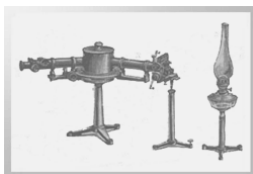


Tema 3. Espectrometría de Emisión Atómica



Análisis Instrumental Avanzado

Zoraida Sosa Ferrera
María Esther Torres Padrón

Imagen: <http://www.uned.es/094258/contenido/tecnicas/espectroemision/emision.htm>

Recordemos algunos conceptos vistos hasta el momento:

¿EN QUÉ SE BASA LA ESPECTROSCOPIA ATÓMICA?

Es la absorción, emisión y/o fluorescencia de *radiación electromagnética* por las partículas atómicas.

¿QUÉ REGIONES DEL ESPECTRO ATÓMICO PROPORCIONAN DATOS ESPECTRALES?

- Región del UV-Visible
- Región de Rayos X

Recordemos algunos conceptos más:

¿CÓMO SE OBTIENEN LOS ESPECTROS ATÓMICOS DEL UV-VISIBLE?

Atomizando las muestras: las moléculas constituyentes se descomponen y se convierten en partículas gaseosas elementales;

Los espectros obtenidos están constituidos por una cantidad limitada de líneas discretas de λ características de cada elemento

¿CUÁLES SON LAS VENTAJAS DE LOS MÉTODOS ANALÍTICOS BASADOS EN LA ESPECTROSCOPIA ATÓMICA?

- ✓ Son específicos
- ✓ Amplio rango de aplicación
- ✓ Excelente sensibilidad (ppb)
- ✓ Rapidez y conveniencia

INTRODUCCIÓN A LA ESPECTROMETRÍA DE EMISIÓN ATÓMICA.

¿Cómo obtenemos los espectros ópticos atómicos?

✓ Los componentes de la muestra deben convertirse en átomos o iones en estado gaseoso, que pueden determinarse mediante medios espectrales de emisión, absorción, fluorescencia o masa: ATOMIZACIÓN.

¿ Se acuerdan de los distintos tipos de atomizadores usados en Espectroscopía atómica?

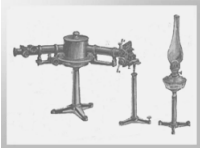
Vamos a recordarlos en la siguiente tabla:

Tabla 1. Tipos de atomizadores usados en Espectroscopía Atómica

Tipo de atomizador	T° de atomización (°C)
Llama	1700 3150
Vaporización electrotérmica	1200 3000
Plasma de argón (ICP)	4000 6000
Plasma de corriente continua (DCP)	4000 6000
Plasma por microondas (MIP)	2000 3000
Plasma de descarga luminiscente (CD)	No térmico
Arco eléctrico	4000 5000
Chispa eléctrica	40000

ESPECTROSCOPIA DE EMISION CON FUENTES DE PLASMA

Históricamente, en Emisión Atómica:



Atomización y excitación mediante llama, arco eléctrico y chispa eléctrica.

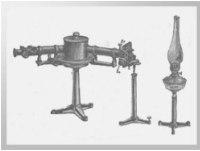
En la actualidad, las fuentes de plasma son las más importantes y usadas (ICP, DCP, MIP)

¿Cuáles son las ventajas de la emisión de plasma vs. Llama y electrotérmico?

- ✓ Menor interferencia entre elementos (altas temperaturas);
- ✓ Buenos espectros de emisión para muchos elementos en las mismas condiciones de excitación;
- ✓ Registro simultáneo para una gran número de elementos (análisis multielemental);
- ✓ Determinación de bajas concentraciones de elementos refractarios (resistentes a la descomposición térmica);
- ✓ Permite la determinación de no metales (Cl, Br, I, S)
- ✓ Intervalos lineales de concentración que abarcan varios órdenes de magnitud.

Una fuente perfecta de emisión atómica tiene que presentar las siguientes características:

1. Eliminación completa de la muestra desde su matriz original con el fin de minimizar interferencias;
2. Atomización completa, pero mínima ionización de los elementos a analizar;
3. Fuente de energía controlable para la excitación necesaria para excitar todos los elementos sin ionización apreciable;
4. Un medio químico inerte que impida la formación de especies moleculares no deseables (e.g. óxidos, carburos, etc.) que puedan afectar la precisión de las medidas.
5. No tiene que existir radiación de fondo (background) desde la fuente. La radiación background se define como aquella emisión atómica y/o molecular no deseable que podría interferir con las longitudes de onda analíticas.
6. Una fuente que abarque un amplio rango de solventes (tanto orgánicos como inorgánicos)
7. Ajustable a cualquier tipo de muestras.
8. Barato en su adquisición y mantenimiento.
9. Fácil de operar.



Sin embargo:

- ✓ Requieren instrumentación más compleja;
- ✓ Son más caros.

¿Qué es un plasma?

Mezcla gaseosa conductora de la electricidad que contiene una concentración significativa de cationes y electrones, con carga neta cero. Se usa ARGÓN. Las especies conductoras son los iones argón, electrones y, en menor concentración, cationes de la muestra.

