.81 V	10
.80 Fe	12
.63 W	10
.13 Ir	I 100
(Also Cb, Co, Co, Cr II, Fe II, Ir, Rh, Th, V I, W II, Zr II)	

**PLATINUM**

3064.712	
2929.794	
2659.454	
3066.38 V	I 400r
3065.26 Cb	I 10
.11 Sc	II 120
.07 Cr	20
.04 Mo	30
<b>3064.94 W</b>	<b>100</b>
<b>3064.71 Pt</b>	<b>I 200</b>
.62 Ni	I 20
.56 Mo	I 20
.50 Ta	I 20
.47 Na	II 20
.47 Co	I 20
.40 Fe	I 20

Tabla No. 7 (Cont.)

<b>PLATINUM (Continued)</b>		.21 Mn	15	.82 W	8
.28 Mo	80	.13 Mn	15	.38 Co	I 400R
.02 Ce	15	4044.82 U	10	(Also Fe, Ni, Ni I, Ta, Th, Y I, Zr)	
3063.93 Fe	40	.61 Fe	I 70	<b>RUBIDIUM</b>	
.88 Ta	18	.56 Zr	I 25	7800.227	
.73 V	I 35	.42 Ca	5d	4201.851	
.73 Cd	2	.42 U	18	7801.30 Si	3h
.42 Cu	I 300	.29 W	15	7800.44 Sc	I 40
(Also Ir, Sc, U, V, W II, Zr II)		<b>4044.14 K</b>	<b>I 800</b>	<b>7809.23 Rb</b>	<b>I 9000R</b>
2930.25 Mn	25	4043.91 Fe	I 25	.0 Si	4Wh
.18 Ir	I 12	4043.80 Sc	I 12	7799.37 Zn	I 10
.15 W	10	.78 Ti	I 20	7798.26 Ba	I 4h
<b>2979.79 Pt</b>	<b>I 800R</b>	.70 Cr	30	7797.62 Ni	I 80
.62 Fe	I 50	.58 Zr	I 25	(Also Co, Ta, U, Y I, Zr II)	
.61 Co	I 75	.15 Th	10	4203.99 Fe	I 200
.35 Ag	II 20	4042.87 Mo	15	.59 Cr	I 100
.11 Rh	I 100	.75 U	40	.22 Ca	I 2
.01 Fe	I 150	.64 V	I 15	4202.94 Co	II 40
(Also Mo, U, V, Y II)		(Also Cb, Co, Hg II, Ir)		.76 Fe	I 10
2660.39 Al	I 150R	<b>RHODIUM</b>		.52 Sr	I 6
2659.66 Ta	15	3434.893		.03 Fe	I 400
.6 hC	20	3396.85		<b>4291.85 Rb</b>	<b>I 2000R</b>
<b>2659.45 Pt</b>	<b>I 2000R</b>	3435.82 Cr	30	.76 Mn	I 40
.41 Ta	20	.68 Cr	I 20	.72 Ni	I 30
2658.98 V	10	.56 Sc	I 12	.52 Cb	I 10
.93 Fe	10	.53 U	15d	.46 Zr	I 50
(Also Ch, Co, Ga, Ir, Ir I, Rh I, Th, U)		.43 Ti	10	4200.93 Fe	I 80
<b>POTASSIUM</b>		.21 Ce	20	.75 Ti	I 35
4047.201		.20 U	10	.57 Mo	15
4044.140		<b>3434.89 Rh</b>	<b>1000r</b>	.46 Ni	I 40
4048.67 Zr	II 30	.79 Mo	50	4199.10 Fe	I 300
.4 Bi	II 3h	.76 Ir	I 10	(Also Co, Ir, Pt I, Ta, Th, U, V II)	
4047.79 Sc	I 25	.65 Ag	I 2h	<b>SCANDIUM</b>	
.63 Y	I 50	.61 U	12	4023.688	
.61 U	18	.50 Ta	35	3630.740	
.35 Ca	2	.28 Sr	I 2	4026.17 Cr	100
.28 Ce	18	.11 Cr	I 30	4025.15 Ce	12
<b>4047.20 K</b>	<b>I 400</b>	.00 Th	12	.14 Ti	II 15
4046.76 Cr	I 30	3433.97 Cu	I 5h	.01 Cr	100
.70 W	10	.56 Ni	I 800R	4024.92 Zr	I 25
.56 Hg	I 200	.04 Co	I 1000R	.74 Fe	I 120
.49 Sc	I 10	(Also Fe I, V, W, Zr II)		.68 Ce	3wh
.34 Co	I, II 30	3397.84 V	I 30	.57 Ti	I 80
4045.82 Ag	10	.69 Mo	20	.57 Cr	I 20
.82 Fe	I 400	.64 Fe	I 10	.49 Ce	15
.39 Co	I 400	.21 Bi	I 100wh	.09 Mo	30
(Also Ch, Ir, Mo, Ni I, Rh, Th, V, Zr I)		.20 U	12	4023.98 Zr	I 30
4045.82 Fe	I 400	.08 Ce	12	.74 Cr	40
.61 Zr	II 10	3396.98 Fe	I 125	<b>4023.69 Sc</b>	<b>I 100</b>
.60 W	12	<b>3396.85 Rh</b>	<b>I 1000w</b>	.43 Cr	I 15
.39 Co	I 400	.72 Ce	15	.40 Co	I 200
		.62 V	I 15	.38 V	II 10
		.33 Zr	II 12		
		.32 Cu	I 30		
		3395.93 Ch	10		

Tabla No. 7 (Cont.)

**SCANDIUM (Continued)**

.22 Sc	I	60
.14 Rh	I	10
4022.66 Cu	I	400
.27 Ce	I	15
.26 Cr	I	80
4021.87 Fe	I	200
.83 Ti	I	100

(Also Cb, Ni I, Th, U, W, V  
I, Zr, Zr II)

3631.71 Ir	I	10
.69 Cr	II	10
.48 Fe	I	500
.39 Co	I	50W
.27 Na	II	12
.19 Ce I, II		50
.10 Fe	I	25
3630.95 Ca	I	10
.75 Ca	I	150
<b>3630.74 Sc</b>	<b>II</b>	<b>50</b>
.64 Ba	I	15
.35 Fe	I	40
.32 W	I	10
.02 Zr	II	15
3629.92 Sb	II	2
.79 Cu	I	15
.76 Ir	I	15
.74 Mn	I	100

(Also Cb, Co, Ni I, Ti, U)

**SELENIUM**

4730.78  
2039.851

4732.47 Ni	I	100
.30 Sc	I	10
.06 Co	I	40
4731.81 Ni	I	100
.60 U	I	40
.44 Mo	I	100
.17 Ti	I	50
<b>4730.78 Se</b>	<b>I</b>	<b>1000Spk</b>
.71 Cr	I	100
.4 Mn	I	15
.16 Mg	I	2
.2 Ta	I	100
.7 Cr	I	30
.7 Fe	I	75
.1 Mo	I	30
.1 Ti	I	15
.1 U	I	15
.1 W	I	15
.1 Zr	I	15
.1 Zr II		15
.1 Zr III		15
.1 Zr IV		15
.1 Zr V		15
.1 Zr VI		15
.1 Zr VII		15
.1 Zr VIII		15
.1 Zr IX		15
.1 Zr X		15
.1 Zr XI		15
.1 Zr XII		15
.1 Zr XIII		15
.1 Zr XIV		15
.1 Zr XV		15
.1 Zr XVI		15
.1 Zr XVII		15
.1 Zr XVIII		15
.1 Zr XIX		15
.1 Zr XX		15
.1 Zr XXI		15
.1 Zr XXII		15
.1 Zr XXIII		15
.1 Zr XXIV		15
.1 Zr XXV		15
.1 Zr XXVI		15
.1 Zr XXVII		15
.1 Zr XXVIII		15
.1 Zr XXIX		15
.1 Zr XXX		15

2040.33 Pt		15
<b>2039.85 Se</b>	<b>I</b>	<b>1000Spk</b>
.79 Te		300
.70 Pt		12
.60 Sb		15
.43 Ir		25
.31 Cr		25h

(Also Rh, W, Zr)

**SILICON**

2881.578		
2528.516		
2516.123		
2506.899		

2882.37 Rh		80
.01 Th		10
<b>2881.58 Si</b>	<b>I</b>	<b>500</b>
.58 Ce		40
.25 Rh	I	20
.23 Ta		30
.23 Cd	I	50R
.16 Ir		15
.15 Th		10
.14 Cr		25
.14 Na	II	8
.13 Ce		12

2880.77 Cd I 200R  
(Also Co, Cr, Ir I, Ti I, U, W)

2529.13 Fe	I	80R
.13 Mn		80
2528.97 Ni		20
.97 Co	I	50R
.84 V		25
.70 Mn		12
.54 Sb	I	300R
<b>2528.52 Si</b>	<b>I</b>	<b>400</b>
.47 V		50
.29 Ce		15
.24 Cr	I	30
.10 U		10
.05 Ni	I	20
.01 Cr	I	35
2527.99 Ti	I	15

(Also Co II, Fe, Mo, Ta, W)

2516.58 W		12
.57 Fe	I	10
<b>2516.32 Si</b>	<b>I</b>	<b>500</b>
.12 V		25
.11 Mo		25
.11 Zn	I	150W
.25 Th	I	60
.43 Cr	I	100
.44 Mn		15
.58 Pt	I	500

2507.45 Ta		150
.33 Cr		15
2506.91 V	I	50R
<b>2506.90 Si</b>	<b>I</b>	<b>300</b>
.88 Ag	II	2
.88 Co	I	10W
.60 Ir		10
.60 Ag	II	15
.57 Fe		10
.46 Co	II	50W
2505.93 Pt		150

(Also Cb Fe II, U)

**SILVER**

3382.891  
3280.683

3383.98 Fe	I	200
.80 Cb		15
.76 Ti	II	70
.70 Fe	I	100
.69 Co		20
.39 Ce		12
.14 Sb		40

**3382.83 Ag** **1000R**

.68 Cr	II	35
.61 W		10
.48 Mo		15
.41 Fe	I	50
.31 Ti	I	30
.29 Mo		10
.28 Bi		2
.08 Cr		30
.00 Au	II	6
3381.50 Co	I	100W

(Also Cb, Pt, Th, U, Y, Zr)

3281.50 Ba	I	25
.48 Ca		1h
.30 Fe	II	15
.10 Co		18
.07 Mo		25
3280.76 Mn		60
.69 Cu		10

**3280.68 Ag** **I** **2000R**

.68 Eu		1000R
.55 Rh	I	30R
.49 Ce	II	15
.37 Th		10
.26 Fe		150
.00 Ti	II	10
3279.85 V		20
.84 Ce I, II		30
.82 Cu	I	25

(Also Cb, Co, Ta, U, Y)

Tabla No. 7 (Cont.)

<b>SODIUM</b>	
5895.923	
5889.953	
3302.323	
<b>5895.92 Na I 5000R</b>	
.70 Pb	20ht
5894.35 Zn II	3
.07 Ir	I 20
5893.9 bhY	10
(Also Fe, Mo, Sc I, Ta)	
5891.61 W	12
.56 Mo	25h
5889.99 Cr	12
.98 Mo	50h
<b>5889.95 Na I 9000R</b>	
5888.68 Ti	15
.33 Mo	150
.01 Cr	20
(Also Co I, Ta, Th)	
3303.28 Mn	40
.23 Ce II	10
3302.99 Na I 300R	
.94 Zn	700R
.94 Ca	4
.91 Ce	10W
.88 Cr	30
.77 Ta	50
.67 Zr II	10
.59 Zn I	800
.55 Bi	150
<b>3302.32 Na I 600R</b>	
.19 Cr	50h
.13 Pa I	1000wh
3301.91 Ce	10
.90 Ta	25
.86 Pt	I 300
.75 U	10
.73 Sr	I 100
.62 Ca	4
(Also Cb, Fe II, Ir I, Mo, Pt, Th, Ti II, W II, Y)	

<b>STRONTIUM</b>	
4607.331	
4077.714	
4608.71 Mo	10
.12 Rh	I 15
4607.65 Fe I	50
.63 Mn	50
.34 Au	I 30
<b>4607.33 Sr I 1000R</b>	
4606.8 bhSc	10
.77 Cb	50
4606.40 Ce	12
.38 Cr	15

.23 Ni	I 100
.2 hhSr	2
.15 V	I 30
4605.36 Mn	150
4604.99 Ni	I 300
(Also Co, Th, Ti, U, V, W, Y II)	
4079.72 Cb	I 500w
.24 Mn	50
.21 Bi	II 2h
.19 Ta	10
.02 Ce	15
4078.58 Sc	I 10
.47 Ti	I 125
.36 Fe	I 80
.32 Ce	15
.31 Zr	I 10
4077.81 Hg	I 150
.79 U	15
.72 Sn	2
.72 Cu	5
<b>4077.71 Sr II 400r</b>	
.68 Cr	30
.47 Ce II	18
.41 Co I	100wh
.37 Y	I 50
.15 Ti	I 18
.09 Cr	35
4076.64 Fe	I 80
.55 Ir	25
.53 Zr	I 10
.38 Ti	I 15
.35 Y	30
.33 Au	II 4
.24 Ce	12
.19 Mo	25
.13 Co	I 70
(Also Cb, Fe, Rh I, V I, W, Zr II)	

<b>SULFUR</b>	
4695.45	
4694.13	
<b>4695.45 S I 30Spk</b>	
.15 Cr	50
4694.66 W	12
<b>4694.13 S I 60Spk</b>	
.00 Th	IR
4693.95 Cr	50
.93 Mo	20
.73 W	50
.68 Ti	I 25
.35 Ta	I 150
.21 Co	I 500
4692.7 bhSr	5
4691.9 Ta	400
.62 Ba	100
(Also Cb, Ce, U, Zr I)	

<b>TANTALUM</b>	
3318.840	
3311.162	
3320.26 Ni	I 400w
3319.83 Co	I 35
.68 Cu	I 60
.59 Mo	10
.48 Co	80
.25 Fe	70
.21 U	10
.16 Co	I 60
.03 Zr	II 25
.02 V	I 15
3318.98 Cb	10
.96 Ce	II 15
<b>3318.84 Ta 125</b>	
.65 Au	3
.53 Ta	70
.53 Y	II 12
.40 Co	I 35
.36 Ti	I 12
.08 Cr	80wh
.03 Na	II 6
.03 Ti	II 60
3317.93 Ta	200
.80 Ce	15
.31 Mn	100
.12 Fe	I 100
(Also Ir, Ir I, Th, W)	
3312.15 Co	I 60
.13 Ir	I 25
.08 Cr	I 10
3311.91 Mn	75
.85 Sr	1
.72 U	10d
.50 Ce	15
.38 W	15l
.30 Cr	I 8
<b>3311.16 Ta 300w</b>	
.00 Cu	I 3
3310.88 Ce	10
.77 Mo	20
.62 U	10
.53 Ir	I 30
.51 Ag	I 2
.50 Fe	50
.34 Fe	100
.20 Ni	I 50
(Also Cb, Cr, Cr II, Fe I, Fe II, Th, Zr, Zr II)	

<b>TELLURIUM</b>	
2385.76-2383.25	
2386.19 Cr	I 20
.15 Ir	15
.14 Rh	80

Tabla No. 7 (Cont.)

**TELLURIUM (Continued)**

2385.86 Ir	I	20
<b>2385.76 Te</b>	<b>I</b>	<b>600</b>
.74 Cr	I	25
.23 Y		12
.01 Ni		10
<b>2384.86 Co</b>	<b>I</b>	<b>10R</b>
.82 W		12
.65 Rh		25
.39 Fe		20
.38 Ni	I	15
.28 V	I	15
.17 Zr		25
.05 Mn		40
<b>2383.79 Ir</b>	<b>I</b>	<b>15</b>
.64 Pt	I	30
.63 Sb		75
.52 Mo		12
.46 Co	II	15
.40 Rh		50
.33 Cr	I	20
<b>2383.25 Te</b>	<b>I</b>	<b>500</b>
.17 Ir		10
<b>2382.99 W</b>	<b>I</b>	<b>15</b>
.89 Rh		50

(Also Cb, Co, Fe I, Fe II, Ta, U, V, W II)

**THALLIUM**

5350.46		
3519.24		
3229.75		
<b>5353.49 Co</b>	<b>I</b>	<b>500w</b>
<b>5352.66 Cu</b>	<b>I</b>	<b>6</b>
.35 Mo		10
.1 bhF		10
.05 Co	I	500w
<b>5351.90 W</b>	<b>I</b>	<b>20</b>
.08 Ti	I	50
<b>5350.74 Cb</b>	<b>I</b>	<b>150</b>
<b>5350.46 Tl</b>	<b>I</b>	<b>500R</b>
.45 W		18
<b>5349.88 Mn</b>	<b>I</b>	<b>20</b>
.62 Ba		7
.57 Ta		30
.47 Ca	I	12
.31 Rh		20
.29 Sc	I	30
.09 Ta		80
.09 Co	I	80
<b>5348.95 W</b>	<b>I</b>	<b>30</b>
.32 Cr	I	150R

(Also Fe I, Th, U, Zr, Zr I, Zr II)

3521.26 Fe	I	300
3520.08 Co	I	100W

.07 Sb		4
.06 Cb		20
.03 Cu	I	30
<b>3519.77 Ni</b>	<b>I</b>	<b>500h</b>
.74 Co		18
.61 Zr	I	100
.54 Rh	I	40
<b>3519.24 Ti</b>	<b>I</b>	<b>2000R</b>
.18 Bi		10
.17 V	I	10
.08 Co		25
<b>3518.38 Fe</b>	<b>I</b>	<b>10</b>
.63 Ni	I	90
.48 W		10
.37 Co		12
.35 Co		200w

(Also Co, Cr, Fe, Ir I, Mo, Th, Ti I, V II)

<b>3230.97 Fe</b>	<b>I</b>	<b>300</b>
.86 Ta		200
.72 Mn		75
.65 V	I	20
.64 Au I, II		15
.29 Pt	I	100
.21 Fe	I	100
.08 Co		10
<b>3229.99 Fe</b>	<b>I</b>	<b>20</b>
.99 Ag		1
.88 Ta		35h
.87 Fe		10
.79 Mo		25
<b>3229.75 Ti</b>	<b>I</b>	<b>2000</b>
.69 Re	I	15
.61 V	I	25
.60 Co		40
.59 Fe		10
.50 U		18
.42 Ti	II	15
.37 Mg	I	25
.36 Ce	II	25
.28 Ir	I	35
.23 Ta		300w
.20 Cr		35
.19 Ti	II	30
.12 Fe	I	80
.12 Co		25
<b>3228.97 Th</b>	<b>I</b>	<b>12</b>
.91 Fe		80
.81 Zr	II	10
.25 Fe	I	100
.09 Mn		100
<b>3227.75 Fe</b>	<b>II</b>	<b>200</b>

(Also Cb, W, W II)

**THORIUM**

4014.157		
3290.56 Spc		

<b>4020.91 Co</b>	<b>I</b>	<b>30</b>
.46 Mo		20
.40 Sc	I	20
.1 bhSr		20
.09 Mn		50
.03 Ir		20
<b>4019.79 Mo</b>	<b>I</b>	<b>10</b>
.64 Pb		5
.30 Co	I	80
.23 W		18
<b>4019.14 Th</b>	<b>I</b>	<b>40</b>
.04 Co		15
<b>4018.99 U</b>	<b>I</b>	<b>25</b>
.28 Fe	I	50
.20 Cr	I	25
.12 Zr		25
.10 Mn		30
<b>4017.77 Ti</b>	<b>I</b>	<b>700</b>
.72 U		25

(Also Cb, Co II, Fe, Ni, U, W)

<b>3292.59 Fe</b>	<b>I</b>	<b>40</b>
.02 Fe		10
<b>3291.34 U</b>	<b>I</b>	<b>10</b>
.06 Cb		20
<b>3290.99 Cr</b>	<b>I</b>	<b>20</b>
.99 Fe	I	100
.99 Mn		20
.82 Mo		40
.72 Fe		10
<b>3290.59 Ta</b>	<b>I</b>	<b>20</b>
.54 Cu	I	20
.42 Cu	I	20
<b>3290.39 Fe</b>	<b>I</b>	<b>20</b>
.22 Fe		10
.09 Co		10
<b>3289.89 Y</b>	<b>I</b>	<b>10</b>
.04 Mo		15
.04 Ta		20
.64 Rh		50R
.14 Rh	I	150

(Also Co, Ir, Ir I, Ti I, V, W)

**TIN**

3262.326		
3175.019		
2863.327		
<b>2839.989</b>		
<b>3263.24 V</b>	<b>I</b>	<b>20</b>
.21 Co	I	20
.14 Rh	I	20
.11 U		20
.07 Co	I	20
.06 Cu		20
<b>3262.01 Fe</b>	<b>I</b>	<b>20</b>
.07 Fe		20
.03 Fe		20

Tabla No. 7 (Cont.)



**TIN (Continued)**

3262.33 Sn	I	400h
.29 Os	I	500R
.28 Fe		50
.28 Ba	I	3
.06 V	I	10
.01 Fe		30
.01 Ir	I	20
3261.96 Ba	I	40
.88 Cb		10
.72 U		15
.61 Ti	II	70
.33 Fe		25
.06 Cd	I	300
(Also Ce, Co, Pt, W)		
3175.99 Fe		12
.84 Mg	II	5
.73 Th		12
.45 Fe	I	200
.11 Te	I	30
.06 Ce		10
3175.02 Sn	I	500h
3174.91 Co	I	80
.65 Mn		15h
.17 Th		10
.14 Co	I	20
.08 Ce		15
(Also Cb, Mo, Pt, Ta, U, V, W II)		
2863.88 W		10
.86 Fe	I	125
.84 Ir	I	15
.81 Mo		30
.75 Bi	I	80w
.44 Fe		100
.34 Ce		12
2863.33 Sn	I	300R
.05 V	I	20
2862.94 Rh	I	150
.84 Mo		10
.79 Ce	II	15
.50 Fe	I	100
(Also Co, Fe, Mn, Sc II, U, V)		
2840.42 Fe	I	125
.22 Ir	I	15
.02 Cr		25
.00 Mn		20
2233.99 Sn	I	300R
.89 U		18
.59 Mo		25
.56 Na	II	2
.44 V	I	12
(Also Co, Fe, Mn, Sc II, Ta, Th, U, V, W II)		

**TITANIUM**

3372.800		
3349.035		
3199.92		
3374.22 Ni	I	400
3373.75 W		10
.73 Ce	II	25
.73 U		10
.46 Ce		25
.42 Zr	II	12
.23 Co	I	60
.00 Pd	I	800r
.00 Pt		10
3372.80 Ti	II	80
.77 Y		15
.68 Ca		1
.56 Cb		10h
.53 Rh	I	10
.51 Ag	II	1
.25 Rh	I	300
.21 Ti	II	10
.08 Fe	I	40
.00 Ca		2
3371.99 Ni	I	400
.45 Ti	I	100
3370.79 Fe		300
(Also Mo, Th, Sc II)		
3350.89 Rb	I	150
3349.87 Ce	II	30
.52 Cb		30
.41 Ti	II	100
.40 Au		15
.32 Cr		35
.29 Cu	I	70
.07 Cr		125
.06 Cb		80
3349.04 Ti	II	125
3348.84 Ti	II	12
.72 Rb	I	100
.72 Ca	I	15
.11 Co	I	80
3347.93 Fe	I	150
(Also Ce, Co, Fe, Mo, Sc I, Th, Ti I, U, W)		
3200.89 Ag		1h
.89 Ir	I	10
.84 Ca		1
.78 Fe	I	25
.71 Pt	I	100
.52 Ce		10
.48 Fe	I	150
.42 Ni		30
.77 Y	II	30
.72 Se	I	15
.44 V	I	12
3199.92 Fe	I	300

.82 V	I	25
.53 Fe	I	300
.32 Co	I	35
.28 Ce		25
3198.99 Sr	I	10
.97 Th		10
.92 Ir	I	30
.67 Ta		125
.01 V	I	100r
(Also Cb, Mo, Pt, Sc II, W, Zr II)		
<b>TUNGSTEN</b>		
4302.108		
4068.753		
2944.396		
4303.53 V		15
.24 Co	I	15
.17 Fe	II	12
4302.98 Ti	I	10
.98 Ta		125W
.89 Zr	I	100
.77 Cr		46
.7 bhSr		4
.65 Ce		10
.53 Ca	I	50
.29 Y	I	30
.19 Fe	I	50
.14 Bi	II	2h
4302.11 W	I	60
4301.93 Ti	II	25
.93 Mo		10
.60 Ir		200
.53 Ce		10
.47 U		15
.26 Mo		20
.18 Cr		100
.09 Ti	I	150
4300.99 Cb		30
.86 Ce		15
.64 Ir		10
.57 Ti	I	125
.51 Cr		100
4299.72 Cr	I	100
(Also Th, V I)		
4010.26 Ca		7
.14 Ce		15
4009.72 Fe	I	15
.66 Ti	I	10
.17 U		15
.17 Th		10
.17 Fe		15
.17 Cr		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		10
.17 Pd		10
.17 Rh		10
.17 Ir		10
.17 Ni		10
.17 Cu		10
.17 Zn		10
.17 Ag		10
.17 Au		10
.17 Pt		1

**TUNGSTEN (Continued)**

.05 Ir	I	12
.02 Mn		15
4007.60 Zr	I	25
.59 Ce		15
.27 Fe	I	80
(Also Cb, Co I, Fe, Ni I, U, V II, Zr)		
2945.06 Fe		100
2944.75 Pt	I	15
.57 V	II	50
.40 Fe	II	70
<b>2944.40 W</b>		<b>30</b>
.35 Ce		18
.29 Bi		5
.21 Mo		25
.18 Ga		10
2943.91 Ni	I	50R
.90 U		10
(Also Cb, Mn, V I, Zr II)		

**URANIUM**

4241.669		
3552.172		
4242.85 Cr	I	15
.80 Mo		15
.72 Ce	II	15
.63 Cb		10
4242.62 Ba		10
.47 Mg	II	4
.26 Co	I	20
.01 Ce		10
4241.77 Au	I	40
.69 Zr	I	100
<b>4241.67 U</b>		<b>40</b>
.6 Na	I	3
.45 W		30
.32 V	I	15
.26 Zr	I	100
.19 Cr		10
.11 U		30
4240.83 Mo		30
.8 bhCa		3
.71 Cr		200
.56 U		10
.54 Ru	II	1
.48 W		15
.44 Ca	I	10
.37 Fe		20
.30 V	I	15
.24 Zr	I	100
.18 Cr		10
.11 U		30

3553.74 Fe		100
3552.99 Co	I	20
.83 Fe	I	80
.73 Ce	II	10R
.72 Mn		12
.72 Co	I	20
.45 Ba	II	1
<b>3552.17 U</b>		<b>8</b>
.12 Fe		10
.10 Ir	I	20
3551.95 Zr	II	30
.78 Ca		0
.66 Ce	II	10
.54 V	I	25
.53 Ni	I	50
.43 Ce		10
3550.60 Co	I	200
(Also Cb, Cr, Mo, Th, W, Y I, Zr I)		

**VANADIUM**

4379.238		
3185.396-3183.982		
4381.64 Mo		150
4380.59 Mo		15
.55 V	I	15
.29 Mo		30
.27 U		12
.06 Ce		30
4379.92 Rh	I	60
.78 Cr	I	15
.78 Zr	II	10
.4 Bi	II	25
.25 Ag		5
<b>4379.24 V</b>	<b>I</b>	<b>200R</b>
4378.82 Ta		40
.49 W		25
.20 Cu	I	200W
4377.96 Cb		10
.01 Ir		100
(Also Co I, Cr, Th, Y I)		
3186.45 Ti	I	150
.35 Co	I	70
.32 U		10
.13 Ce		40
3185.95 Co	I	40
.71 U		12
.59 Rh	I	100
<b>3185.48 V</b>	<b>I</b>	<b>800R</b>
.20 W		20
3184.80 Th		10
.70 Fe	I	200
.73 Ce		10
.47 Fe	I	80
.47 Ce		10

.55 Ta		70
.42 W		10
.41 Ba		3
.37 Ni	I	150
.21 Ce	II	20
.04 W		10
<b>3183.98 V</b>	<b>I</b>	<b>500R</b>
.97 Th		12
.97 Ti		12
.95 Ba	I	2
.52 Ce		40
.41 V	I	200R
.25 Ni	I	25
.16 Ba	I	5
.03 Mo		10
3182.98 Fe		125
(Also Cb, Cr, Fe II, Ir, Ir I, Ti II, W II, Y I, Zr I)		

**YTTRIUM**

3710.290		
3242.280		
3711.23 Fe	I	80
.07 Na	II	8
3710.52 Sb	II	2
.45 Cb		15
<b>3710.23 Y</b>	<b>II</b>	<b>80</b>
.14 Mo		20
3709.96 Ti	I	80
.93 Ce		25
.29 Ce		25
.25 Fe	I	600
.25 Ag	I	10
(Also Cr, Fe, Ir I, Ta, Th, U, W)		
3244.19 Fe	I	300
3243.84 Co	I	100
.78 Mn		100
.27 V	I	20
.16 Cu	I	15
.11 Fe		50
.06 Ni	I	400R
3242.83 Ta		125
.70 Pd	I	2000W
<b>3242.28 Y</b>	<b>II</b>	<b>68</b>
.14 Ce	II	12
.05 Ta		125
.03 W		10
3241.99 U		10
.99 Ti	II	60
.84 Ba	II	8
.76 Ca		1
.65 Ru	II	8
.52 Ir	I	100
(Also Cb, Co, Th, Zr I, Zr II)		

Table No. 7 (Cont.)



Tabla No. 8

λ in Å	Element	λ in Å	Element	λ in Å	Element
483	Vanadium	2230.62	Bismuth I	2580.8	Silver
781	Titanium	2299.02	Tellurium	2592.52	Zinc I
812	Tellurium	2295.02	Cadmium II	2592.55	Germanium
904	Carbon	2297.08	Silicon IV	2593.74	Mercurous II
1025.8	Helium	2283.03	Cadmium I	2598.08	Antimony I
1028	Lead IV	2283.14	Arsenic I	2605.6	Xenon
1037	Oxygen	2293.80	Copper	2611.89	Iron II
1085.8	Nickel	2302.99	Nickel	2614.20	Lead
1158	Tin	2311.50	Antimony	2615.42	Cassiopeia
1167	Tellurium	2312.80	Tellurium II	2618.39	Copper
1206.9	Silicon III	2316.04	Tellurium I	2622.8	Hydrium
1216.7	Hydrogen	2335.25	Barium II	2617.42	Neon
1302.3	Lead	2315.55	Nickel I	2652.48	Aluminium I
1316	Oxygen	2348.0	Beryllium I	2658.90	Tellurium
1347	Tin	2349.84	Arsenic I	2659.45	Platinum
1437	Tin IV	2367.2	Yttrium	2669.38	Aluminium I
1461	Tellurium	2370.0	Tellurium I	2675.91	Gold I
1533.56	Silicon II	2382.04	Iron II	2692.10	Ruthenium
1650	Mercury II	2383.27	Tellurium	2709.24	Tellurium I
1671	Titanium	2386.78	Tellurium I	2709.61	Germanium
1738	Magnesium II	2389.5	Indium I	2712.5	Zinc I
1745.3	Nitrogen I	2393.81	Lead	2743.24	Helium II
1753.7	Magnesium II	2398.60	Calcium I	2711.3	Lithium I
1789	Magnesium	2400.6	Tantalum	2767	Selenium
1802	Molybdenum	2424.90	Platinum	2774.01	Tungsten
1839.9	Cadmium II	2427.96	Gold I	2775.70	Magnesium I
1840.3	Calcium II	2428.4	Krypton	2779.85	Magnesium I
1849.8	Mercury I	2429.40	Tin	2780.23	Arsenic I
1851.4	Selenium	2437.8	Silver	2802.01	Lead
1854.76	Aluminium III	2448	Palladium I	2802.2	Gold
1859.8	Phosphorus	2460.5	Hydrium	2802.01	Gold
1892	Thallium	2475.9	Xenon	2802.01	Lead
1901	Tin	2478.7	Carbon II	2802.2	Gold
1902.0	Bismuth	2490.76	Rhodium	2802.2	Gold
1942	Mercury II	2496.78	Barium	2802.71	Magnesium II
1959.7	Selenium	2497.23	Barium	2813.74	Hydrium
2025	Zinc II	2505.72	Palladium II	2817.0	Yttrium
2040.3	Calcium	2516.02	Titanium	2823.23	Iridium
2047.2	Bismuth	2516.12	Silicon I	2834.7	Carbon II
2067	Silicon II	2525.6	Cesium	2839.99	Tin
2074.8	Selenium	2527.85	Titanium	2845.25	Chromium II
2075	Vanadium	2528.52	Silicon I	2852.13	Magnesium I
2078	Barium III	2528.63	Antimony I	2852.8	Sodium I
2124.25	Silicon I	2535.45	Phosphorus	2854.66	Palladium
2132	Cadmium	2536.82	Mercury I	2863.31	Tin
2138.6	Zinc I	2544.95	Phosphorus I	2866.4	Hydrium
2143.0	Tellurium	2557.97	Zinc II	2874.24	Gallium
2144.39	Cadmium II	2562.6	Lithium I	2877.02	Antimony I
2186.0	Strontium II	2567.99	Aluminium II	2881.69	Silicon I
2179.09	Lead	2575.11	Aluminium I	2897.96	Bismuth I
2178.88	Antimony I	2575.1	Magnesium	2913.28	Terbium
2199.2	Tin	2560.16	Thallium I		

LEFAX, Philadelphia 7, Pa.

Reprinted Feb., 1959

λ in Å	Element	λ in Å	Element	λ in Å	Element
2918.33	Thallium I	3369.90	Neon	3759.30	Titanium II
2933.31	Bismuth	3372.18	Scandium II	3774.33	Yttrium II
2942.55	Vanadium	3372.80	Titanium II	3775.73	Thallium I
2943.04	Gallium	3350.58	Nickel I	3781.0	Xenon
2945.10	Helium I	3382.89	Silver I	3783.2	Brytton
2946.08	Tungsten	3391.98	Zirconium II	3792.9	Bismuth
2949.21	Magnesium II	3404.59	Palladium I	3794.76	Lanthanum
2956.1	Rubidium	3405.12	Cobalt I	3798.26	Molybdenum I
2967.28	Mercury I	3414.77	Nickel I	3801.03	Tin
2967.96	Platinum	3422.46	Gadolinium	3801.9	Polladium
2997.96	Nickel I	3431.90	Rhodium I	3814.44	Helium II
3002.49	Nickel I	3405.12	Cobalt I	3819.63	Europium
3024.11	Tin	3447.4	Potassium I	3829.36	Magnesium I
3039.1	Germanium	3455.51	Cobalt I	3832.31	Magnesium I
3059.56	Indium I	3468.87	Iron I	3838.22	Magnesium I
3049.68	Tungsten	3466.20	Calcium I	3838.3	Sulfur
3057.65	Nickel I	3484.73	Holmium	3852.50	Gadolinium
3067.73	Bismuth I	3496.21	Zirconium II	3855.85	Vanadium I
3071.61	Barium I	3497.3	Sulfur	3856.50	Rhodium
3072.09	Zinc I	3498.05	Ruthenium	3860.9	Chlorine
3077.62	Cassiopeia	3499.12	Erbitium	3864.11	Molybdenum I
3080.63	Cadmium I	3505.8	Fluorine	3877.21	Francium
3082.00	Ge-Iodinium	3507.40	Cassiopeia	3879	Iron I
3082.16	Aluminium I	3513.06	Iridium	3885.05	Helium I
3092.72	Aluminium I	3515.58	Columbium	3888.96	Holmium
3093.13	Vanadium II	3516.05	Palladium I	3901.02	Hydrium
3102.2	Potassium I	3519.22	Urbilium I	3894.68	Cobalt I
3107.87	Ytterbium	3529.47	Neon	3900.68	Aluminium II
3122.79	Gold	3531.09	Dysprosium	3902.97	Tellurium
3130.4	Beryllium II	3538.75	Thulium	3906.38	Helium
3131.1	Beryllium II	3543.7	Selenium	3907.51	Scandium I
3132.60	Molybdenum I	3550.90	Zirconium II	3929.7	Carbon II
3134.8	Hydrium	3556.82	Vanadium I	3922.98	Platinum
3170.34	Molybdenum I	3561.74	Tellurium	3930.50	Europium
3171.82	Cerium	3562.4	Bromine	3933.67	Calcium II
3179.34	Calcium II	3566.37	Nickel I	3944.03	Aluminium I
3183.42	Vanadium I	3577.68	Mercurous I	3947.3	Oxygen I
3183.97	Vanadium I	3578.68	Chromium I	3949.10	Lanthanum
3185.81	Vanadium I	3581.20	Iron I	3951.0	Xenon
3193.97	Molybdenum I	3593.49	Chromium I	3951.15	Neodymium
3203.14	Helium II	3600.73	Yttrium I	3958.22	Zirconium
3215.57	Tungsten	3601.6	Aluminium III	3951.54	Aluminium I
3217	Potassium I	3605.33	Chromium I	3966.36	Platinum
3220.79	Iridium	3609.55	Palladium I	3968.43	Dysprosium
3221.27	Thorium	3619.51	Cadmium I	3968.48	Calcium II
3223.7	Lithium I	3613.70	Cerium I	3970.1	Hydrogen
3223.0	Phosphorus	3613.83	Scandium II	3976.36	Tellurium
3223.28	Yttrium II	3618.30	Nickel I	3981.02	Holmium
3212.72	Palladium I	3639.75	Scandium II	3981.8	Europium
3245.7	Krypton	3634.68	Palladium I	3988.61	Ytterbium
3247.83	Copper I	3639.58	Lead I	3988.52	Lanthanum II
3254.29	Cobalt	3642.05	Tantalum I	3991.84	Titanium I
3262.33	Tin	3650.15	Mercury I	3995.00	Nitrogen II
3267.48	Antimony I	3661.3	Cesium I	4008.76	Tungsten
3267.8	Germanium I	3663.27	Americium I	4012.61	Bronze
3271.0	Vanadium	3671.24	Cadmium	4019.14	Thorium
3273.97	Copper I	3683.47	Lead	4024.8	Fluorine
3290.49	Silver I	3685.15	Titanium II	4033.63	Magnesium I
3294.30	Iodine	3692.36	Rhodium	4033.07	Magnesium I
3299.37	Ytterbium	3692.65	Erbium	4034.49	Mercurous I
3302.4	Sodium I	3694.19	Yttrium	4034.78	Cadmium
3303.0	Sodium I	3698.17	Zirconium	4041.37	Magnesium I
3311.14	Tantalum	3699.6	Rubidium	4041.37	Magnesium I
3324.90	Terbium	3710.29	Yttrium II	4044.2	Potassium I
3337.49	Lanthanum II	3717.90	Thallium	4044.42	Argon
3345.03	Zinc I	3737.14	Iron I	4045.82	Neon I
3349.41	Titanium II	3738.7	Selenium	4047.7	Potassium I
3350.9	Rubidium I	3739.16	Scandium	4057.82	Platinum
3351.25	Strontium I	3748.17	Holmium	4062.0	Tellurium
3361.22	Titanium II	3762.7	Osmium	4062.7	Copper I

Tabla No. 8

X in I A	Element	X in I A	Element	X in I A	Element
4063	Gadolinium	4348	Argon	4722	Zinc I
4072	Zirconium	4349	Fluorination	4722	Bismuth
4077	Sroutium II	4352	Antimony	4722	Bismuth
4078	Xenon	4363	Oxygen I	4730	Scandium
4080	Plutonium I	4374	Rubidium	4731	Molybdenum
4088	Silicon IV	4378	Nitrogen III	4743	Lanthanum
4092	Colcalt I	4379	Vanadium I	4752	Sodium I
4093	Halphen	4382	Scandium	4776	Rubidium
4094	Thulium	4383	Iron I	4778	Iridium
4097	Nitrogen III	4387	Lead	4783	Manganese I
4100	Thallium	4391	Thorium	4786	Yttrium
4101	Hydrogen	4400	Scandium II	4792	Gold I
4121	Colcalt I	4404	Iron I	4794	Osmium
4121	Bismuth I	4408	Vanadium I	4794	Chlorine
4121	Bismuth I	4415	Iron I	4795	Erbium
4128	Yttrium I	4416	Oxygen	4810	Zinc I
4129	Europium	4420	Osmium	4819	Chlorine
4130	Gadolinium	4429	Lanthanum	4823	Manganese I
4130	Barium II	4434	Calcium I	4825	Radium I
4132	Chlorine	4435	Europium	4861	Hydrogen
4140	Zirconium	4437	Columbium	4875	Vanadium I
4149	Cerium	4442	Samarium	4878	Calcium I
4162	Sulfur	4445	Calcium I	4881	Vanadium I
4172	Gallium	4446	Neodymium	4883	Yttrium II
4177	Neodymium	4448	Fluorine	4883	Yttrium I
4179	Germanium	4447	Nitrogen	4900	Yttrium II
4184	Casopcia	4451	Neodymium	4919	Iron I
4187	Thulium	4460	Cerium	4919	Thorium
4193	Oxygen II	4462	Neodymium	4934	Bryum II
4194	Erbium	4463	Krypton	4951	Erbium
4200	Argon	4467	Samarium	4957	Dysprosium
4201	Rubidium I	4471	Holium I	4992	Sroutium I
4211	Dysprosium	4472	Cerium	4975	Hafnium
4212	Silver I	4484	Tungsten	4980	Ruthenium I
4212	Palladium I	4496	Praseodymium	4981	Titanium I
4215	Sroutium II	4498	Platinum	4982	Platinum
4215	Rubidium I	4500	Xenon	5035	Nickel I
4221	Iron	4510	Tantalum	5053	Tungsten I
4222	Phosphorus	4529	Platinum	5094	Zirconium I
4223	Praseodymium	4524	Tin	5147	Cerium
4226	Germanium	4533	Titanium I	5161	Iodine
4226	Calcium I	4534	Titanium I	5167	Calcium I
4238	Lanthanum	4543	Iridium	5171	Ruthenium I
4245	Lead	4552	Silicon III	5172	Magnesium I
4246	Scandium	4554	Barium II	5183	Magnesium I
4251	Molybdenum	4554	Ruthenium I	5193	Rubidium
4254	Chromium I	4555	Caesium I	5204	Chromium I
4254	Holmium	4561	Bismuth	5205	Yttrium II
4256	Argon	4562	Cerium	5206	Chromium I
4260	Osmium	4573	Columbium	5208	Chromium I
4265	Antimony	4574	Thulium	5209	Silver I
4267	Carbon II	4585	Calcium I	5209	Bismuth
4274	Krypton	4603	Lithium I	5210	Copper I
4274	Chromium I	4607	Sroutium I	5248	Iridium
4277	Caesium	4625	Enantation	5299	Iron I
4278	Terbium	4627	Europium	5307	Calcium I
4282	Zirconium I	4628	Cerium	5298	Palladium
4282	Neodymium	4630	Nitrogen II	5301	Platinum
4289	Chromium I	4640	Nitrogen III	5310	Neodymium
4294	Tungsten	4661	Europium	5330	Oxygen I
4302	Tungsten	4671	Xenon	5332	Bromine
4302	Bismuth	4671	Krypton	5350	Thallium I
4303	Neodymium	4672	Columbium	5400	Neon
4314	Scandium II	4674	Samarium	5425	Phosphorus
4326	Cerulium	4680	Zinc I	5449	Iron I
4330	Lanthanum	4682	Radium II	5460	Mercury I
4340	Hydrogen	4687	Zirconium I	5478	Platinum
4340	Radium II	4694	Sulfur I	5478	Casopcia
4342	Gadolinium	4714	Nickel I	5478	Nickel I
4343	Chlorine	4716	Neon	5496	Sulfur

Tabla No. 3 (Cont.)

X in I A	Element	X in I A	Element	X in I A	Element
5512	Titanium I	6259	Yttrium I	7280	Barium I
5523	Osmium	6266	Neon	7508	Palladium
5527	Uranium	6296	Vanadium I	7498	Rubidium I
5528	Magnesium I	6298	Helium I	7498	Nitrogen I
5535	Barium I	6303	Rubidium I	7587	Krypton
5556	Yttrium	6308	Scandium I	7691	Krypton
5570	Molybdenum I	6308	Cerium	7694	Potassium I
5588	Calcium I	6343	Xenon	7699	Potassium I
5599	Rubidium	6347	Silicon II	7727	Nickel I
5608	Lead	6350	Bromine	7772	Oxygen I
5625	Iodine	6392	Zone I	7800	Rubidium
5636	Ruthenium	6402	Neon	7824	Rubidium
5645	Tungsten	6421	Molybdenum	7881	Ruthenium
5649	Tellurium	6430	Caesium	7893	Copper
5651	Arsenic	6430	Iron I	7937	Iron I
5657	Sroutium II	6435	Yttrium I	7947	Rubidium
5662	Yttrium	6438	Tellurium	8112	Krypton
5670	Palladium	6438	Calcium I	8126	Lithium
5671	Scandium I	6439	Calcium I	8183	Sodium I
5679	Neon II	6449	Uranium	8194	Neon I
5686	Scandium I	6450	Colcalt I	8231	Xenon I
5688	Sodium I	6450	Tantalum I	8280	Xenon
5691	Holmium	6456	Thulium	8372	Colcalt
5905	Palladium	6460	Neon	8387	Iron I
5909	Vanadium I	6481	Nitrogen I	8416	Oxygen I
5966	Sulfur I	6496	Barium II	8521	Platinum
5979	Halphen	6518	Tantalum	8607	Uranium
6021	Osmium	6519	Rubidium	8996	Iron I
6021	Barium I	6525	Caesium	9017	Chromium I
6028	Copper I	6525	Platinum	9238	Iron I
6031	Lanthanum	6531	Vanadium I	9357	Colcalt
6048	Tungsten	6562	Hydrogen	9417	Chromium
6048	Rubidium II	6578	Carbon II	9548	Colcalt
6051	Praseodymium	6595	Neon	9608	Barium I
6052	Potassium I	6604	Iron I	10026	Caesium
6052	Neon	6643	Nickel I	10038	Sroutium II
6057	Osmium	6645	Europium	10345	Calcium I
6064	Titanium I	6673	Praseodymium	10395	Calcium I
6070	Krypton	6690	Ruthenium	10650	Barium II
6075	Helium I	6722	Lithium I	10673	Antimony
6088	Molybdenum I	6723	Caesium I	10930	Helium I
6091	Sodium I D <sub>1</sub>	6729	Osmium	10915	Sroutium II
6094	Europium	6746	Selenium I	11054	Zinc I
6098	Rubidium	6754	Rubidium	11279	Iron
6094	Zone II	6784	Palladium	11382	Sodium I
6096	Sodium I D <sub>1</sub>	6799	Yttrium	11404	Sodium I
6099	Columbium	6847	Iridium I	11415	Thallium I
6095	Uranium	6850	Fluorine	11611	Chromium I
6091	Colcalt	6907	Mercury I	11690	Potassium I
6091	Casopcia	6916	Platinum	11711	Bismuth
6091	Manganese I	6916	Gadolinium	11842	Iron
6091	Manganese I	6929	Neon	11914	Mercury I
6091	Germanium	6939	Potassium I	12141	Bismuth
6091	Manganese I	6945	Iron I	12390	Argon
6091	Iodine	6978	Caesium	13013	Thallium I
6091	Vanadium I	7027	Ruthenium	13125	Aluminium I
6101	Lithium I	7037	Selenium I	13673	Mercury I
6121	Yttrium I	7070	Strontium	14462	Iron
6122	Calcium I	7072	Zinc I	15166	Potassium I
6141	Barium II	7084	Colcalt I	16340	Thallium I
6143	Zirconium I	7113	Platinum	16594	Zinc I
6151	Oxygen I	7122	Nickel I	16519	Silver I
6152	Zinc I	7131	Iron I	18104	Copper I
6176	Nickel	7145	Osmium	20581	Helium I
6206	Radium	7158	Gadolinium	34892	Caesium I
6231	Rubidium	7212	Caesium	34925	Mercury I
6237	Osmium	7267	Iron I	68079	Caesium I
6249	Lanthanum	7229	Lead	71040	Caesium I
6254	Titanium I	7270	Rubidium		

Tabla No. 8 (Cont.)

$\lambda$	$\lambda$	$\lambda$	$\lambda$	$\lambda$
3370.789	3935.816	4502.058	5232.048	6005.489
3399.337	3977.744	4602.945	5260.564	6137.697
3485.343	4021.870	4647.437	5371.493	6191.563
3513.821	4176.938	4701.414	5405.779	6230.729
3556.862	4118.649	4707.929	5434.527	6265.141
3606.682	4154.680	4736.782	5455.013	6318.023
3640.392	4147.073	4739.054	5497.620	6333.338
3676.314	4191.456	4878.210	5506.733	6393.006
3677.030	4223.609	4903.318	5509.620	6430.852
3724.351	4282.406	4919.001	5586.763	6494.985
3753.015	4315.087	5011.872	5615.052	6546.245
3808.346	4375.933	5012.072	5698.825	6595.020
3843.261	4427.313	5049.825	5700.396	6677.994
3850.820	4466.550	5083.343	5763.013	6750.187
3865.527	4494.568	5119.414	5857.756 NH	
3906.452	4531.152	5107.491	5902.882 NH	
3907.937	4547.851	5192.353	6027.058	

**Neon, Ultraviolet Lines**

From Humphreys, Jour. Research of B. of S. 20, 17, 1938. The source was an "end on" Geissler tube. Values are given for the wave length in dry air at 15° C and 760 mm of Hg pressure and referred to the Krypton secondary standards.

Air A	Air A	Air A	Air A
3369.898	3450.7553	3501.2105	3699.1703
3399.9081	3454.1952	3510.7214	3733.6646
3375.6498	3460.5245	3515.1908	3682.2428
3417.9036	3464.3589	3520.4717	3695.7359
3418.0696	3466.5786	3503.5239	3701.2250
3423.9127	3472.5711	3593.6398	3754.2160
3447.7029	3498.0944	3600.1693	

**Krypton**

Meegers, Journal Optical Society of America, 1921.

Air A	Air A	Air A	Air A
4273.9096	4382.6422	4502.354	6455.290
4292.967	4370.122	4407.065	7687.414
4318.582	4399.969	4582.224	7601.544
4319.680	4453.9174	4670.2572	
4355.478	4463.690	4670.9137	

LEFAX, Philadelphia 7, Pa.

Reprinted May, 1951

Tabla No. 9

**Krypton:**

From Humphreys, Jour. Research of B. of S. 20, 17, 1938. The source was the "end on" Geissler tube. Values are given for the wave length in air at 15° C and 760 mm of Hg pressure.

Air A	Air A	Air A	Air A
3424.0433	3615.4755	3798.8299	4184.4726
3431.7217	3628.1570	3800.5437	4203.2881
3434.1423	3632.4896	3812.2155	4362.4456
3495.9900	3665.3259	3837.7028	4410.3685
3502.6537	3668.7363	3837.8162	4416.8838
3503.8951	3679.5609	3845.9778	4418.7626
3511.8963	3679.6111	3982.1699	4425.1908
3522.6747	3698.0452	3901.0797	4530.2985
3530.6416	3778.4241	3991.2581	4512.6307
3540.9538			

**Argon**

From Meegers and Humphreys, Jour. Research of B. of S. 13, 293, 1934.

Air A Ne Std.	Air A Cd Std.	Air A Ne Std.	Air A Cd Std.	Air A Ne Std.	Air A Cd Std.
3948.977	.....	4887.9465	.....	7030.262	.....
4044.4173	.....	5162.2345	.....	7067.2170	7067.2177
4054.5250	.....	5187.7458	.....	7147.0406	7147.0412
4155.5396	.....	5221.270	.....	7272.9337	7272.9356
4161.1768	.....	5164.1789	5252.746	7372.117	.....
4181.8626	.....	4181.8825	5421.346	7353.8900	7383.9800
.....	.....	4190.7098	5451.650	7503.8676	7503.8667
.....	.....	4191.0270	5495.3730	7514.6510	7514.663
4198.316	.....	4198.3160	5506.112	7635.1053	7635.1035
4200.074	.....	4200.0738	5558.702	7723.7517	7723.761
4261.1842	.....	4260.3607	5572.648	7734.2094	7724.206
4269.3063	.....	4266.2855	5560.704	7891.075	.....
4272.1680	.....	4272.1678	5739.517	7948.1754	7948.1756
4300.0995	.....	4300.1900	5834.203	8006.1556	8006.155
4333.5595	.....	4333.5591	5860.518	8014.7136	8014.785
4335.3170	.....	4335.3163	5888.592	8033.207	.....
4343.1066	.....	.....	5912.084	8193.6922	8193.6622
4353.7956	.....	.....	5928.808	8115.3115	8115.3095
4423.9938	.....	.....	6032.124	8264.8240	8264.8210
4510.7322	.....	4510.7324	6043.290	8408.208	8408.207
4522.3216	.....	.....	6052.721	8421.647	8424.646
4598.2584	.....	.....	6059.373	8521.4497	8521.4406
4598.0904	.....	.....	6105.645	8607.9430	8607.9425
4628.4398	.....	.....	6170.163	9122.9690	9122.9664
4702.3151	.....	.....	6173.106	9224.465	9224.498
4752.9381	.....	.....	6416.316	9354.218	.....
4768.6716	.....	.....	6752.832	9657.7281	.....
4876.2506	.....	.....	6965.4302	9784.8010	.....
.....	.....	.....	.....	10470.051	.....

Tabla No. 9

**Argon:**

From Humphreys, Jour. Research of B. of S. 20, 17, 1938. The source was an "end on" Geissler tube. Values are given for the wave length in dry air at 15° C and 760 mm of Hg pressure, referred to the Krypton secondary standards.

Air A	Air A	Air A	Air A
3319.3446	3690.8937	4158.5906	4272.1090
3373.481	3770.3698	4164.1800	4300.1011
3393.7517	3781.3690	4181.8838	4333.5612
3401.0750	3834.6785	4190.7127	4335.3230
3554.3091	3894.6092	4191.0296	4345.1682
3667.6505	3947.5043	4198.3170	4510.7333
3690.6254	3948.9758	4260.0751	4522.3238
3632.8837	4044.4192	4251.1852	4596.0270
3614.4605	4045.9638	4259.3418	4624.4410
3649.8324	4054.5254	4260.2867	4702.3164

**Helium**  
(Merill, Bull. Bur. Stds. 14, 159, 1918)

$\lambda$	$\lambda$	$\lambda$	$\lambda$	$\lambda$
2945.104	3819.606	4120.812	4471.479	5047.736
3187.743	3888.646	4143.759	4713.143	5875.020
3613.541	3914.727	4387.928	4921.928	6678.149
3735.933	4026.189	4437.549	5015.675	7065.188
.....	.....	.....	.....	7281.349

**Xenon**  
(Meggers, Bull. Bur. Stds. 17, 103, 1921)

$\lambda$	$\lambda$	$\lambda$	$\lambda$	$\lambda$
4590.978	4603.028	4697.020	4807.019	4844.333
4524.680	4924.275	4734.154	4829.705	4923.246
4532.746	4671.225			

**Iron (Green, 1939)**

Intensities			Intensities			Intensities		
$\lambda\text{\AA}$	Schuler tube	Spark	$\lambda\text{\AA}$	Schuler tube	Spark	$\lambda\text{\AA}$	Schuler tube	Spark
1550.273	1	..	1937.398	15	2	1702.044	25	25
1559.094	20	2	1640.159	12	2	1709.551	0	..
1663.798	25	2	1643.576	15	2	1712.998	20	25
1566.821	20	1	1652.482	0	..	1718.100	2	..
1568.017	8	..	1654.476	8	1	1720.011	20	20
1569.674	12	..	1658.771	15	2	1724.952	8	1
1570.244	20	1	1659.479	20	10	1725.391	12	8
1572.754	1	..	1663.220	15	2	1815.411	0	1
1573.826	5	..	1670.990	1	..	1818.516	2	1
1574.769	0	..	1674.254	2	1	1826.904	1	1
1574.921	20	1	1676.854	1	..	1833.073	0	..
1577.167	1	..	1685.952	5	1	1842.283	0	..
1584.949	15	..	1696.454	8	1	1848.771	12	2
1612.865	20	8	1691.272	8	1	1851.520	1	..
1623.090	8	1	1693.475	0	..	1859.744	15	10
1625.520	20	8	1693.935	0	..	1898.835	10	2
1632.905	1	..	1695.794	8	..	1903.344	1	..
1633.606	15	2	1699.195	2	..	1904.785	15	5
						2001.025	30	30

**Hydrogen**  
(Paschen, 1929)

$\lambda\text{\AA}$	$\lambda\text{\AA}$
623.148	949.739
626.222	972.332
630.745	1025.717
637.799	1215.664

**Helium**  
(He II) (Paschen, 1929)

$\lambda\text{\AA}$	$\lambda\text{\AA}$	$\lambda\text{\AA}$
234.3452	949.326	1084.940
237.3397	958.695	1215.129
243.0244	972.109	1640.409
256.3145	982.361	
303.7788	1025.270	

**Carbon, Nitrogen, Oxygen**  
(More and Rieke, 1936)

El.	$\lambda\text{\AA}$	Int.	El.	$\lambda\text{\AA}$	Int.	El.	$\lambda\text{\AA}$	Int.
O II	822.764	0	N I	1176.502	1	C II	1335.703	18d
O II	833.332	1	N I	1199.550	7	N I	1494.670	4
O II	834.467	2	N I	1200.218	6	C I	1550.313	8d
O I	990.205	4d	N I	1200.707	5	C I	1560.702	15d
O I	990.794	3	O I	1217.643	2	C I	1555.271	8d
O I	999.493	2	O I	1302.174	8	C I	1656.994	15d
N II	1053.996	2	O I	1304.858	8	C I	1657.385	5d
N II	1084.532	3	O I	1306.023	6	C I	1657.908	8d
N I	1134.168	3	C I	1328.820	3	C I	1658.135	8d
N I	1134.417	3	C I	1329.099	5			
N I	1134.979	4	C II	1334.534	15d			

Tabla No. 9 (Cont.)

### 2.2 Limitaciones en la definición de la dispersión luminosa.

La teoría atómica nos dice que los electrones en todos los átomos se encuentran en orbitales bien definidos. Por ejemplo en el uranio, los niveles electrónicos con número cuántico principal 1 a 6 están llenos y el nivel con número cuántico principal 7 está parcialmente lleno. Numerosos orbitales están disponibles para ser llenados.

Los átomos con números atómicos pequeños, tienen un número igual de pequeño de electrones en sus orbitales. En los átomos no excitados, esos electrones residen en los orbitales con una energía mínima. Sin embargo cada uno de los orbitales superiores vacíos están disponibles para acomodar un electrón. Durante la excitación, el electrón que tiene la energía mayor (electrón valencia), se mueve de su orbital de mínima energía a un orbital de mayor energía. Este orbital se puede encontrar en el mismo nivel energético o en otro de mayor energía. (fig. 27)

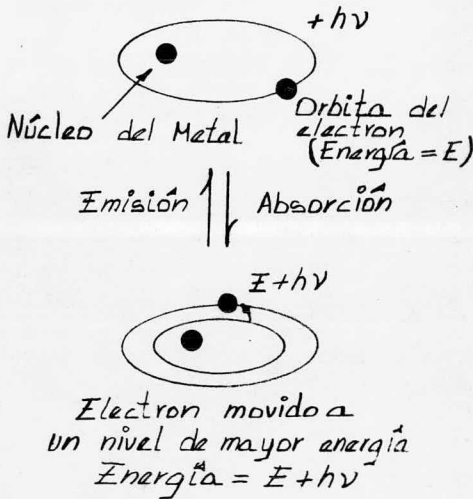


Fig. 27.- La relación entre espectroscopia de absorción atómica y emisión atómica.

En el sodio atómico, los electrones llenan los niveles con número cuántico 1 y 2 y un electrón se encuentra en el nivel con número cuántico 3. Cuando el sodio está en su estado basal, entonces este electrón del nivel 3 se encontrará en el orbital de mínima energía, esto es en el 3s. Si nosotros excitamos el átomo de sodio, el electrón 3s podrá moverse a un orbital con mayor energía. El nivel de energía próximo al nivel 3s,



es el 3p, entonces es posible que un electrón pase de un orbital 3s a un 3p y también es posible que el electrón 3s pase a orbitales de mucho más energía como son el 4p, 4d, 5p, 5d, etc.; y cuando el electrón 3s del sodio se encuentra en cualquiera de estos orbitales se dirá que el átomo de sodio está excitado.

Un átomo puede ser excitado con energía de absorción de longitud de onda adecuada. Las longitudes de onda de las energías involucradas son bien conocidas y siguen las leyes físicas estándar, representadas con la siguiente ecuación:

$$E = h \nu$$

Donde:

E= diferencia de energía entre el estado de mínima energía y el estado de máxima energía.

h= constante de Planck

$\nu$  = frecuencia de la radiación.

Cuando la energía de radiación es absorbida, el átomo empieza a excitarse. Si nosotros usamos un prisma monocromador, se dispersará la radiación que llega a los átomos y el espectro de absorción aparecerá como una línea angosta opuesta a una banda ancha. Si la transición ocurre entre el estado basal y el estado de excitación de mínima energía, entonces se dirá que la absorción es de línea de resonancia.

En teoría, transiciones de cualquier estado excitado a un estado de excitación de mayor energía puede ocurrir durante la absorción de energía. En la práctica estas transiciones no ocurren.

Existen por lo tanto dos limitaciones principales de la dispersión de la energía luminosa. Estas son:

- 1.- La atomización o sea la cantidad de átomos libres presentes en la flama. Solamente aquellos átomos que están en un estado de energía dado pueden absorber radiación del cátodo hueco para excitarse de aquel estado a un estado de energía de mayor excitación. En la práctica, las temperaturas y las flamas son las proveedoras de átomos en estado basal, cuyos electrones están en un estado de mínima energía. Entonces solo transiciones que involucren el estado basal son significativas. Los estados de máxima excitación están tan alejados, que existen pocos átomos que dan porcentajes significativos de absorción de la radiación recibida del cátodo hueco.
- 2.- La energía de la radiación absorbida debe ser suficiente para causar excitación. en el caso del sodio, la transición del orbital 3s al 3p

pueden lograrse con una radiación de absorción a 5890 o 5895 Å (línea doble del sodio). Absorciones similares de energía a 3303 Å causarían que el átomo de sodio se excitara de su estado basal 3s a un estado 5p de excitación. Transiciones entre el orbital 3s y orbitales con número cuántico principal 6 requieren de mucha energía, energía que no se alcanza con una lámpara de cátodo hueco; sin embargo existen casos en los cuales si es posible este tipo de transición que requieren muchísima energía, como en el caso del sodio y otros casos muy difíciles como el cinc, en los cuales se requiere energía del tipo UV.

Consecuentemente, aunque la absorción sea fácil, la energía de radiación requerida debe ser tan grande para que el rango espectral quede en evidencia ante el instrumento y las líneas de absorción no deben quedar en la región del UV al vacío porque el manejo de esas líneas de absorción es difícil de llevar a cabo en un equipo convencional.

En EAA, solamente se logran las transiciones electrónicas entre el estado basal del elemento y un estado excitado. La absorción es más intensa entre el estado basal y el primer estado de excitación, pero la absorción es posible entre el estado basal y otros estados de excitación de mayor energía.

Para los elementos no metálicos, como los haluros, las líneas de absorción del estado basal requieren de mucha energía para sufrir la excitación, y esta energía es de UV, la cual no puede ser medida con aparatos convencionales. Sin embargo es posible detectar elementos no metálicos por EAA.

Para algunos elementos, particularmente, los metales de transición tienen algunas líneas de absorción útiles en EAA. La detección de cantidades muy pequeñas de ellos, requiere de la línea de resonancia a la cual absorba muy fuerte el elemento y la determinación de cantidades mayores se debe hacer con otra línea que sea menos sensible.

### 2.3 Interferencias en los análisis por emisión y absorción atómica.

Existen 3 tipos de interferencia principales en los análisis por absorción atómica. Este tipo de interferencia también se presenta en los análisis por emisión, además de otro tipo de interferencia que más adelante se describirá.

Estos 3 tipos de interferencia son:

#### A. Interferencia Química.

Este tipo de interferencia es el resultado de una disociación incompleta del elemento que se va a analizar. Existe competencia entre

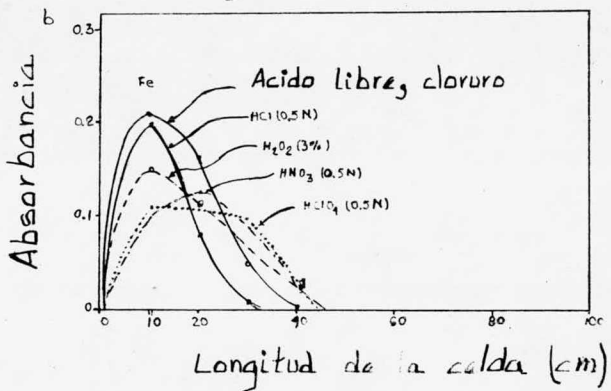
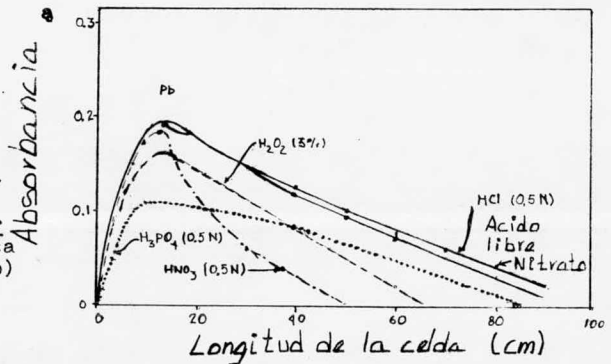
el elemento de interés y los demás compuestos que integran la muestra.

La interferencia química se puede dividir en tres efectos:

(a) Efecto de los ácidos usados en la disolución de la muestra y agentes oxidantes.- En la figura 28 se muestran los efectos de los ácidos clorhídrico, nítrico, fosfórico y agua oxigenada, cuando se analiza plomo y hierro. El ácido que menos interferencia tiene es el clorhídrico, el  $\text{HNO}_3$  y  $\text{H}_2\text{O}_2$  abaten la absorbancia de ambos elementos por su preferencia de formar óxidos. El  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  y  $\text{HClO}_4$  dan una señal de absorción muy inestable, quizás por las condensaciones que pudiera tener dentro del nebulizador. Los ácidos no volátiles presentan más interferencia en los análisis por absorción atómica.

La señal de ruido puede variar con la presencia de ciertos compuestos por el factor de la señal de absorción molecular, por lo tanto, dependerá de la longitud de onda que se este usando, la señal de ruido causada por el  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}$  resultantes del  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y  $\text{HNO}_3$  respectivamente.

Efecto de los ácidos indicados sobre la gráfica y del peróxido de hidrógeno sobre las curvas de absorción atómica de (a) plomo 40 ppm. y (b) hierro 25 ppm.



(b) Efecto de los aniones presentes en la flama.- La presencia de aniones afecta la señal de absorción atómica y la de emisión de flama, porque el número de átomos en estado basal se ve disminuido. Por ejemplo: en la determinación de calcio por absorción atómica se tiene una sensibilidad muy mala porque los átomos de calcio presentes en la flama forman compuestos refractarios, los cuales son muy difíciles de disociar. El  $\text{CaCl}_2$  se disocia a  $770^\circ\text{C}$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  se disocia a  $560^\circ\text{C}$  y el fosfato terciario de calcio lo hace a  $1670^\circ\text{C}$ . Con estos resultados podemos concluir que la determinación de calcio por absorción atómica se podría hacer de una manera aproximada, usando ácido nítrico como solvente lo cual es un poco difícil porque los compuestos de calcio son más solubles en HCL. Los aniones fosfato y sulfato serian una fuente de error muy grande en el analisis de calcio por absorción atómica.

(c) Efecto de los cationes e interferencia cationica por combinación.

Este efecto es más notorio en las determinaciones por emisión. En emisión, cuando existen elementos diferentes al de interes, estos hacen cambiar la temperatura de la flama, pudiendo afectar de este modo el número de electrones libres en la flama.

En el método de absorción atómica no se presenta este tipo de situación por el estado electrónico importante en que se encuentran los átomos (estado basal), que se obtiene muy fácilmente. Ejem. cuando se determina sodio por emisión, el porcentaje de este elemento se ve afectado por la posible presencia de potasio. El porcentaje de sodio disminuye debido a que la presión electrónica de la flama se incrementa por la ionización del potasio presente, haciendo que se inhiba la ionización del sodio.

La interferencia cationica por combinación afecta tanto la señal de emisión como la de absorción. Cuando se encuentran presentes cationes diferentes al de interes, estos pueden formar compuestos con el elemento que se esta analizando que interfieren en el analisis.

Gidley y Jones hicieron estudios acerca de este tipo de interferencia. Ellos añadieron cien partes por millón de Li, Na, K, Ca, Sr, Ba, Cu, Ag, Cd, Pb, Cr, Mn, Fe, Ni, Co, Ti, Zr, P, Sb, B, Bi, As, Th, y Sn a una solución de 5 ppm de Zn (se estudió elemento por elemento); encontrando que ningún elemento causó interferencia en la determinación de cinc, y solo el magnesio y aluminio causaron pequeñas diferencias en la absorbancia en concentraciones mayores a 10000 veces la concentración

del cinc.

Sin embargo el magnesio presenta serios abatimientos en su absor**u** bancia y por lo tanto en el porciento real del mismo, cuando se le añade cierta cantidad de otro elemento. Tabla No. 10

Elemento Añadido	% Mg aparente
Al	3
Si	8
Ti	26
Zr	60
Hf	50
Sr	150
Th	106

Tabla No. 10

Allan encontró que el aluminio es el elemento que más abate la absor**u** bancia del magnesio. Hizo sus pruebas usando una solución de  $MgCl_2$  2.5 ppm Mg, y conforme se aumentaba la cantidad de aluminio, iba disminuyendo la absor**u** bancia del magnesio. Fig 27

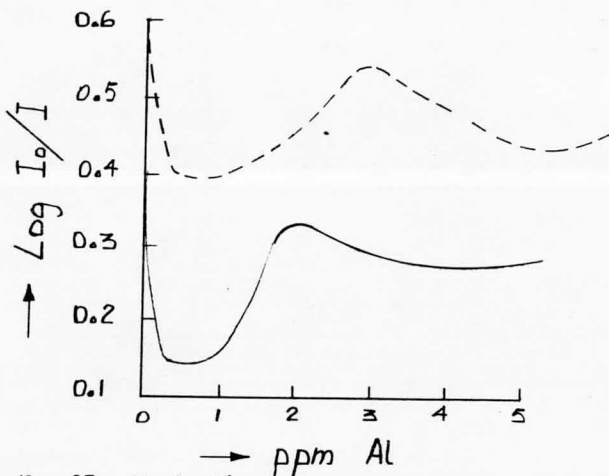


Fig. No. 27.- Variación de la concentración aparente de magnesio en soluciones de sulfato de magnesio con aluminio. La línea punteada corresponde a una solución de 5 ppm. obtenida a partir de  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  y el aluminio como cloruro. La línea continua corresponde a una solución de magnesio 2.5 ppm.

### B. Interferencia por ionización.

Esta interferencia sucede cuando una proporción grande de átomos parecen estar ionizados, causando una fuerte absorción a diferente línea de radiación y esta absorción se encuentra fuera del alcance del monocromador, por lo que este tipo de átomos estará fuera de la determinación.

### C. Interferencia por efectos de la matriz.

Son cambios en el resultado analítico causados por la viscosidad o naturaleza de la disolución de la muestra. Uno de los efectos de esta interferencia es el abatimiento de absorbancia por solventes orgánicos. Este abatimiento puede ser de dos a cuatro veces más que usando agua destilada como solvente.

Otro efecto de este tipo de interferencia es la absorción no atómica, o sea que la presencia de sólidos disueltos cuando la solución es muy concentrada, causan serios abatimientos en la absorbancia del elemento que se este analizando.

La absorbancia decrece porque la entrada de la muestra al quemador es muy lenta. La gráfica de la figura 27 ilustra este tipo de interferencia.

Otro problema que se presenta con el adto contenido de materia no atómica es que dicha materia tiende a formar grumos en la ranura del quemador, causando una disminución en la velocidad de alimentación de la muestra y una pérdida de señal.

### D. Interferencia de radiación.

En fotometría de flama, la intensidad de emisión de una muestra es medida a determinada longitud de onda. Si otro elemento que este presente en la muestra emite a la misma longitud de onda, hay una interferencia directa llamada interferencia de radiación. La fuente de esta interferencia es cualquier elemento o compuesto que emita a la longitud de onda a la cual se esta haciendo la determinación.

Existen cuatro fuentes principales de interferencia de radiación:

1. Existe señal de emisión de la flama por ser la última señal muy ancha.
2. Existe última señal de emisión por parte del solvente introducido en la flama.
3. Por la línea de emisión o emisión molecular de otros elementos presentes en la muestra.
4. Por la señal de emisión de la longitud de onda de resonancia del elemento

que se esta analizando.

Afortunadamente, este tipo de interferencia no es problema en los analisis por absorción atómica, porque los espectrofotometros estan modulados. Bajo esas condiciones, la radiación originada de la flama es continua y no es detectada por los sistemas detector-lectura.

#### E. Interferencia por excitación.

En los métodos de analisis por emisión, los átomos de la muestra son excitados. Supongamos que tenemos una muestra que contiene dos metales, A y B. Es posible que los átomos metálicos excitados A, transfieran energía a los átomos no excitados B. La intensidad de emisión de los átomos metálicos B empieza a ser grande. A este fenómeno se le conoce como interferencia por ~~excitación~~, y es particularmente importante en las determinaciones de los metales alcalinos.

Esta interferencia es importante en espectroscopia de emisión porque directamente afecta el número de átomos excitados de los elementos presentes en el sistema. Sin embargo este tipo de interferencia es de mínima importancia en EAA porque son los átomos no excitados los que proveen la señal de absorción.

#### F. Otros efectos.

##### Efecto de la tensión superficial.

Si una disolución de una determinada muestra tiene una tensión superficial grande, las gotas grandes son un poco estables. Si por otro lado, la tensión superficial es baja, entonces las gotas pequeñas son estables y las grandes son inestables.

El tamaño de gota del solvente empleado, después de su introducción dentro de la base del quemador dependerá mucho de la tensión superficial del solvente.

##### Efecto de diferentes solventes.

El solvente utilizado en la disolución de la muestra tiene algunos efectos directos ~~em~~ indirectos sobre la señal de absorción. Estos efectos son causados por:

- (a) Emisión espectral del solvente o productos de combustión del mismo cuando es introducido en la flama.
- (b) Absorción espectral del solvente o productos de combustión en la flama.
- (c) El efecto del solvente sobre la eficiencia de producción de átomos neutros a partir de la muestra.
- (d) El cambio de la velocidad de alimentación de la muestra por las dife-

rentes viscosidades que presentan los solventes. Fig 28.

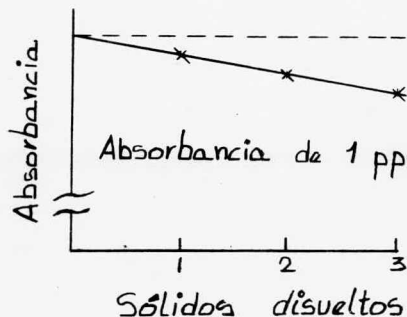


Fig. No. 28.- Interferencia por viscosidad. La presencia de una concentración elevada de sólidos disueltos abate la absorción de la muestra. El grado de abatimiento depende del quemador utilizado.

Ha sido observado en numerosas ocasiones que tanto en EAA como en emisión existen abatimientos en la señal de absorción o de emisión cuando se usan solventes orgánicos en lugar de solventes acuosos. Este abatimiento no es de igual intensidad y los casos de absorción y de emisión. Ver tabla 11.

Chemical Interference and Its Elimination

Conditions		
Sample	Lead nitrate solution, 1.0 ppm	
Wavelength	2170 Å	
Flame	Oxyhydrogen 30 liters/min:50 liters/min	
Burner	Beckman total-consumption	
Aqueous	Solution	
	Absorption (%)	
Interfering anion (100 ppm)	Lead nitrate solution, plus interfering anion	Lead solution plus anion plus EDTA (1%)
None	23.0	23.0
PO <sup>3-</sup>	19.9	22.8
Cl <sup>-</sup>	22.3	22.3
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	12.8	23.0
I <sup>-</sup>	13.7	23.5
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	22.0	23.0
F <sup>-</sup>	21.3	22.9

Tabla No. 11.- Sacada de la referencia 34



Muchas de las diferencias significativas entre los solventes acuosos y los orgánicos es la combustibilidad de la muestra. Si un solvente orgánico se introduce en la flama, de inmediato se quema, dando una energía térmica extra, esto es una reacción exotérmica. Por otro lado si una muestra acuosa es introducida en la flama, requiere energía para ser evaporada y por lo tanto se trata de una reacción endotérmica, la cual es menos eficiente que la reacción exotérmica de los solventes orgánicos.

Otra diferencia entre los solventes orgánicos y los acuosos es la forma química de la muestra con dichos solventes. Si el solvente es acuoso, entonces la muestra será iónica y si el solvente es orgánico, entonces la muestra será un compuesto organometálico. Cuando el solvente es evaporado por completo, se forma un grumo que contiene los átomos del metal que se esta analizando; si este grumo esta compuesto por sales, se necesitará energía para romper los enlaces salinos y dejar en libertad los átomos neutros que absorberán la energía procedente de la lámpara de catodo hueco, pero si el grumo esta formado por compuestos organometálicos, la parte orgánica de dicho compuesto es combustible y fácilmente reacciona con la flama para formar átomos libres capaces de absorber energía. Tabla 12

Effect of Solvent on Nickel Absorption and Emission Signals<sup>a</sup>

Solvent <sup>b</sup>	Emission	Absorption
Water	4	4
Azotone	18	144
n-Pentane	19	66
Xylene	17	30

Table No. 12.- Sacada de la referencia 34

#### 2.4 Métodos utilizados para eliminar interferencias.

Son muy variados los métodos empleados para eliminar las interferencias citadas en 2.3. Los principales son: A. Método para eliminar la interferencia química.

La interferencia química puede ser eliminada, usando una flama con temperaturas elevadas como son las de oxido nitroso acetileno y las de oxígeno hidrogeno. Ejemplo: interferencias debidas a átomos de fierro presentes en la muestra se eliminan completamente usando una flama de oxido nitroso acetileno o una de aire propano.

La adición de un elemento que impida el enlace entre los elementos interferentes y el de interés, también es otra forma de eliminar la interferencia química. Ejemplo: en la determinación de estroncio en presencia de silicio y aluminio, existe interferencia por parte de estos dos elementos, la cual se elimina por adición de litio a los estándares y a la muestra.

Otro método de eliminación de esta interferencia es la adición de agentes acomplejantes, tal como el EDTA. Tabla 11. El procedimiento depende sobre todo de la formación de un compuesto complejo y la fuerza de su enlace con el metal de interés es constante aunque se encuentran presentes otros elementos que causan la interferencia.

#### B. Método para eliminar la interferencia por ionización.

La interferencia por ionización se puede eliminar, añadiendo un exceso de elementos de fácil ionización. Ejemplos: en la determinación de calcio se elimina la interferencia por ionización, añadiendo sodio en gran cantidad. En la determinación de aluminio por absorción atómica existe este tipo de interferencia, pero se elimina añadiendo potasio en concentración de 2000 ppm.

En algunos casos no es bueno usar flamas muy calientes cercanas al punto de disociación, cuando se tienen interferencias por ionización.

#### C. Método de eliminación de la interferencia por matriz.

Un método sería usar un quemador especial que pudiera soportar altas concentraciones de sólidos disueltos.

Otro método es diluyendo la muestra o usando dos de los métodos de corrección de absorción no atómica. Estos métodos son:

- 1.- Medir la absorción del metal usando su línea de resonancia y después medir la absorbancia de la flama sola y del solvente por separado. Estas mediciones nos proporcionan la absorción del sistema de la flama a la línea de absorción de resonancia del metal. La muestra es entonces analizada midiendo la absorción total del elemento de la muestra más el sistema formado por la flama y materia no atómica. La diferencia entre las dos mediciones es la absorción propia del elemento que se está analizando.
- 2.- Usando una lámpara de hidrógeno con la lámpara de cátodo hueco del elemento que se está analizando.

Este método lo explicaremos poniendo un ejemplo: supongamos que queremos corregir la absorción no atómica mientras estamos midiendo la absorción atómica del magnesio. Primero mediríamos la absorbancia del magnesio usando su línea de resonancia, esto es a 2833 Å, mas la absorción debida a la

materia no atómica que absorba en esa región del espectro. Después cambiamos la lámpara de cátodo hueco del magnesio por la lámpara continua de hidrógeno; pero dejamos en el monocromador la misma longitud de onda. La absorción no atómica en un rango espectral de  $2 \text{ \AA}$  permanecerá como antes, pero la absorción atómica remueve solamente radiaciones de  $0.01 \text{ \AA}$  en un ancho de banda de  $2 \text{ \AA}$ .

La luz total absorbida por la lámpara de hidrógeno será la absorción no atómica en el ancho de banda total más la absorción atómica en un ancho de banda extremadamente angosto. Si la absorción atómica su cedió cuando se removió la radiación de un ancho de banda de  $0.01 \text{ \AA}$ , el decremento en la señal sería solamente de  $0.05\%$ . La absorción del magne sio con la lámpara de hidrógeno es muy pequeña y puede ser ignorada. En tonces la señal de absorción no atómica puede ser medida simplemente de terminando la absorción con una lámpara de hidrógeno a la misma longitud de onda de la línea de resonancia del magnesio.

La interferencia por matriz también puede ser eliminada si co rregimos la absorción de última señal, usando el efecto Zeeman.

El empleo del efecto Zeeman para corregir la absorción de última señal se pueden lograr en dos formas:

1.- Aplicando un campo magnético de manera alterna y cambiando el ampli ficador a la frecuencia del campo magnético. De esta manera es posible discriminar entre una radiación dispersada y otra no dispersada. En la práctica esto es muy difícil de lograr.

2.- Tomando la ventaja de que la luz dispersada y la no dispersada están polarizadas de manera diferente. El cuarzo fundido a presión es difrac tado, esto es, la luz se difracta diferentemente cuando sus ejes de pola rización son diferentes. El cuarzo puede ser tensionado a una frecuencia controlada y los dos pasos de luz descriminados. Una corrección automáti ca se puede lograr con una amplificación útil de la absorción de última señal, medida por la radiación de los desplazamientos de líneas espectra les Zeeman.

La ventaja de esta técnica es que solamente una fuente y un de tector son usados. La corrección de la última señal es hecha a una longi tud de onda muy cercana a la línea de resonancia y es muy exacto. También tiene la ventaja que es una técnica muy compacta y de fácil operación.

La principal dificultad con esta técnica es que el campo magné tico usado para generar las dispersiones Zeeman también interacciona con los iones del cátodo hueco. Esto causa que la emisión del cátodo hue-

co sea ruidosa, la cual causa impresiones en el analisis que se este ha ciando.

La absorción no atómica por solventes, usualmente, no es muy grande, pero es una fuente significativa de error; particularmente cuando se trata de solventes aromáticos y alogenados. La c rrección debe hacerse de tal forma que se obtengan resultados analíticos reproducibles. Esto se puede lograr midiendo la absorción en la línea de resonancia, debida al solvente más la flama y midiendo la absorción total con la lámpara de hidrógeno o por el efecto zeeman.

El método de dilución de la muestra, no es siempre adecuado, so bre todo cuando el elemento que se esta analizando se encuentra en muy baja concentración.

El método que más se usa por su simplicidad es el de compensación.

Este método consiste en adicionar a los estandars que se emplean en cualquier determinación, las mismas cantidades del elemento que se en cuentra en mayor proporción. Por ejemplo: en la determinación de cromo en un metal cuya composición es: Fe 89 % y de Cr 0.467 %, se debe añadir cerca de 900 ppm. de fierro a los estandars usados durante la determinación (uno mínimo y otro máximo), para compensar la cantidad de fierro presente en la muestra y así evitar la interferencia por matriz. En esta caso par ticular la matriz sería el fierro.

D. Métodos empleados para eliminar la interferencia de radiación.

Los problemas de interferencia por radiación se pueden evitar, usando un chopper mecánico adecuado, el cual hace que la radiación de la flama caiga en una superficie de vidrio de la ventana del catodo hueco, de aquí se refleja y llega de nuevo al sistema formado por el chopper. Ba jo estas condiciones, el haz luminoso será dividido y modulado y parecerá ser originado del catodo hueco.

La interferencia por radiación también puede controlarse, usan do un chopper electrico o inclinando la cara de la ventana del catodo hueco para evitar que la luz se refleje hacia el centro de la trayectoria lu minos a.

Existe un efecto secundario de la radiación originada por la flama. Si la emisión es intensa, el detector pue e sufrir un corto circui to o producir ruido, el cual afecta la determinación. Esto sucede en ca sos, en los cuales se trabaje con flamas incandescentes como la flama re ductora de oxido nitroso acetileno.

E. Métodos usados para corregir la interferencia de excitación.

Como se dijo anteriormente este tipo de interferencia es poco común en EAA, sin embargo algunas veces se presenta en pequeña escala, y se puede corregir eligiendo una flama no muy caliente, para evitar la presencia de muchos átomos excitados.

Cuando un aparato esta modulado, las interferencias por excitación y por radiación son mínimas en los métodos de emisión y nulas en los casos de absorción atómica.

La MODULACION de un espectrofotometro de absorción atómica consiste en:

Muchos de los metales emiten fuertemente a longitudes de onda a las cuales también absorben fuertemente. Esto hace pensar que la señal recibida por el detector es una señal confusa de absorción y de emisión. La señal de emisión es la fuente de todos los errores, normalmente, encontrados en fotometria de flama y reciben el nombre de interferencia de interelemento y de última señal. Estas interferencias en fotometria de flama afectan de manera directa la absorción atómica de cualquier elemento y de cualquier muestra.

En 1955 Walsh empezó con la resolución de este problema, modulando la fuente luminosa y ajustando el detector a la misma frecuencia. Bajo estas circunstancias el detector ve solo la señal interrumpida de la fuente y no la señal directa de la flama, la cual esta interpolada.

La modulación de un espectrofotometro de absorción atómica no es necesario en algunos casos. Si el metal no emite a una longitud de onda a la cual absorba.

Usualmente, la modulación, se hace cuando las longitudes de onda de absorción atómica son menores a 2800 Å ejemplo: La línea de cinc 2138 Å. Existen dos métodos posibles de modulación: Uno usa un chopper mecánico y un ajuste al detector y el otro usa una corriente eléctrica alterna o corriente alterna rectificada de la misma fuente de poder. En ambos métodos, se tiene que hacer un ajuste de la frecuencia del catodo hueco.

Existen dos métodos para proporcionarle la corriente alterna a la fuente de radiación:

- 1.- Usando un impulso eléctrico intermitente en el catodo hueco, el cual irradia una señal también intermitente.
- 2.- Usando un cuadrante rotatorio enfrente del catodo hueco el cual puede reflejar la señal de emisión de la flama o seguir el paso de la señal por el centro de la trayectoria luminosa. Esto último provee una señal inte-

rrumpida (chopper mecánico). En cualquiera de los dos casos la frecuencia de la división de la luz se mantiene a una velocidad bien controlada.

C A P I T U L O    I I I

Material y Métodos.



Material:

I. Espectrofotometro de absorción atómica

Varian Techtron Modelo AA 6

Descripción del aparato:

- (a) Fuente luminosa.- Lámparas de catodo hueco de manganeso, cromo y níquel. Fabricadas en Springvale, Victoria Australia.
- (b) Torreta para las lámparas.- Todas las lámparas pueden ser colocadas en este lugar de cuatro en cuatro. Cuatro lámparas pueden estar encendidas al mismo tiempo. Formada por cuatro cuadrantes, provistos de botones que se utilizan para la alineación de la lámpara en la trayectoria luminosa.
- (c) Quemador.- Tiene dos: uno para flamas de aire acetileno y otro para flamas de oxido nitroso acetileno. Los dos son del tipo de premezclado y producen flamas laminares y estables. El atomizador esta hecho de polipropileno, resistente a la corrosión y el nebulizador es de acero con capilar de platino-iridio.

Los quemadores se pueden mover en tres diferentes planos (vertical-horizontal y radial) y estan hechos con titanio, el cual es resistente a la corrosión.

(d) Monocromador.- Con montaje Ebert con enrejado de 50 X 50 mm, 638 líneas por mm. 500 mm de longitud focal.  $f/10$  apertura. Rango de longitud de onda de 185 a 1000 mm. Ajustes para la longitud uno grueso y otro fino. Exactitud de la longitud de onda de 0.1nm. Slit variable de 0 a 1.0 mm de ancho de banda espectral y con una altura de 10mm. Dispersión reciproca de 3.3 nm/mm.

(e) Adaptación para analisis por emisión de flama.- Algunos elementos son detectados más fácilmente con mayor exactitud por medio de emisión de flama. Este espectrofotometro tiene un chopper que se coloca sobre el riel óptico y su funcionamiento es controlado electrónicamente; este chopper se pone en funcionamiento oprimiendo el boton EMISS del módulo de lectura, y cuando se esta trabajando con los otros sistemas automáticamente se anula su funcionamiento. No es necesario quitar el chopper durante las mediciones de absorbancia normales.

Esta formado por tres módulos de control:

1.- Módulo de lámparas.- Controla la corriente en mA que pasa a través de

cada una de las lámparas que se colocan en la torreta (b). Está sincronizadamente modulado con un amplificador a 285 Hz. Las corrientes de las lámparas pueden ser variadas de uno a treinta mA. Voltaje mínimo de 450 V. y el voltaje óptimo de operación es de 400 V.

2.- Módulo de gases.- Controla los flujos de gases oxidantes y combustibles que pasan hacia el quemador (c). Desde el momento en que se enciende el módulo, todos los procedimientos, desde la ignición hasta terminar el trabajo, son automáticos. Los flujos de oxidante-combustible son medidos electrónicamente. El cambio de aire acetileno a óxido nítrico acetileno es automático y tiene interlocks que previenen el uso de un quemador no apropiado. Los sensores de flujo y presión se cierran automáticamente si no son correctas estas variables, lo cual se indica mediante el encendido del foco correspondiente en el módulo. En el caso que faltara fuerza eléctrica en este módulo, no existe ningún peligro porque el aparato tiene una reserva.

Existen dos válvulas de seguridad para el cambio de aire acetileno a óxido nítrico acetileno. También tiene un regulador de altas presiones y un botón que controla la ignición inmediata, así como otros para controlar cantidades de oxidante y combustible.

Este módulo también tiene un interlock de seguridad para prevenir que se encienda directamente la flama de óxido nítrico acetileno.

3.- Módulo de lectura.- Con este módulo se hacen los siguientes ajustes:

- A. Calibración del cero.- en absorbancia y en transmitancia o directamente en concentración.
- B. Construcción de la curva de trabajo.- Se utilizan dos estándares para este propósito, así como los botones que controlan la expansión de la curva y corrección de la misma.

Para obtener resultados analíticos exactos es necesario tener los resultados claros, explícitos y convenientes. El digital de este espectrofotómetro tiene cuatro dígitos grandes y perfectamente bien iluminados, lo cual elimina errores de lectura. En las formas de absorbancia y transmitancia, el punto decimal se puede cambiar de posición automáticamente; en la forma de concentración se puede cambiar de posición manualmente después del dígito que uno desee. El rango de absorbancia abarca de 0.0 a 2.0.

C. Integración.- Se obtiene una mayor exactitud y precisión mediante la integración de las señales analíticas. Tiene tres períodos de integración. Tres segundos para alta precisión en análisis de rutina, diez segundos para mayor precisión cuando el tiempo es menos presionante, y treinta segundos para aquellos análisis donde solamente se acepta la mayor precisión.



**D. Autocalibración.-** En el modo de concentración, la calibración electrónica, automáticamente calibrará el instrumento a la solución estandar. Simplemente se ajusta el control de calibración a que de la concentración del estandar en el digital, se introduce el estandar y se oprime el boton **CAL**. La calibración automática se puede hacer en los modos de lectura **damp**, **integrate** o **peak** y la calibración puede ser checada en cualquier momento de un programa analítico, simplemente introduciendo el estandar y oprimiendo el boton de **CAL**.

**E. Expansión de escala.-** Cuando la expansión de escala está siendo usada para producir lecturas directas en las unidades de concentración requeridas es importante conocer cuanta expansión de escala está siendo aplicada. Esto se logra oprimiendo el botón **SCALE EXPANSION** y ajustándola con el botón correspondiente.

**F. Corrección de curva.-** En el modulo de lectura se encuentra un botón que corresponde a la corrección de la curva, el cual sirve para dar linealidad a la curva de trabajo. El aparato construye automáticamente las curvas de calibración cuando se esta trabajando en el modo de concentración. Primero se ajusta el estandar bajo y el estandar alto da aproximada la concentración que tiene; pero con el botón de la corrección de curva se ajusta al valor correcto.

**G. Cero.-** El botón correspondiente a **ZERO** es el que se utiliza para ajustar el cero tanto en transmitancia (en el caso que se esta ajustando la lámpara), en absorbancia (cuando se construyen curvas de calibración con absorbancias contra concentraciones).

**H. Indicador de energía.-** En este módulo se encuentra un botón, que cuando es oprimido, aparece en el digital la cantidad de energía sensible al mismo en Volts.

Entre el módulo de las lámparas y el de lectura, se encuentra el **EXTRACTOR**. Este se utiliza para eliminar todos los gases producidos durante la combustión de las disoluciones. Puede ser ajustado de tal manera que no extinga la flama o la haga inestable ( todo abierto, Max o Min).

En la parte inferior del extractor, localizamos el sistema formado por el atomizador y quemador, con una trampa para que las gotas grandes (resultado del proceso de atomización) se puedan drenar. A la derecha y de frente a este sistema se encuentra el chopper (e), se encuentra el sistema formado por: Slit, monocromador (d) y espectrometro.

El sistema óptico del aparato es el de un solo paso, el cual emplea el mínimo número de componentes, reflexiones innecesarias son escasas, las pérdidas ópticas son minimizadas y por lo tanto la eficiencia de

este sistema es muy grande. La geometría del paso de luz angosto, asegura la máxima sensibilidad y la linealidad en los sistemas de flama convencionales, además que proveen la energía ya puesta cuando se está usando celdas de atomización sin flama.

## II Material de vidrio.

Matraces aforados de 1000 ml., 500 ml., y 100 ml.

Pipetas volumétricas de 5, 10, 20, 25 y 50 ml.

Vasos de precipitado de 250 ml. y 50 ml.

Matraces erlenmeyer de 250 ml.

## III Sustancias.

Polvo de fierro Q.P.

Polvo de manganeso metálico 99.2 % de pureza

Dicromato de potasio Q.P.

Nitrato de cobalto (II) hexahidratado Q.P.

Polvo de níquel 99.9 % de pureza

Acido clorhídrico (1:1)

Acido nítrico (1:3) y (1:1)

Agua desmineralizada.

### Métodos.

Los métodos empleados en este trabajo los podemos dividir en tres:

- A. Preparación de estandars.
- B. Preparación de diluciones.
- C. Manejo del aparato y condiciones empleadas para cada caso.

#### A. Preparación de estandars.

Se prepararon cinco estandars de 1 mg/ml. del metal:

1. Estandar de fierro.- Pesar 1 g. de polvo de fierro Q.P. y disolverlo con 100 ml. de HCl (1:1) en un matraz erlenmeyer, calentandolo hasta disolución completa. Enfriar y aforar la disolución a un litro con agua desmineralizada.
2. Estandar de manganeso.- Pesar 1.0080 g. de manganeso metálico 99.2 % de pureza y disolverlo en un matraz erlenmeyer con 50 ml. de HNO<sub>3</sub> (1:3). Enfriar y aforar a un litro con agua desmineralizada.
3. Estandar de cromo.- 2.8293 g. de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> Q.P. se disuelven con agua desmineralizada en un vaso de precipitado y después se pasa cuantitativamente a un matraz aforado de 1 litro y se afora a la marca.
4. Estandar de cobalto.- Se pesan 4.9368 g. de Co(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O y se disuelven en un vaso de precipitado con agua desmineralizada. Se pasa la disolución cuantitativamente a un matraz aforado de un litro y se afora a la marca con agua desmineralizada.
5. Estandar de níquel.- 1 g. de níquel 99.9 % se disuelve con 30 ml. de HNO<sub>3</sub> (1:1) en un matraz erlenmeyer calentándolo. Enfriar la disolución y aforarla a un litro con agua desmineralizada.

Después se prepararon dos estandars de 2 mg./ml. de fierro y cobalto.

6. Estandar de fierro.- Se pesan 0.5 g. de fierro Q.P., se disuelven con 50 ml. de HCl(1:1), se enfría y se afora a 250 ml. con agua desmineralizada.
7. Estandar de cobalto.-2.4684 g. de Co(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O Q.P., se disuelven y aforan a 250 ml. con agua desmineralizada.

B. Diluciones.

Las diluciones se resumen en las siguientes tablas:

Gráfica 1.- Construida con 4 curvas.

(a)

ppm.Cr	ml.St.3	ppm.Co	ml.St.4	ml.St.7	Aforo
20	2	50	5	-	100 ml.
20	2	100	10	-	100 ml.
20	2	250	25	-	100 ml.
20	2	500	50	-	100 ml.
20	2	1000	-	50	100 ml.

(b)

ppm.Cr	ml.St.3	ppm.Co	ml.St.4	ml.st.7	Aforo
40	4	50	5	-	100 ml.
40	4	100	10	-	100 ml.
40	4	250	25	-	100 ml.
40	4	500	50	-	100 ml.
40	4	1000	-	50	100 ml.

(c)

ppm.Cr	ml.St.3	ppm.Co	ml.St.4	ml.St.7	Aforo
60	6	50	5	-	100 ml.
60	6	100	10	-	100 ml.
60	6	250	25	-	100 ml.
60	6	500	50	-	100 ml.
60	6	1000	-	50	100 ml.

(d)

ppm.Cr	ml.St.3	ppm.Co	ml.St.4	ml.St.7	Aforo
80	8	50	5	-	100 ml.
80	8	100	10	-	100 ml.
80	8	250	25	-	100 ml.
80	8	500	50	-	100 ml.
80	8	1000	-	50	100 ml.

Gráfica 2.

Se utilizaron las mismas diluciones de la gráfica 1. Sólo se cambiaron las condiciones de trabajo en el aparato.

Gráfica 3. Construida con cuatro tablas de dilución:

(a)

ppm.Ni	ml.St.5	ppm.Co	ml.St.4	ml.St.7	Aforo
20	2	50	5	-	100 ml.
20	2	100	10	-	100 ml.
20	2	250	25	-	100 ml.
20	2	500	50	-	100 ml.
20	2	1000	-	50	100 ml.

(b)

ppm.Ni	ml.St.5	ppm.Co	ml.St.4	ml.St.7	Aforo
40	4	50	5	-	100 ml.
40	4	100	10	-	100 ml.
40	4	250	25	-	100 ml.
40	4	500	50	-	100 ml.
40	4	1000	-	50	100 ml.

(c)

ppm.Ni	ml.St.5	ppm.Co	ml.St.4	ml.St.7	Aforo
60	6	50	5	-	100 ml.
60	6	100	10	-	100 ml.
60	6	250	25	-	100 ml.
60	6	500	50	-	100 ml.
60	6	1000	-	50	100 ml.

(d)

ppm.Ni	ml.St.5	ppm.Co	ml.St.4	ml.St.7	Aforo
80	8	50	5	-	100 ml.
80	8	100	10	-	100 ml.
80	8	250	25	-	100 ml.
80	8	500	50	-	100 ml.
80	8	1000	-	50	100 ml.

Gráficas 4 y 5.- Se construyeron usando las mismas diluciones de la gráfica 3.

Gráficas 6 y 7.- Se construyeron con las siguientes diluciones:

(a)

ppm.Mn	ml.St.2	ppm.Fe	ml.St.1	ml.St.6	Aforo
20	2	50	5	-	100 ml.
20	2	100	10	-	100 ml.
20	2	250	25	-	100 ml.
20	2	500	50	-	100 ml.
20	2	1000	-	50	100 ml.

(b)

ppm.Mn	ml.St.2	ppm.Fe	ml.St.1	ml.St.6	Aforo
40	4	50	5	-	100 ml.
40	4	100	10	-	100 ml.
40	4	250	25	-	100 ml.
40	4	500	50	-	100 ml.
40	4	1000	-	50	100 ml.

(c)

ppm.Mn	ml.St.2	ppm.Fe	ml.St.1	ml.St.6	Aforo
60	6	50	5	-	100 ml.
60	6	100	10	-	100 ml.
60	6	250	25	-	100 ml.
60	6	500	50	-	100 ml.
60	6	1000	-	50	100 ml.

(d)

ppm.Mn	ml.St.2	ppm.Fe	ml.St.1	ml.St.6	Aforo
80	8	50	5	-	100 ml.
80	8	100	10	-	100 ml.
80	8	250	25	-	100 ml.
80	8	500	50	-	100 ml.
80	8	1000	-	50	100 ml.

Gráfica 8.- Construida con la siguiente tabla de dilución:

Conc. Co	ml.St.4	Conc.Cr	ml.St.3	Aforo
50	5	80	8	100 ml.
100	10	80	8	100 ml.
200	20	80	8	100 ml.
250	25	80	8	100 ml.

Tabla IX.- Corresponde a la gráfica No. 8

Conc. Co	Conc. Cr	Abs	Condiciones de trabajo
50	80	0.552	Mismas condiciones de flama que la gráfica 2
100	80	0.540	
200	80	0.523	
250	80	0.523	

**C. Manejo del aparato y condiciones empleadas en cada caso.**

Para escoger la interferencia entre los elementos y la longitud de onda en cada caso, se consideraron los siguientes hechos:

1.- El cobalto, fierro y níquel, causan depresión en la absorbancia del cromo.

2.- La depresión de la absorbancia por el fierro y níquel se puede eliminar fácilmente, utilizando una flama oxidante de oxido nitroso acetileno; mientras que la depresión de la absorbancia por cobalto no es fácil eliminarla mediante el cambio de flama.

3.- La interferencia del cobalto en las determinaciones de cromo y níquel depende de la estequiometría de la flama que se emplee.

4.- Cuando el níquel se encuentra en concentraciones del orden de 1500 ppm., abate la absorbancia del cobalto en un 50%.

5.- De las tablas tomadas del Manuel Lange (tabla 7), se escogieron las líneas de mayor interferencia para 5 lámparas del aparato. Con el aparato se verificó que tan buena era la interferencia, así se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla No. 1 del capítulo IV.

Cada una de las gráficas se hicieron mediante la graficación de la concentración del metal contra la absorbancia de dichas concentraciones. Todas las lecturas se hicieron a diferentes condiciones, pero en todos los casos, la posición del quemador se ajustó con los tres tornillos a que diera la máxima absorbancia, la solución que se estuvo analizando.

La posición de la lámpara y la longitud de onda, también se ajustaron previamente al encendido del quemador. La velocidad de alimentación de la muestra al quemador se ajusta mediante el movimiento de la cabeza del nebulizador con su correspondiente control (está numerado del 1 al 6). Esta velocidad debe ser tal que la absorbancia de la solución sea máxima y muy estable.

Las condiciones que son diferentes en cada gráfica se resumen en la siguiente tabla:



Gráfica	(nm)	Lámpara	Flama	Estequiometría de la flama.
1	428.9	Cr	N <sub>2</sub> O-Acet.	Oxidante
2	428.9	Cr	Aire-Acet.	Oxidante
3	351.5	Ni	Aire-Acet.	Reductora
4	351.5	Ni	N <sub>2</sub> O- Acet.	Reductora
5	351.5	Ni	N <sub>2</sub> O- Acet.	Oxidante
6	403.1	Mn	N <sub>2</sub> O- Acet.	Oxidante
7	403.1	Mn	N <sub>2</sub> O- Acet.	Reductora
8	428.9	Cr	N <sub>2</sub> O- Acet.	Oxidante

Bajo las condiciones señaladas en la tabla anterior y con las diluciones hechas según se dijo anteriormente, se tomaron las lecturas de absorbancia correspondientes a cada una de las diluciones y después se construyeron las gráficas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 (Ver capítulo IV)

Todas las curvas de las gráficas presentan diferente pendiente y aquellas con alguna sección de pendiente grande positiva fueron amplificadas. Estas secciones se encuentran debidamente señaladas en cada una de las gráficas.

#### Manejo del aparato.

- 1.- Encender los switches (1) principales de los módulos (I,II,III).
- 2.- Encender y ajustar los miliamperímetros de las lámparas que se van a utilizar (2), con las perillas correspondientes (el número de la lámpara corresponde al número de perilla del amperímetro). Permitiendo que el aparato se caliente por lo menos media hora.
- 3.- Conectar el extractor (3).
- 4.- Abrir las llaves de los manómetros (4) de los gases y ajustarlos a la presión requerida.
- 5.- Con el módulo de lectura (II) puesto en TRANS y en DAMP A, llevar a cabo las siguientes operaciones:
  - (a) Colocar la lámpara que se va a utilizar en la posición de trabajo, girando la torreta (5). En línea recta hacia el monocromador.
  - (b) Poner la longitud de onda adecuada corriendo rápidamente con el SCAN y haciendo el ajuste fino con el SET (6y7). El SET se manipula oprimiéndolo y a la vez dándole vuelta hacia el lado conveniente. A continuación ajustar la apertura del slit (8) según lo indique el manual de lámparas.
  - (c) Apretar el botón ZERO (9) hasta que marque 100 el digital.

- (d) Alinear la lámpara girando la perilla que esta en la parte posterior de la misma (10), observando la aguja del galvanómetro (II) hasta tener la máxima transmitancia.
- (e) Ajustar la orientación del quemador de tal manera que de máxima transmitancia.
- 6.- En el módulo de gases (III), comprobar que las perillas FUEL y OXIDANT (11) esten totalmente corridas en el sentido de las manecillas del reloj.
- 7.- Revisar que se hayapuesto el quemador apropiado al analisis que se va ya a efectuar. Encender la flama y ajustarla como sigue:(28, 29)

#### AJUSTE DE FLAMAS

1. Flama aire-acetileno: apretar el botón AIR/acet (12). Apretando el botón TEST-FLOW (13), girar la perilla FUEL hasta que en el cuadrante correspondiente la aguja indique el número 5 y hacer lo mismo con la perilla OXIDANT hasta que la aguja marque 3. Apretar el botón IGNITION (14). La estequiometría de la flama se ajusta siempre con el botón FUEL.
2. Flama Oxido Nitroso -Acetileno: Apretar el botón N<sub>2</sub>O/Acet. (15). Apretando el botón TEST FLOW ajustar tanto el FUEL como el OXIDANT hasta que el correspondiente foco rojo (16) se apague. (Cuando se suelta el TEST FLOW se encienden de nuevo). Apretar el botón de IGNITION y ajustar la estequiometría de la flama con la perilla FUEL.
- 8.- Una vez encendida la flama, cambiar en el módulo de lectura a ABS (17) y absorbiendo el blanco apretar el botón de ZERO.
- 9.- Cambiar a concentración (18). Apretando el botón DISPLAY (19) ajustar la expansión de la escala a 1.0 con la perilla correspondiente(20) oprimiéndolo al girarlo. Regresar a ABS y absorbiendo el blanco apretar el botón ZERO. Terminada esta operación, el aparato se encuentra listo para la calibración con los estandars alto y bajo que se utilizan en cada determinación.

Los analisis se pueden llevar a cabo por absorbancia o directamente en concentración:

- Por absorbancia.- En el módulo de lectura se tiene en ABS y DAMP A, se absorbe el blanco y en el digital se debe leer cero. Si no es así, oprimir el botón ZERO, hasta que la lectura del digital sea cero. Teniendo ya ajustado el cero, se absorbe el estandar más bajo y se verifica la orientación del quemador. Por último se pasa a cualquiera de las teclas de integración y se absorben todos los estandars, empezando por el de

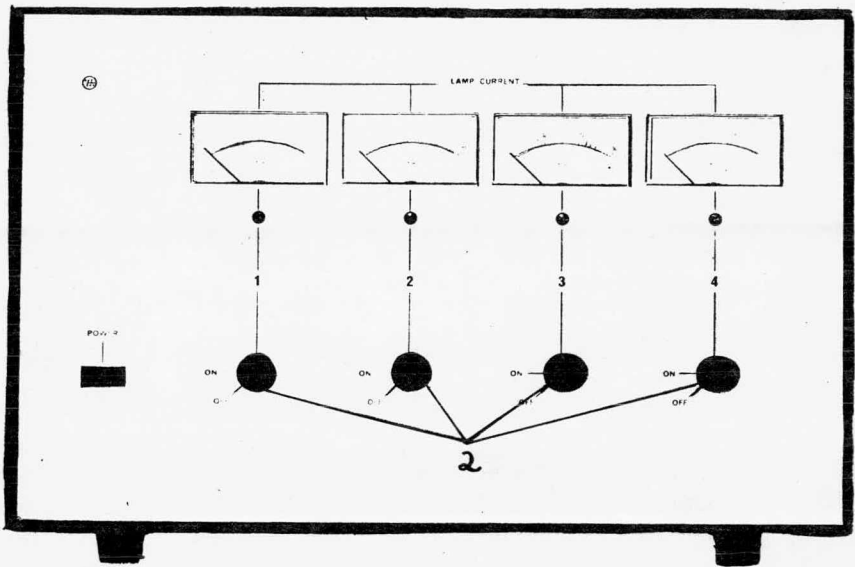
menor concentración. Se toman las lecturas de absorban-  
cia y después se construye una gráfica de concentra-  
ción contra absorbancia y la concentración de la mues-  
tra se sabe por interpolación en dicha gráfica.

- Por Concentración.-
- (a) Sin absorber nada y apretando el botón de SET-CAL (21) poner el por ciento o su equivalente en ppm. del estandar mínimo con la perilla correspondiente.
  - (b) Aspirar el estandar mínimo y apretar el botón CAL (22) hasta que se apague y se lea en el digital el valor que se había predeterminado.
  - (c) Aspirar el estandar máximo y girar la perilla CURVE-CORRECT hasta que se ajuste la lectura al valor del estandar (23).
  - (d) Cambiando a INT 3', 10' o 30' (24), comprobar las concentraciones de los dos estandars, apretando el botón READ (25)

NOTA: Cuando se ha apretado el botón READ, no debe apretarse ningún otro botón, hasta que no se haya encendido y apagado nuevamente dicho botón y se pueda leer el nuevo valor en el digital (26)

(e) Hacer las lecturas de las muestras absorbiendolas y apretando el botón READ. NOTA: Si se quieren hacer analisis muy rápidos, use los botones del DAMP y los resultados serán aproximados.(27)

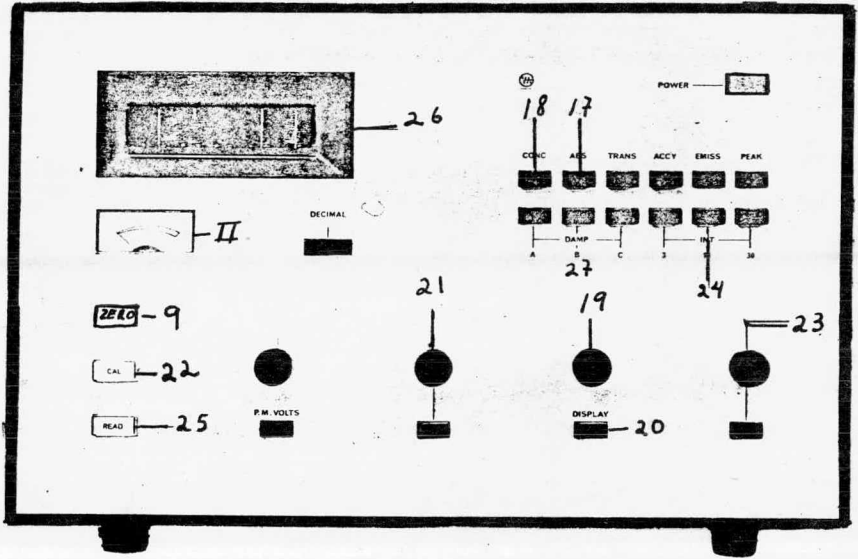
Cada 5 ó 6 muestras se debe comprobar el ajuste o cali-  
bración hecha con los dos estandars, absorbiendolos y  
viendo que no varien la concentración de dichos estan-  
dars.



I

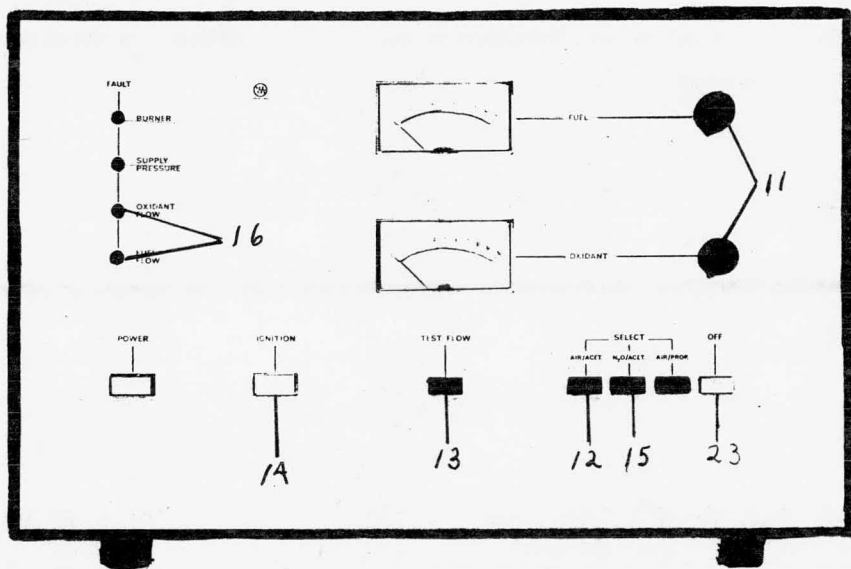
MODULO DE LAMPARAS

Las figuras de las páginas 92 a la 98 fueron sacadas del manual del espectrofotómetro de absorción atómica Modelo AA6 Varian Techtron.



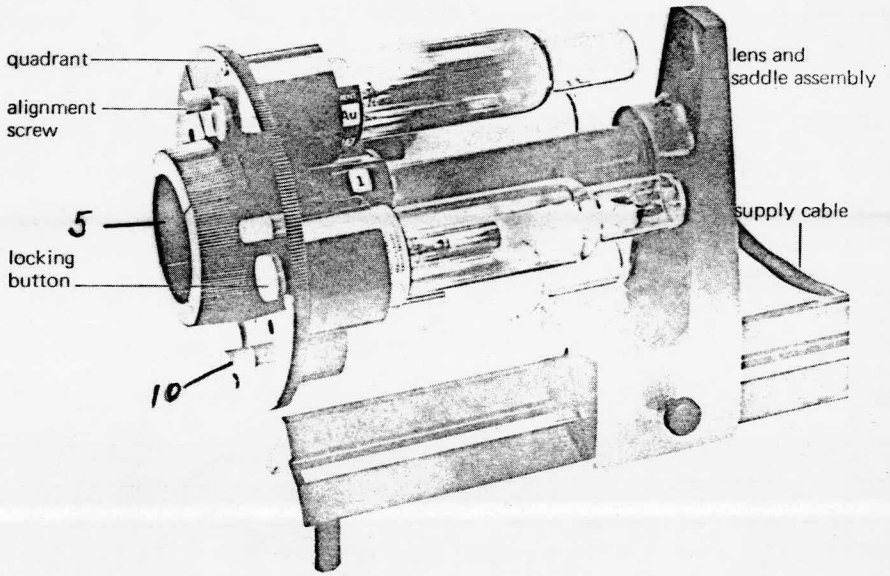
II

MODULO DE LECTURA

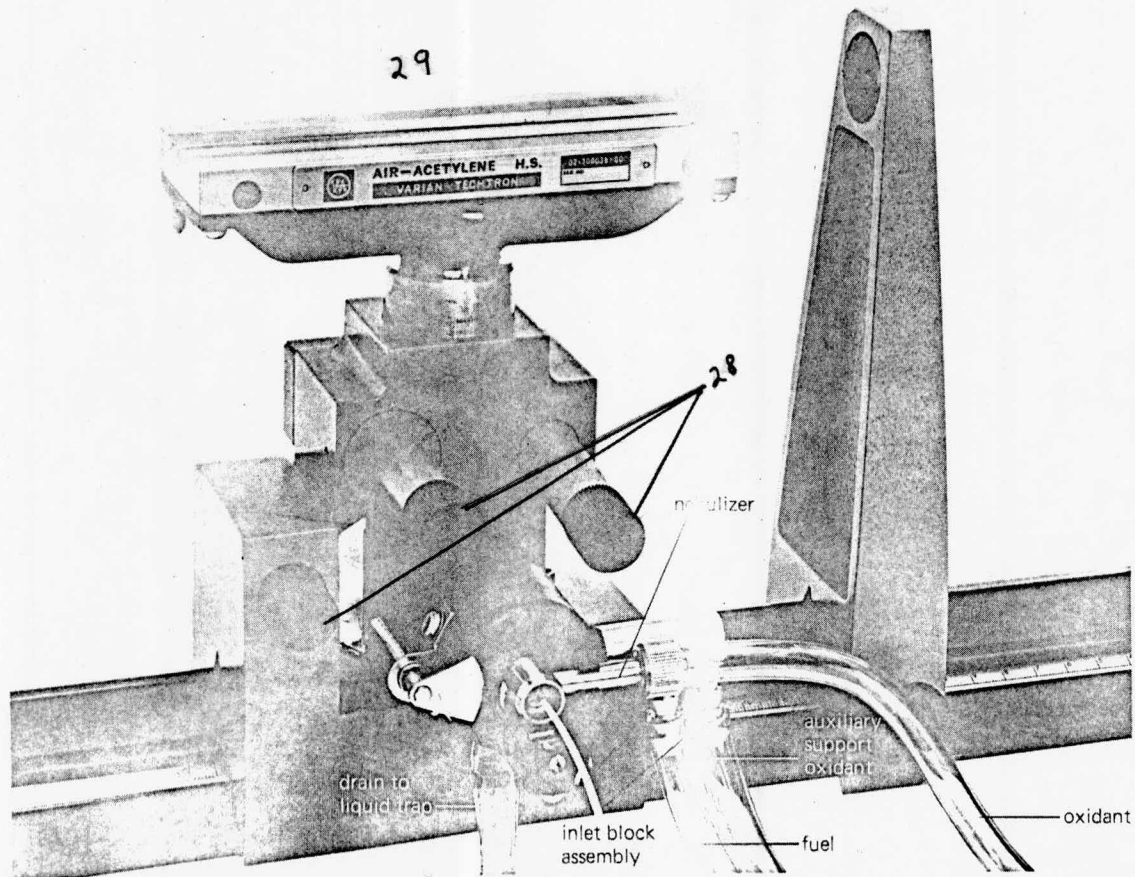


III

MODULO DE GASES

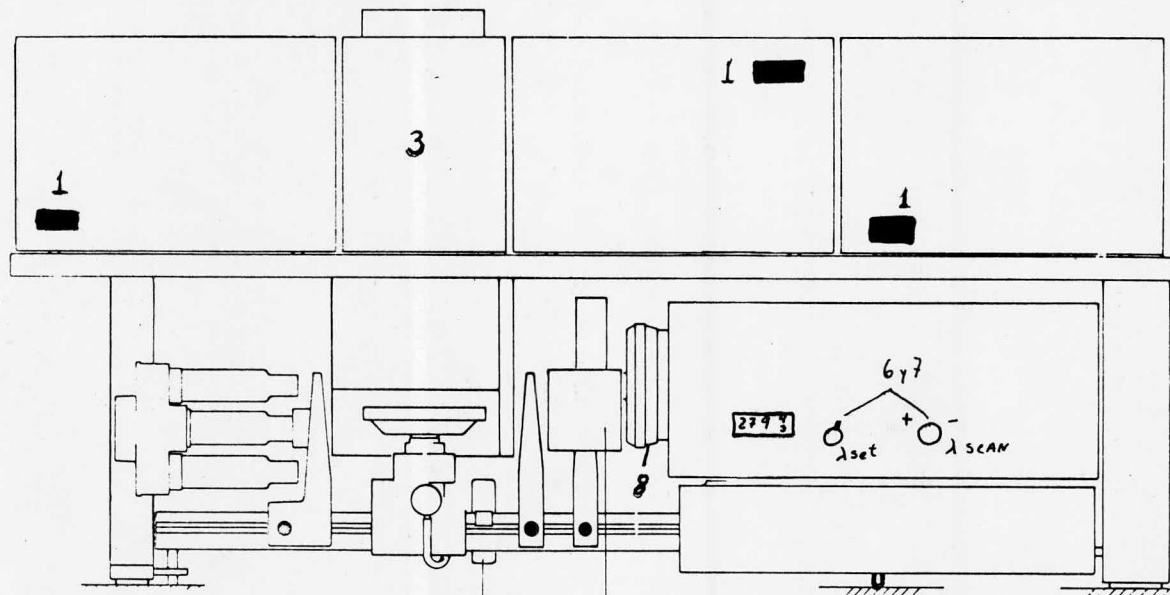


TORRETA, LAMPARAS Y PARTE DEL  
RIEL OPTICO



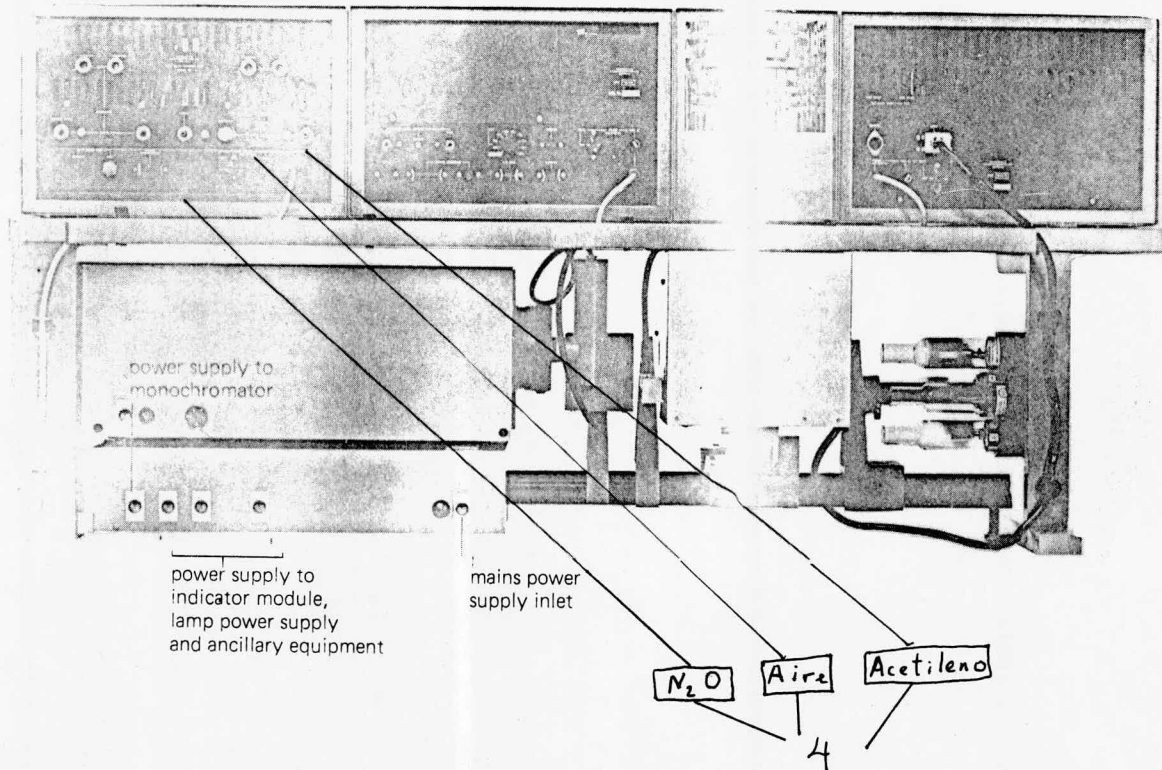
QUEMADOR Y SISTEMA DE ATOMIZACION





liquid trap and clip      chopper

ESPECTROFOTOMETRO DE ABSORCION ATOMICA MODELO AA6



PARTE POSTERIOR DEL ESPECTROFOTOMETRO DE ABSORCION

ATOMICA AA6

C A P I T U L O IV

Resultados y Discusión.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo los podemos clasificar en:

- A. Resultados del trabajo previo (para encontrar la interferencia).
- B. curvas de trabajo para el analisis de cobalto utilizando su interferencia con el cromo y el níquel.
- C. Curvas de trabajo para el analisis de fierro utilizando su interferencia con el manganeso.
- A. Primeramente se intentó encontrar una interferencia pura de línea de algún elemento con cualquiera de las diez lámparas de catodo hueco con las que disponemos en el laboratorio. La tabla No. 1 resume los resultados obtenidos de este intento.

Tabla 1.

Lámpara	Elemento a ensayar	Longitud de onda nota 1	Conc. del elemento a ensayar	Observaciones
Al	V	3092.71 3092.72	1 mg/ml. Es tandar hecho con vanadato de amonio	Sólo se logró una absorbancia de 0.003
Al	V	3092.72 3092.71	20 ppm.	No se tuvo ninguna <u>se</u> ñal.
Al	Mo	3092.71 3092.70	15 ppm.	Se obtuvo una abs. de 0.002
Mo	Fe	3798.25 3798.51	1 mg/ml. y 20 ppm.	No hubo <u>se</u> ñal
Ni	Fe	3515.05 3515.82	1 mg/ml y 20 ppm.	No hubo <u>se</u> ñal.
W	Fe	2944.40 2944.40	1 mg/ml. y 20 ppm.	No hubo <u>se</u> ñal.
Mn	Co	2794.82 2794.82	1 mg/ml. y 20 ppm.	No hubo <u>se</u> ñal.
Mn	Cr	4030.76 4030.68	1 mg/ml. y 25 ppm.	No hubo <u>se</u> ñal.
Mn	Fe	4030.76 4030.49	1 mg/ml.	Si hubo <u>se</u> ñal.
Mn	Fe	4030.76 4030.49	20 ppm.	Se obtuvo una abs. de 0.026

Nota 1 La longitud de onda que se encuentra en primer término (superior) corresponde al elemento del que esta hecho el catodo hueco o sea la lámpara, y la longitud de onda inferior corresponde a el elemento interferente o elemento a ensayar.

Nota 2 Todas las pruebas se hicieron con flamas de oxido nitroso-acetileno, variando la estequiometría de la flama, tratando de tener señal de absorción en todos los casos.

La tabla anterior nos muestra que no se puede tener una interferencia pura de línea con el espectrofotómetro con el cual se efectuaron las pruebas.

Tal vez con otro aparato que tuviera un monocromador con mayor resolución de longitud de onda (que de una cifra más) si se podría encontrar una interferencia pura de línea.

Sin embargo, se tomó en cuenta el resultado obtenido con la lámpara de manganeso. Estudiamos la interferencia del fierro con el manganeso.

B. Se midieron las absorbancias de cada una de las diluciones descritas en el capítulo III y se construyeron las gráficas de absorbancia contra concentración del elemento analizado. Cada gráfica está constituida por cuatro curvas. Las gráficas 1 y 2 corresponden a las diluciones hechas con cobalto y cromo; mientras que las gráficas 3, 4 y 5 corresponden a las diluciones de cobalto con níquel. Los resultados obtenidos de las lecturas de absorbancia hechas en el espectrofotómetro de absorción atómica con las diluciones antes mencionadas se resumen en las siguientes tablas:

Tabla II. Correspondiente a la gráfica 1

Concentración de Co	Conc. Cr	Abs.	Flama
ppm.	ppm.		
50	20	0.132	N <sub>2</sub> O-Acet-Oxid.
100	20	0.135	"
250	20	0.129	"
500	20	0.136	"
1000	20	0.142	"
50	40	0.261	"
100	40	0.253	"
250	40	0.264	"
500	40	0.266	"
1000	40	0.269	"
50	60	0.375	"

Concentración de Co ppm	Conc. Cr ppm	Abs.	Flama
100	60	0.368	N <sub>2</sub> O-Acet. Oxidante
250	60	0.366	"
500	60	0.388	"
1000	60	0.399	"
50	80	0.499	"
100	80	0.509	"
250	80	0.516	"
500	80	0.521	"
1000	80	0.544	"

Tabla III.- Corresponde a la gráfica II

Conc. Co ppm	Conc. Cr ppm	Abs.	Flama
50	20	0.067	Aire-Acet. Oxidante
100	20	0.083	"
250	20	0.093	"
500	20	0.095	"
1000	20	0.097	"
50	40	0.133	"
100	40	0.135	"
250	40	0.171	"
500	40	0.179	"
1000	40	0.174	"
50	60	0.203	"
100	60	0.206	"
250	60	0.247	"
500	60	0.254	"
1000	60	0.261	"
50	80	0.268	"
100	80	0.284	"
250	80	0.327	"
500	80	0.333	"
1000	80	0.346	"

Tabla IV

Corresponde a la gráfica 3.

Conc. Co (g/ml.)	Conc. Li (g/ml.)	Abs.	Flama
50	20	0.035	Aire - Acetileno Reductora.
100	20	0.040	"
250	20	0.040	"
500	20	0.044	"
1000	20	0.049	"
50	40	0.094	"
100	40	0.090	"
250	40	0.088	"
500	40	0.089	"
1000	40	0.097	"
50	60	0.148	"
100	60	0.139	"
250	60	0.134	"
500	60	0.133	"
1000	60	0.138	"
50	80	0.197	"
100	80	0.190	"
250	80	0.178	"
500	80	0.173	"
1000	80	0.179	"

Tabla V

Corresponde a la gráfica 4

Conc. Co (g/ml.)	Conc. Li (g/ml.)	Abs.	Flama
---------------------	---------------------	------	-------

50	20	0.017	N <sub>2</sub> O - Acetileno Reductora.
100	20	0.019	"
250	20	0.018	"
500	20	0.019	"
1000	20	0.020	"
50	40	0.039	"
100	40	0.039	"
250	40	0.039	"
500	40	0.038	"
1000	40	0.042	"
50	60	0.059	"
100	60	0.058	"
250	60	0.056	"
500	60	0.057	"
1000	60	0.061	"
50	80	0.080	"
100	80	0.078	"
250	80	0.076	"
500	80	0.080	"
1000	80	0.084	"

Tabla VI

Corresponde a la gráfica 5

Conc. Co (g/ml.)	Conc. Ni (g/ml.)	Abs.	Flama
50	20	0.018	N <sub>2</sub> O - Acetileno-Oxidante
100	20	0.020	"
250	20	0.018	"
500	20	0.021	"
1000	20	0.022	"

50	40	0.038	N O - Acetileno Oxidante
100	40	0.037	2 "
250	40	0.036	"
500	40	0.033	"
1000	40	0.040	"
50	60	0.063	"
100	60	0.061	"
250	60	0.060	"
500	60	0.063	"
1000	60	0.066	"

Tabla VII

Corresponde a la gráfica 6.

Conc. Fe (g/ml.)	Conc. Mn (g/ml.)	Abs.	Flama
50	20	0.072	N O - Acetileno Oxidante
100	20	0.073	2 "
250	20	0.084	"
500	20	0.099	"
1000	20	0.116	"
50	40	0.134	"
100	40	0.140	"
250	40	0.150	"
500	40	0.132	"
1000	40	0.195	"
50	60	0.198	"
100	60	0.201	"
250	60	0.202	"
500	60	0.210	"
1000	60	0.221	"



50	80	0.288	N O - Acetileno Oxidante
100	80	0.296	2 "
250	80	0.297	"
500	80	0.307	"
1000	80	0.315	"

Tabla VIII

Corresponde a la gráfica 7

Conc. Fe (g/ml.)	Conc. Mn (g/ml.)	Abs.	Plana
50	20	0.258	Aire - Acetileno Oxidante
100	20	0.265	"
250	20	0.293	"
500	20	0.338	"
1000	20	0.388	"
50	40	0.495	"
100	40	0.507	"
250	40	0.523	"
500	40	0.552	"
1000	40	0.640	"
50	60	0.968	"
100	60	0.970	"
250	60	0.974	"
500	60	0.976	"
1000	60	0.997	"
50	80	1.257	"
100	80	1.255	"
250	80	1.261	"
500	80	1.281	"
1000	80	1.286	"

En la gráfica 1, las curvas de 60 ppm. de Cr. y 80 ppm. de Cr, presentan una sección con una pendiente apreciable.

En la gráfica 2, solamente la curva de 80 ppm. de Cr es la que presenta una sección con pendiente apreciable; pero las cuatro curvas en la región de 50 a 300 ppm. de Co (Zona 1 en la gráfica 2) aparentemente presenta una pendiente muy buena por lo que se pensó hacer una gráfica con soluciones de cobalto-cromo. Gráfica 3.

La gráfica No. 3 presenta una pendiente negativa; a medida que aumentamos la concentración de cobalto, la absorbancia observada es menor. Esto nos indica que sólo en concentraciones mayores a 250 ppm. se presenta la interferencia en el cobalto en la determinación de cromo y por lo tanto se tendrá abatimientos de absorbancia en este rango de concentración.

En la gráfica 3, la curva correspondiente a 20 ppm. de níquel tiene una pendiente buena en el rango de 250 ppm. a 800 ppm. de cobalto.

En la gráfica 4, la curva que presenta buena pendiente es la de 80 ppm. de Ni.

En la gráfica 5, las curvas de 20 ppm. y 60 ppm. de Ni tienen buena pendiente en el rango de 250 ppm. a 800 ppm. de Co.

En la gráfica 6, la curva de 40 ppm. de Mn es la única que presenta una buena pendiente y el rango útil de dicha curva es muy pequeña (600 - 900 ppm. de Fe).

En la gráfica 7 la curva de 40 ppm. de Mn es la que tiene una pendiente útil y el rango es más amplio que en el caso de la curva de 40 ppm. de Mn en la gráfica 6.

La estequiometría de la flama utilizada en cada caso es muy importante, así como el tipo de flama.

La flama de  $N_2O$  - Acet. es la más usada en los analisis por EAA por eliminar interferencias químicas y en el presente trabajo se verificó este hecho. La interferencia del fierro en la determinación de manganeso es más fuerte o más marcada en el caso en que se use flama de aire acetileno y no la de oxido nitroso-acetileno.

La interferencia del cobalto en la determinación del níquel es más fuerte en el caso en el que se use una flama oxidante o una reductora. Las gráficas 5 y 4 ilustran este hecho, ya que la gráfica 4 sólo presenta una curva con pendiente útil; mientras que la 5 tiene dos curvas con pendientes útiles e inclusive una con baja concentración de Ni (20 ppm. de Ni).

# GRAFICA I

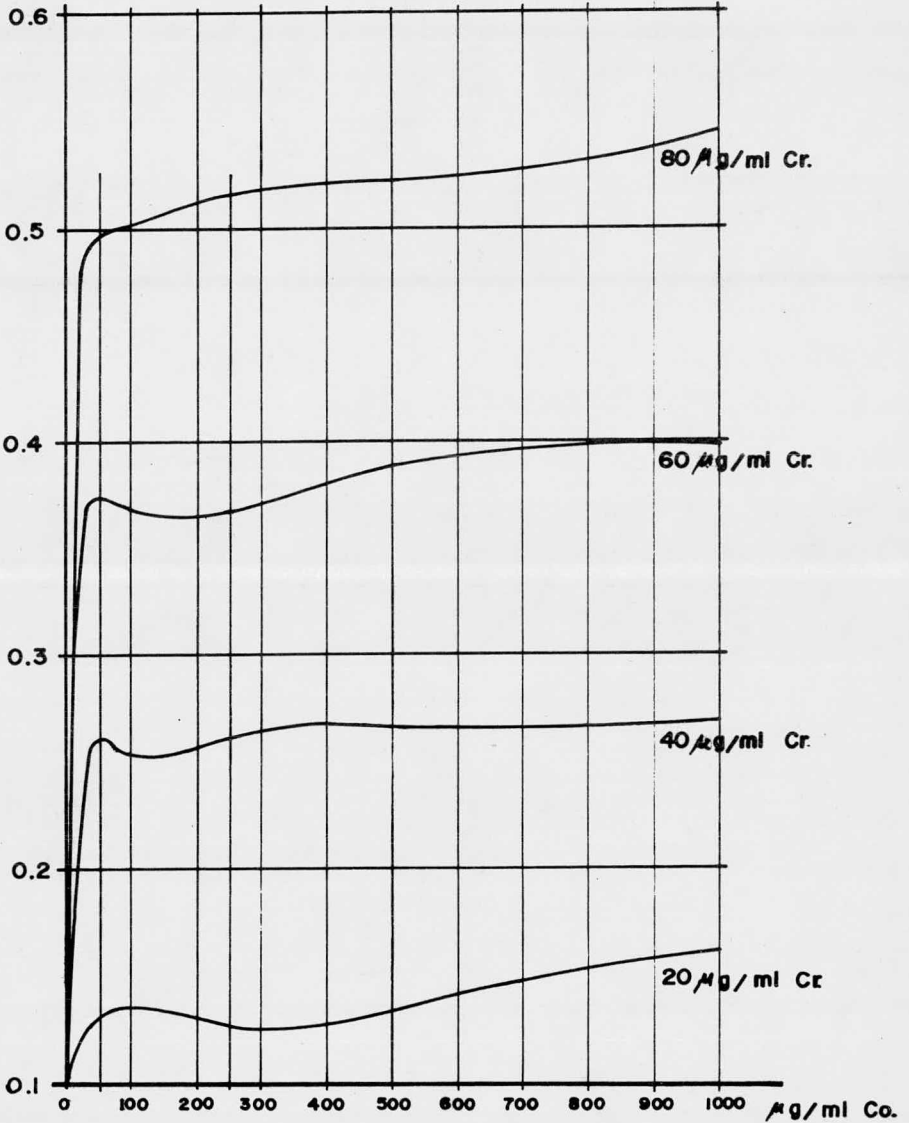
CURVA Cr - Co

(N<sub>2</sub>O - ACET)

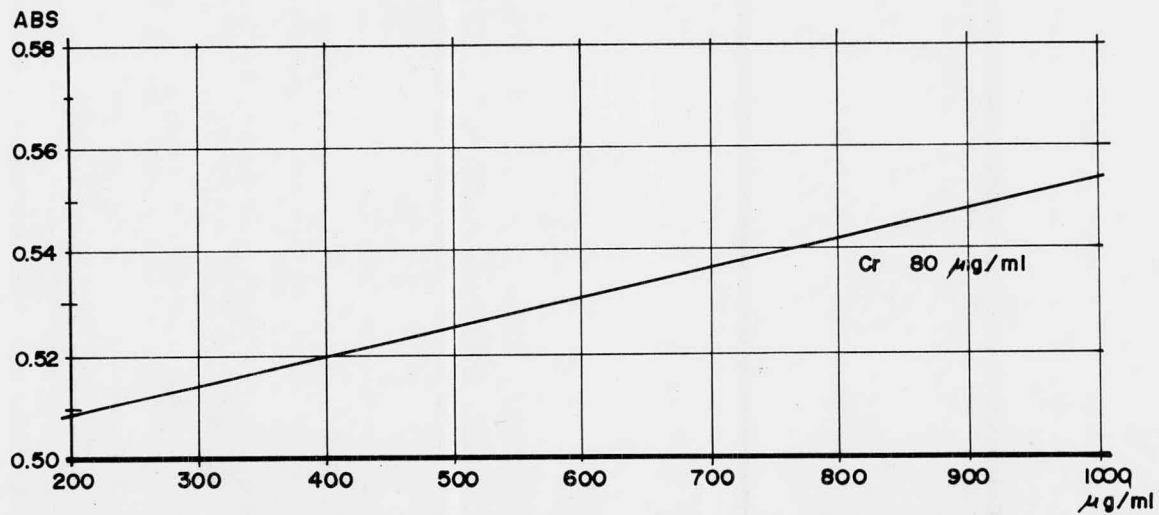
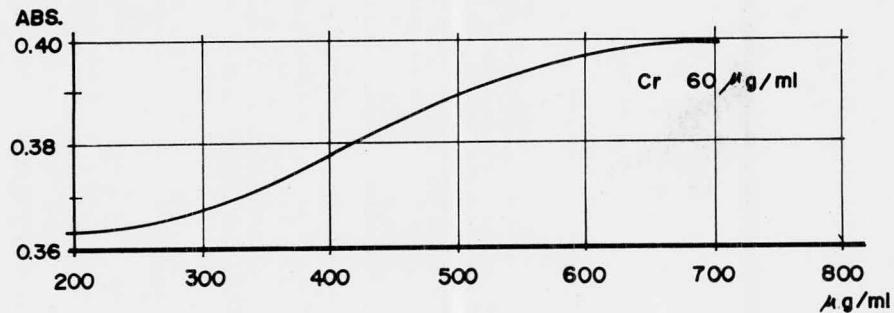
Tu DE Cr,  $\lambda = 428.9 \text{ mm.}$

FLAMA OXIDANTE

ABS



# AMPLIFICACION DE GRAFICA I



# GRAFICA II

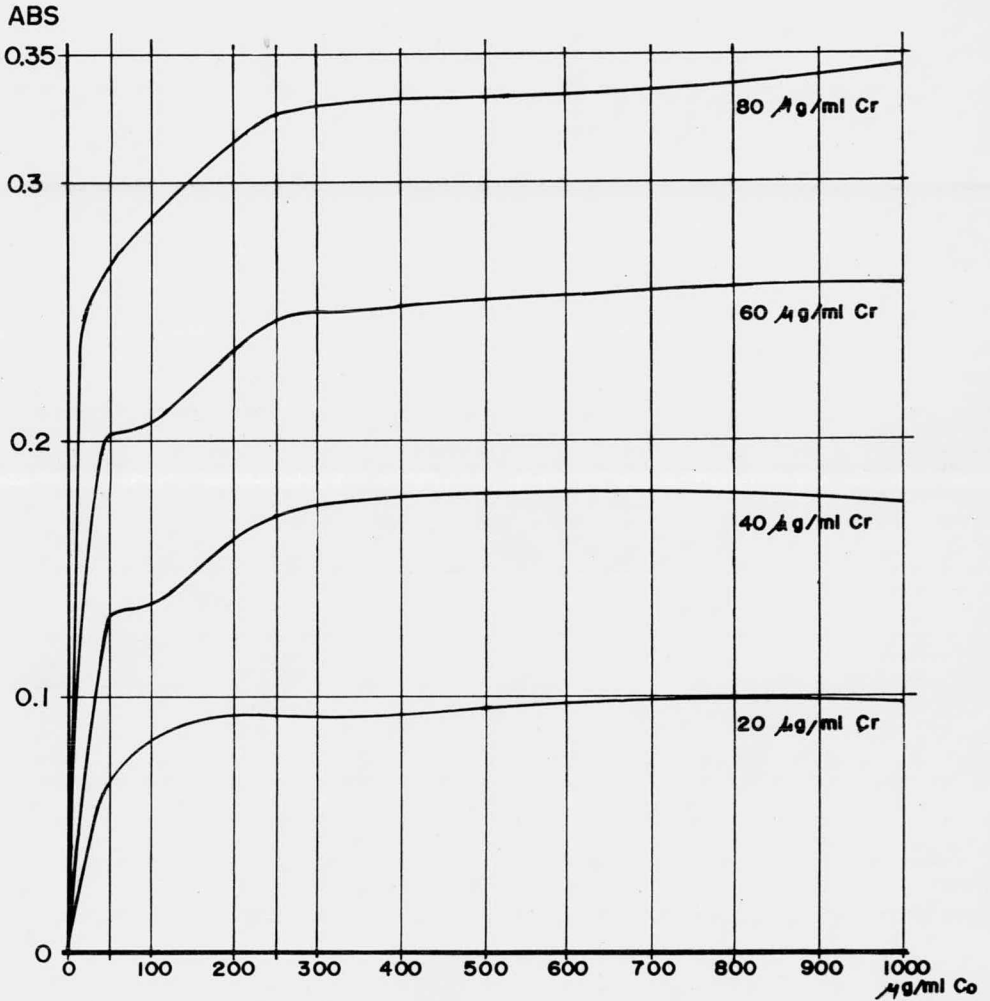
CURVA Cr-Co

(AIRE-ACET)

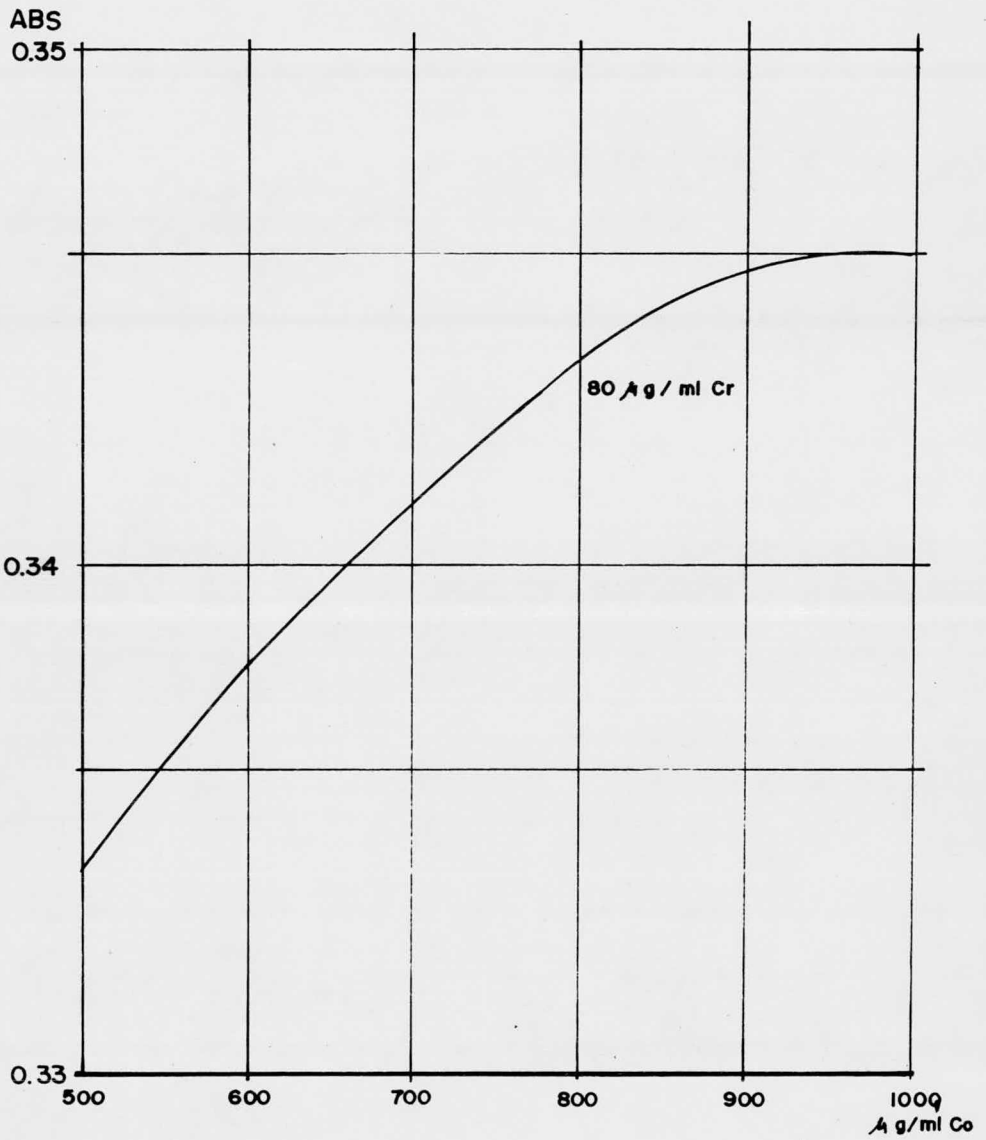
Tu DE Cr,

$\lambda = 428.9$

FLAMA OXIDANTE



# AMPLIFICACION GRAFICA II



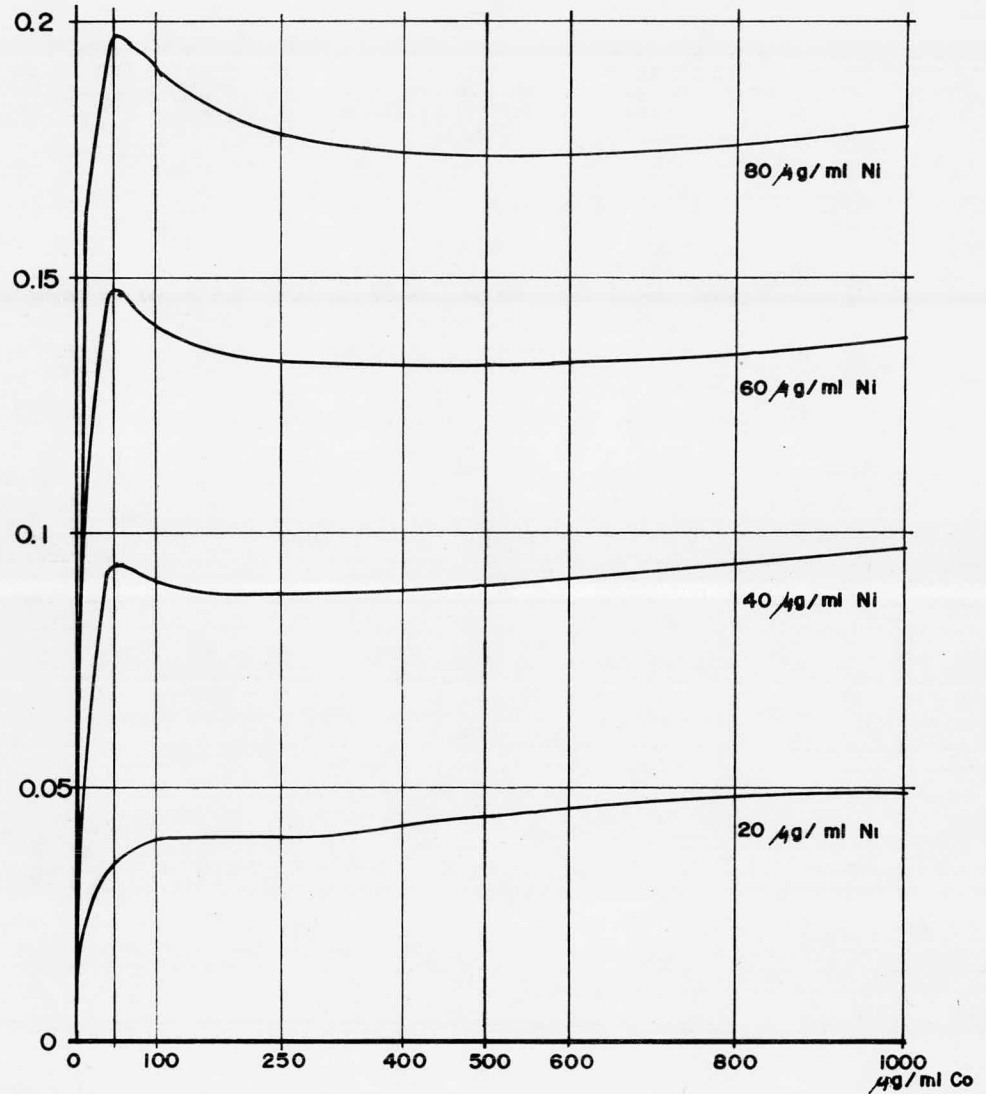
# GRAFICA III

CURVA Ni-Co

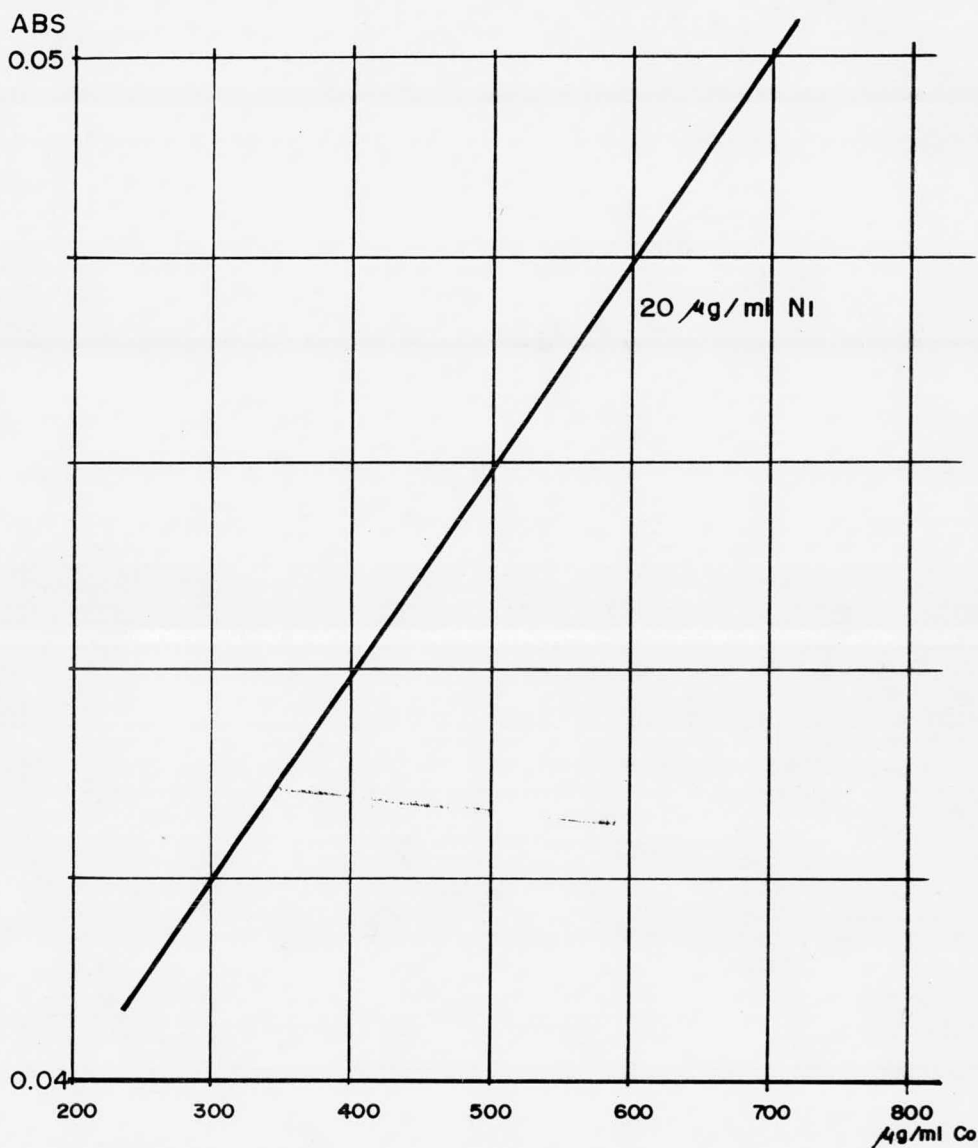
$\lambda = 351.5$

FLAMA REDUCTORA (AIRE - ACET)

ABS



# AMPLIFICACION GRAFICA III





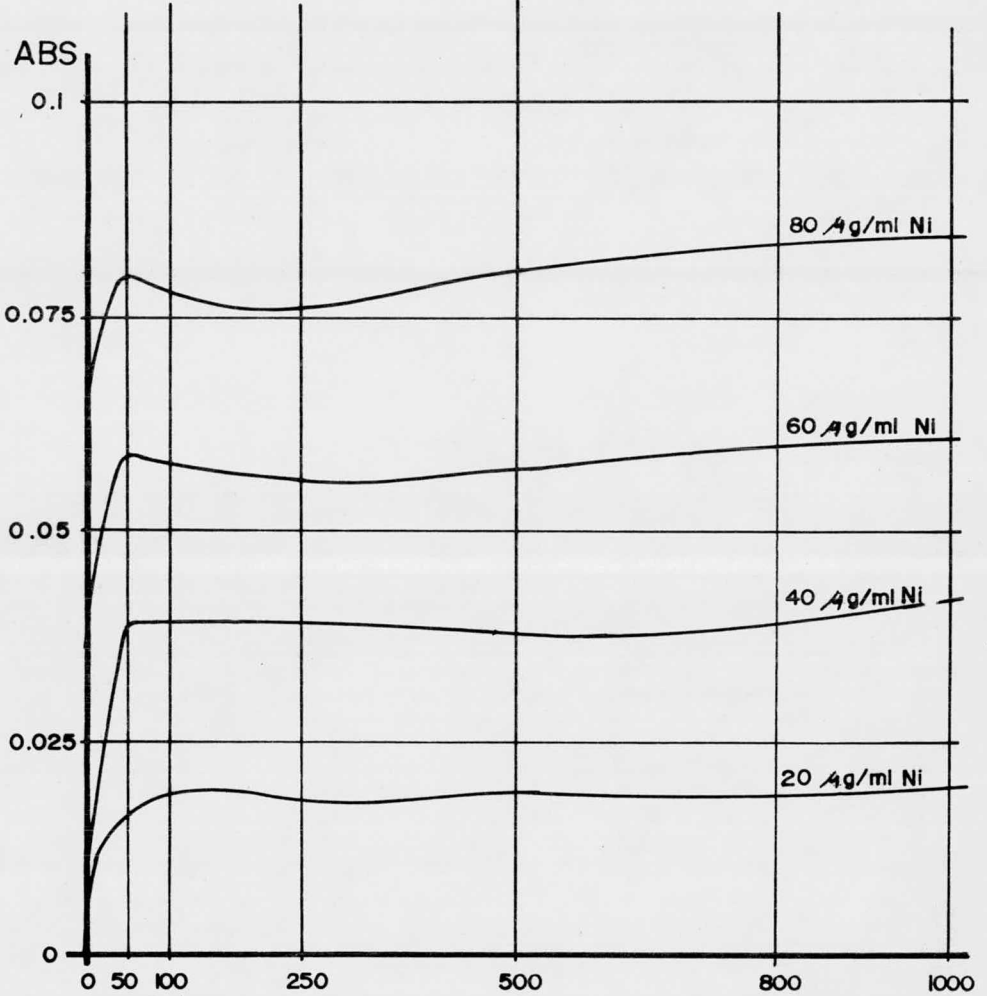
# GRAFICA IV

CURVA Ni-Co.

$\lambda =$  ANTERIOR

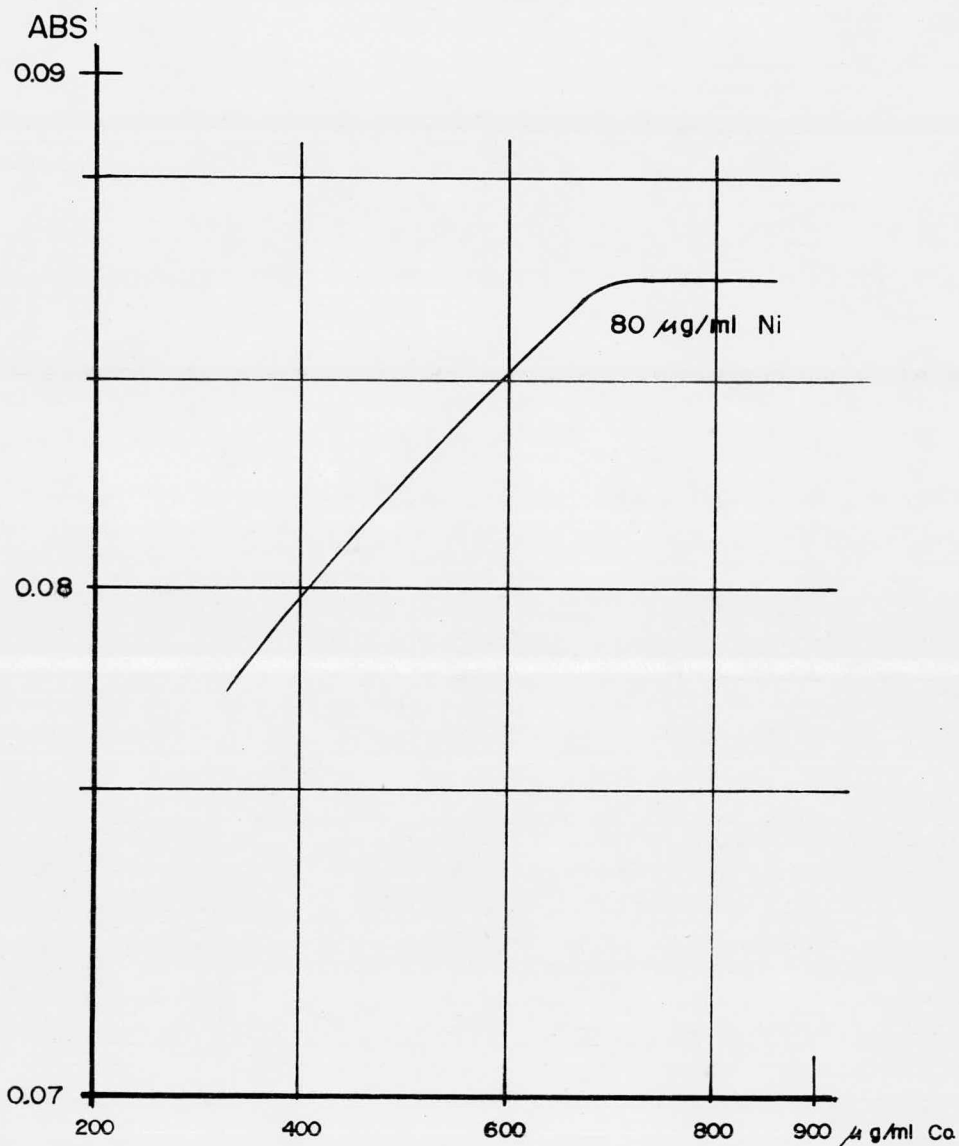
FLAMA REDUCTORA

( $N_2O$  - ACET.)



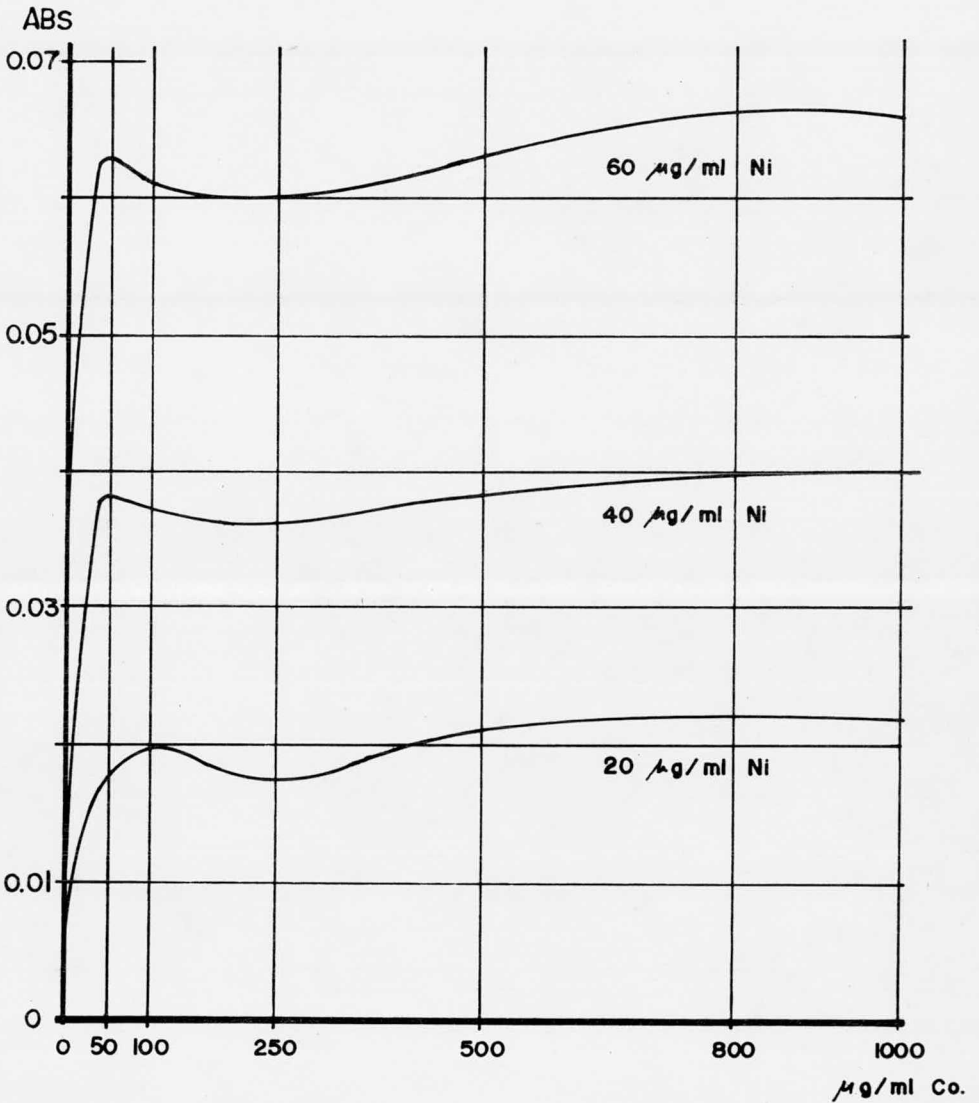
$\mu\text{g/ml Co}$

# AMPLIFICACION GRAFICA IV

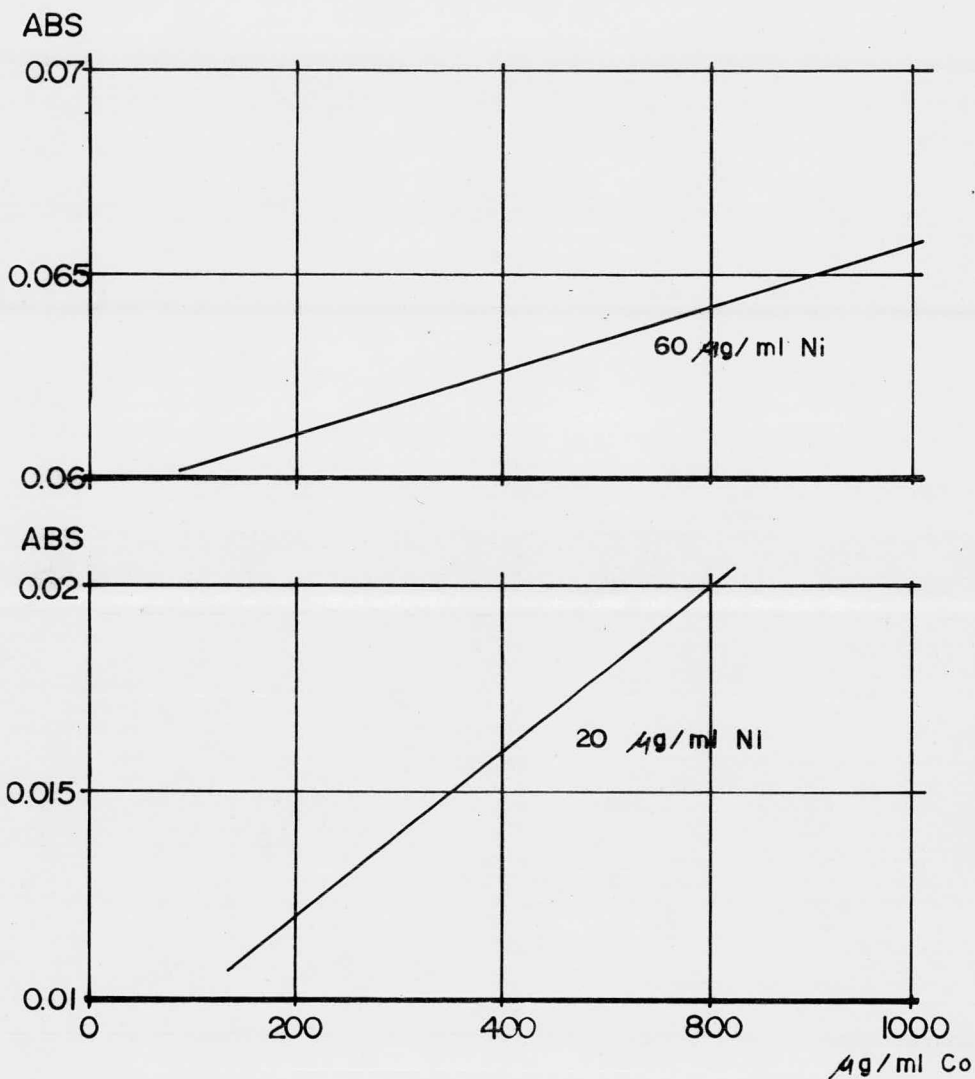


# GRAFICA V

CURVA Ni-Co. (N<sub>2</sub>O-ACET) OXIDANTE

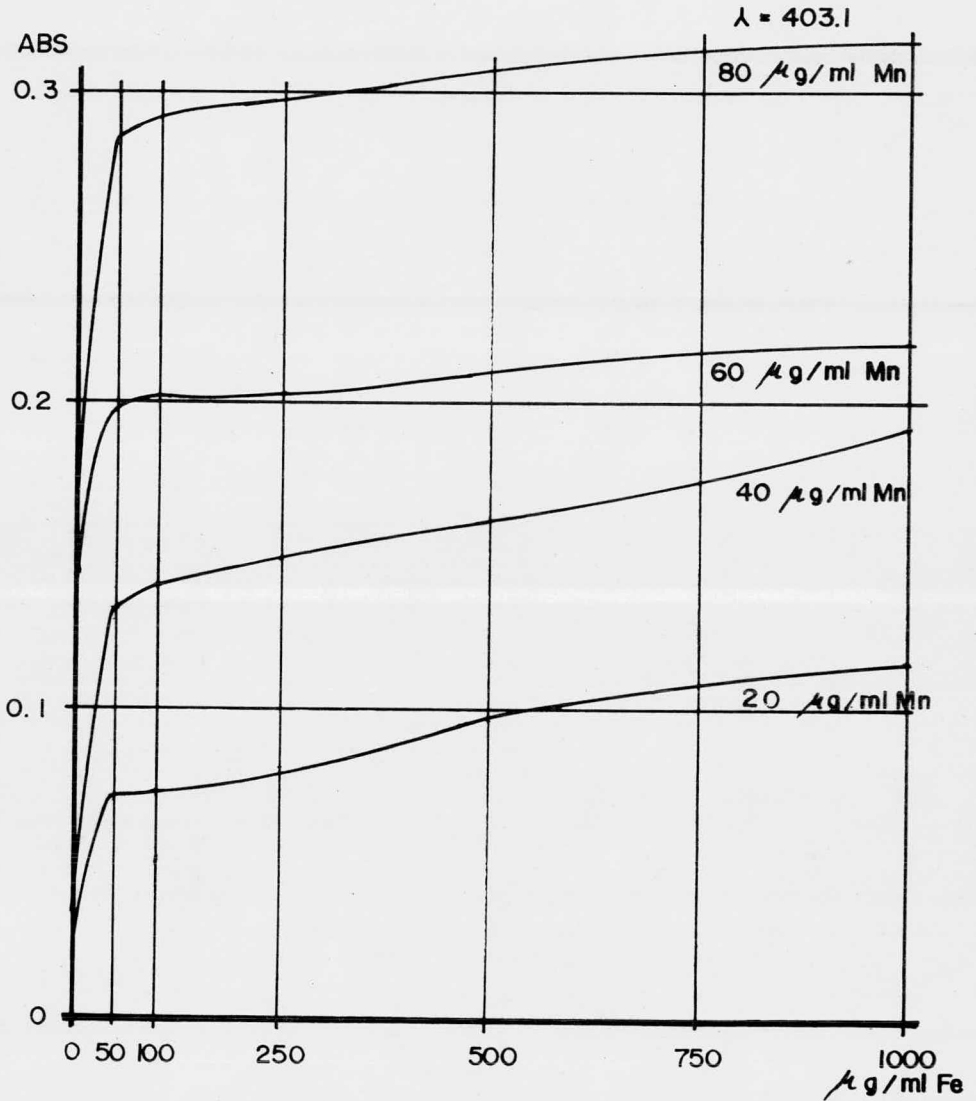


# AMPLIFICACION GRAFICA V

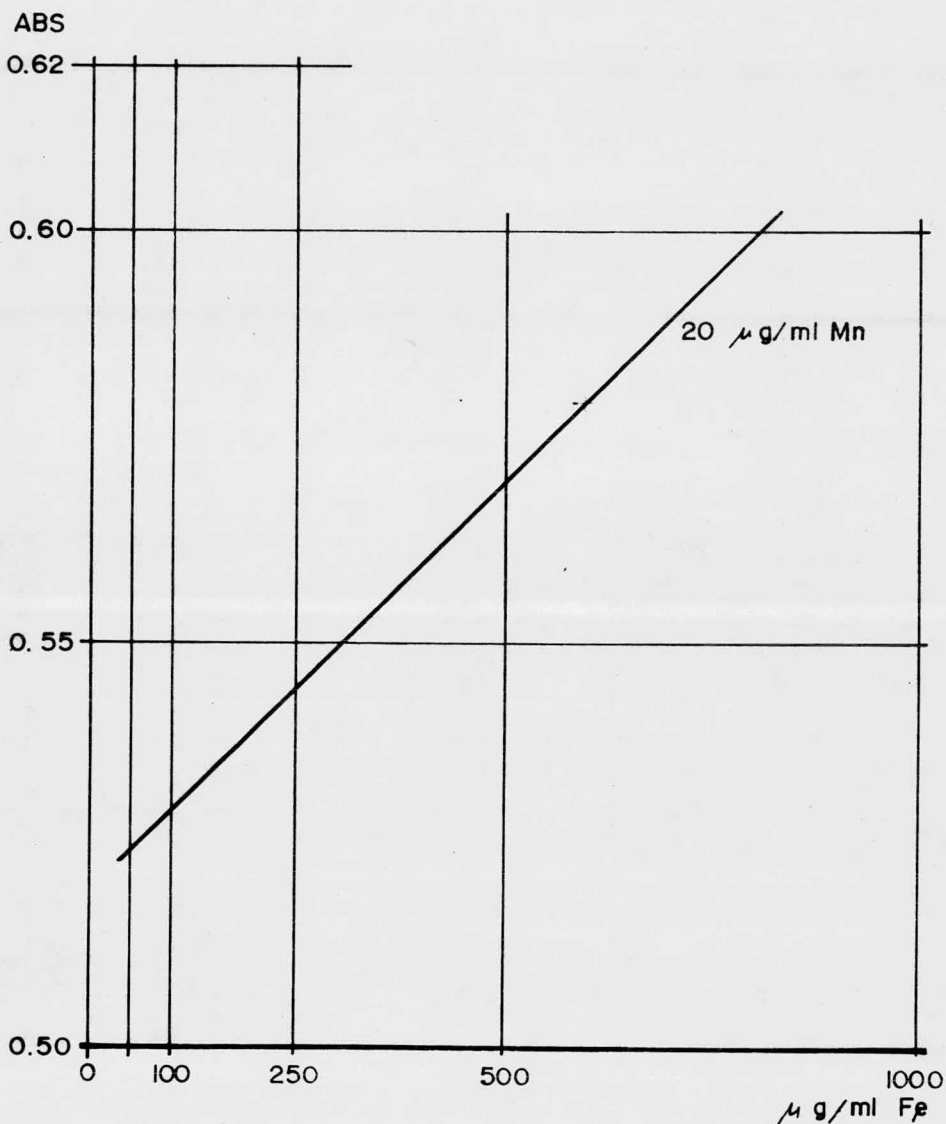


# GRAFICA VI

CURVA Fe - Mn. (N<sub>2</sub>O - ACET) OXIDANTE



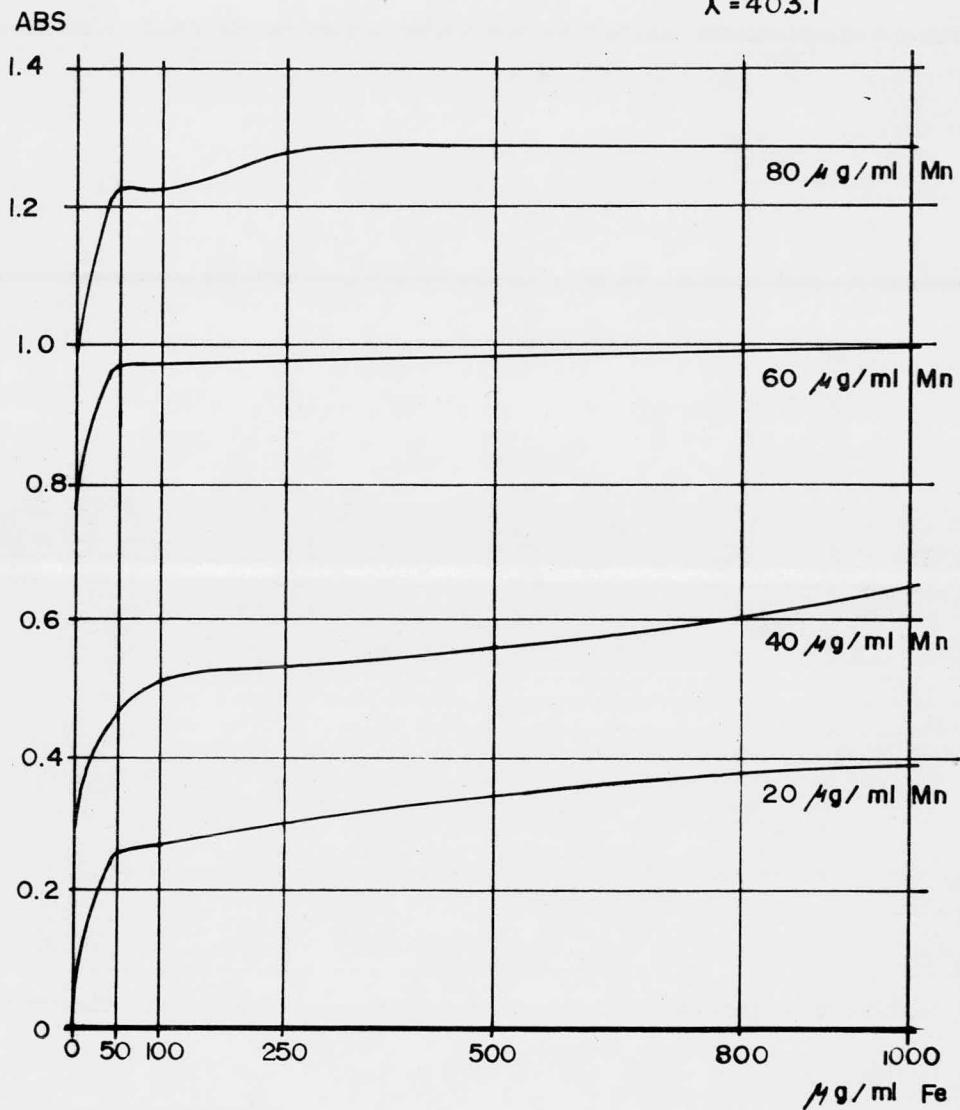
# AMPLIFICACION GRAFICA VI



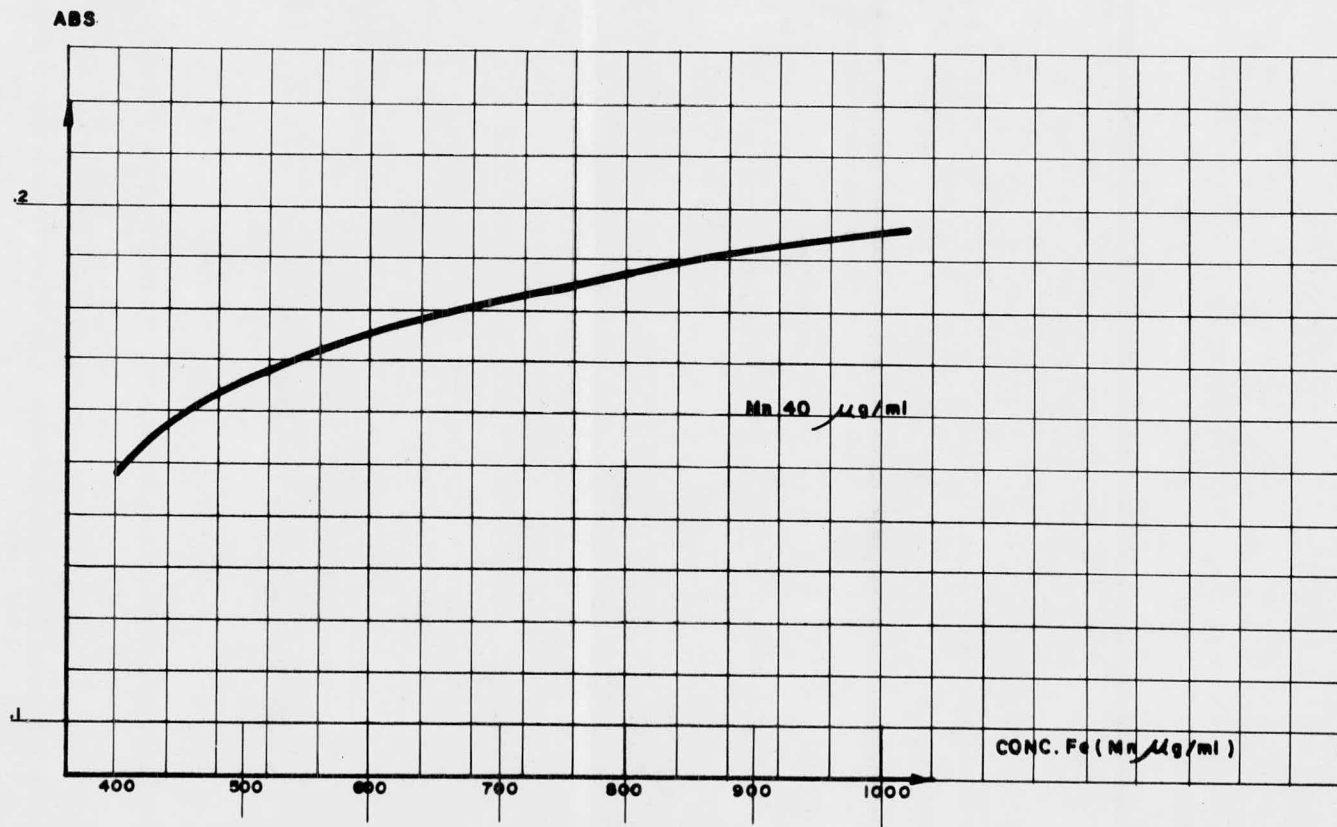
# GRAFICA VII

CURVA Fe - Mn. (AIRE - ACET) OXIDANTE

$\lambda = 403.1$

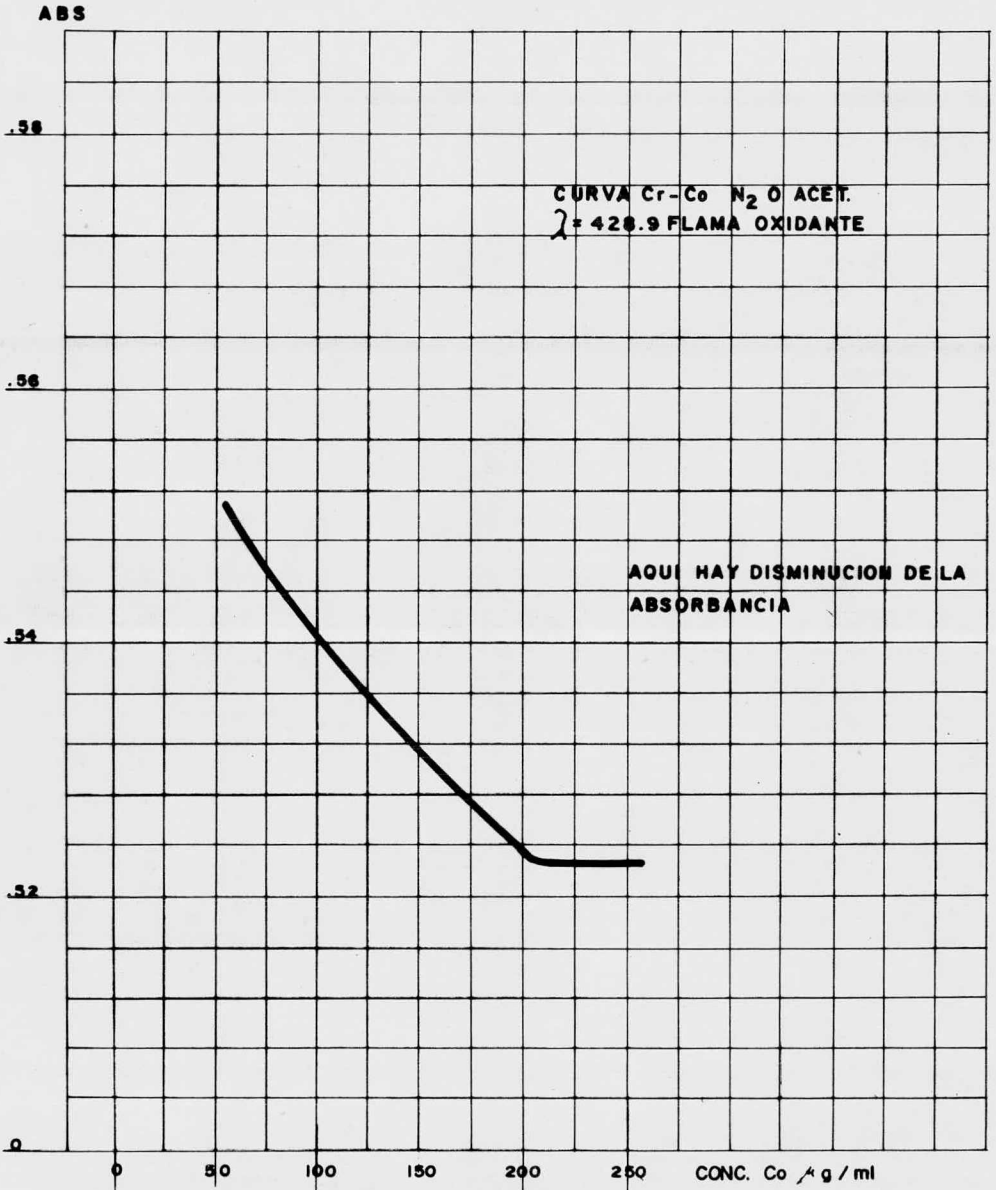


# AMPLIFICACION GRAFICA VII





# GRAFICA VIII



## C A P I T U L O V

### Conclusiones

- 1.- La limitación de la necesidad de contar con el tubo de emisión de catodo hueco correspondiente a cada uno de los elementos para su análisis por EAA no es absoluta, porque existen casos en los cuales podemos utilizar tubos diferentes al del elemento que se quiere analizar. Por ejemplo: el análisis de cobalto puede efectuarse con tubos de catodo hueco de Ni o Cr y el fierro puede analizarse con tubo de manganeso.
- 2.- Las condiciones óptimas o mejores para hacer un análisis de cobalto, utilizando su interferencia con el cromo, son las siguientes:
  - (a) Longitud de onda de 428.9 nm.
  - (b) Emplear una flama de oxido nitroso-acetileno oxidante.
  - (c) La muestra que se vaya a analizar debe tener una concentración de 80 ppm. de cromo (ya en la solución que se va a medir su absorbancia, o sea en la dilución final).
  - (d) El rango de trabajo es de 200-1000 ppm. de cobalto. La muestra a la cual se le va a analizar el cobalto debe tener una concentración que esté en este rango de trabajo.
- 3.- La interferencia del cobalto es más fuerte con el Ni que con el Cr, por lo que para analizar el cobalto por interferencia sería preferible usar el tubo de níquel; aunque también se puede hacer con el de cromo con las condiciones expuestas en la conclusión anterior.
- 4.- La línea 351.5 del Ni es la que tiene más interferencia que cualquier otra y una muestra que tenga cobalto en una concentración de 200-800 ppm. podrá ser analizada con una flama de aire acetileno o de oxido nitroso-acetileno, oxidante o reductora y la concentración requerida de níquel para su análisis por interferencia con él, dependerá del tipo y estequiometría de flama que se escoja de acuerdo con la siguiente tabla:

Flama y estequiom.	Conc. Ni requerida	Conc. Co Rango de trabajo	Rango de Abs.
Aire-Acet. Reduc.	20 ppm.	200-800ppm.	0.04 - 0.05
N <sub>2</sub> O-Acet. Reduc.	30 ppm.	250-700ppm.	0.076- 0.086
N <sub>2</sub> O-Acet. Oxidan.	20 ppm.	300-700ppm.	0.015- 0.019
N <sub>2</sub> O-Acet. Oxidan.	60 ppm.	200-800ppm.	0.060- 0.066

5.- Para el analisis de fierro por interferencia con el manganeso, cualquiera de las dos curvas obtenidas son útiles; pero el rango de trabajo de una y otra son diferentes.

La siguiente tabla ilustra las condiciones que se deben emplear para el analisis de fierro con cada una de las dos curvas, usando en ambos casos la longitud de onda de 403.1 nm.

Flama y estequiom	Conc. Mn requerida	Conc. Fe Rango de trabajo	Rango de abs.
N <sub>2</sub> O-Acet.Oxid.	40 ppm.	500-900 ppm.	0.165-0.195
Aire-Acet.Oxid.	40 ppm.	300-700 ppm.	0.550-0.590

6.- El analisis de fierro por EAA, usando su interferencia con el manganeso tiene un límite de detección de 900 ppm. y una sensibilidad de 300 ppm.. Nótese que estos límites son grandes; pero hay que tener en cuenta que el analisis se está haciendo por interferencia de un elemento con otro. Sólo por el abatimiento de absorbancia que tiene un elemento determinado cuando esta presente otro elemento diferente.

C A P I T U L O VI

Bibliografía

- 1.-Herbert L. Kahn. Journal Chemical Education 43(1) Part I and part II pag. A-7-A 36 y A 103 - A 132.
- 2.- E. J. Agazzi. Analitical Chemistry. 37, 364 1975.
- 3.- J. W. Robinson and L. J. Kevan Analitical Chemical acta 28, 170-175 1963.
- 4.- J. B. Willis. Application Opt. 7, 1295 1968.
- 5.- J. W. Robinson Analitical Chemical Acta 465-469 1962
- 6.- Factors affecting the selection of cobalt analysis line for atomic Spectrometry. Communication of Analitical Chemistry 37 (9) 1168 - 1169 1965.
- 7.- Belcher C. B. Analitical Chemical Acta 29, 340 - 3 1963
- 8.- A. C. Menzies. Analitical Chemistry 32, (8) 898 - 904 1960.
- 9.- Bickford H. J. Rowe, W. A. Yates, K.P., Analitical Chemistry 34 1772-6 1962.
- 10.-Atsushi Ando., Keiichiro Fuwa and Bert L. Vallee., Analitical Chemistry 42 (8) 818 - 825 1970.
- 11.- Gibson J.H. Grossman W.E.L., Cooke W.D., Analitical Chemistry 35 266 1963.
- 12.-A sensitive, premixed oxyacetylene atomizer burner for flame emission and absorption spectrometry. Scientific communications of Analytical Chemistry 35 (7) 910-911 1963
- 13.- Beer R., Bovey L., Spectrochimica Acta 18 927- 31 1962.
- 14.- Bourdon F. Scribner and Marvin Margoshes. Analytical Chemistry 36 (5) 392 R - 338 R 1964.
- 15.-Beamish F.E. Analytical Chemistry 33 1059 - 66 1961.
- 16.-Rann C.S. and Hambly A.N. Analytical Chemistry 37 (7) 879-884 1965.
- 17.-Fassel V.A. Mossotti V.G. Analytical Chemistry 35 252 1963.
- 18.-Robinson J. W. Analytical Chemistry 33 (8) 1067-1071 1961.
- 19.-Gatehouse B.M. Willis J.B. Spectrochimica Acta 17 710 1961
- 20.-Keiichiro Fuwa and Bert L. Vallee Part I Analytical Chemistry 35 (8) 942 - 946 1970
- 21.- Sullivan J. V. and Walsh A. Spectrochimica Acta 21 721 1965.
- 22.- Slavin W. Manning P.C. Analytical Chemistry 35 253 1963.
- 23.- Fassel V. A. Mossotti W. E. Crissman L., and Kniseley R.N. Spectrochimica Acta 31 891 1966.
- 24.- Willis J.B. Appl. Opt. 7 1295 1968.

- 25.-Rubeska I. Analytical Chemistry Acta 40 187 1968.
- 26.-Robinson J.F. Analytical Chimica Acta 27 465 1962.
- 27.-Allan J.E. Spectrochimica Acta 17 459 1961.
- 28.-Van Loon J.C. Parissis C.H. Analyst 94 1057 - 1062 1969.
- 29.-Roos J.T.H. Price W.J. Spectrochimica Acta 26B 279-284 1971.
- 30.-Wilson L. Analytical Chimica Acta 40 503-512 1968
- 31.-Takreuchi T. Analytical Chimica Acta 52 386 - 389 1970.
- 32.-Manual Analytical Methods for flame Spectroscopy. Varian Techtron. 1974
- 33.-Foster W.H. Jr., Hume D.N. Analytical Chemistry 31 2028 1959.
- 34.-Atomic Absorption Spectroscopy. James W. Robinson Second Edition  
Marcel Dekker, Inc. New York 1975.

ooc000ooo