Una vez formados los iones de argón, son capaces de absorber la energía suficiente de una fuente externa para mantener las altas temperaturas (hasta 10000°K) y la ionización.

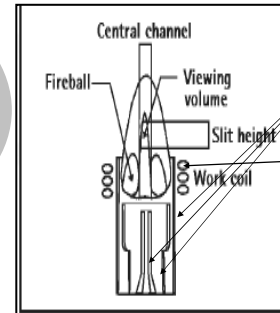
Existen TRES tipos de plasma:

(1) Plasma de acoplamiento inductivo

(2) Plasma de corriente continua

(3) Plasma inducido por microondas

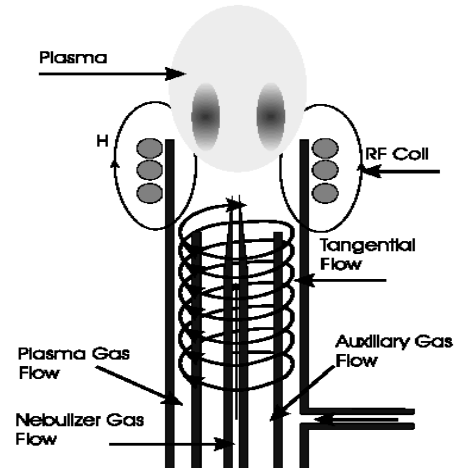
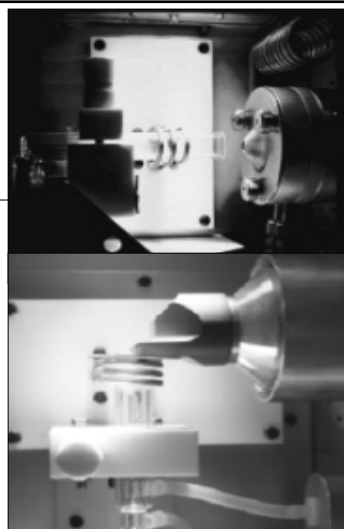
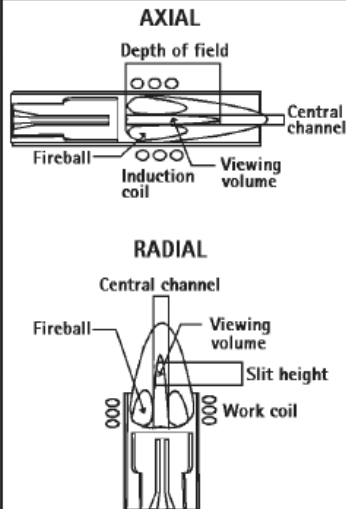
PLASMA DE ACOPLAMIENTO INDUCTIVO (Antorcha). Consta de:



Tres tubos concéntricos de cuarzo (Ar: 5-20 l/minuto)

Bobina de radiofrecuencia de inducción refrigerada por agua, capaz de producir potencias de 0,5-2 kW a 27-41 MHz.

Ionización del argón mediante una chispa que proviene de una bobina Tesla.



PLASMA DE ACOPLAMIENTO INDUCTIVO (ICP)

Los iones resultantes y sus electrones asociados interactúan con el campo magnético oscilante que se produce en la bobina, moviéndose en trayectorias circulares.

Se alcanzan altas temperaturas, haciéndose necesario el aislamiento térmico del cilindro exterior, inyectando Ar de forma tangencial alrededor de las paredes del tubo.

RESULTADO

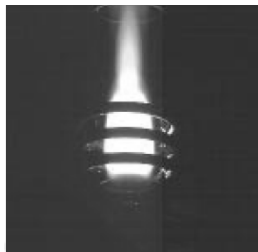


Imagen extraída de Varian Inc.

PLASMA DE ACOPLAMIENTO INDUCTIVO (ICP)

Ya hemos encendido el plasma ¿Cuál es el aspecto que tiene que presentar?

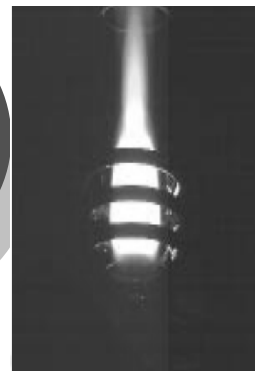


Imagen extraída de Varian Inc.

- Núcleo no transparente, blanco brillante e intenso (emisión continua a la que se le superpone el espectro de Ar);
- Está coronado por una cola en forma de llama
- Análisis del elemento de interés por encima del núcleo (15-20 mm)

PLASMA DE ACOPLAMIENTO INDUCTIVO (ICP)

En cuanto a la introducción de la muestra en el ICP:

- ✓ Mediante flujo de argón (0,3-1,5 l/minuto) a través del tubo central de cuarzo:
- ✓ Se utilizan nebulizadores (1), generalmente
- ✓ También se puede usar vaporización electrotérmica (2) (para muestras sólidas y/o líquidas):
 - la muestra se vaporiza en un horno similar al de atomización electrotérmica aunque sólo para la introducción de la muestra y no para su atomización:
 - posteriormente, el vapor pasa a la antorcha.

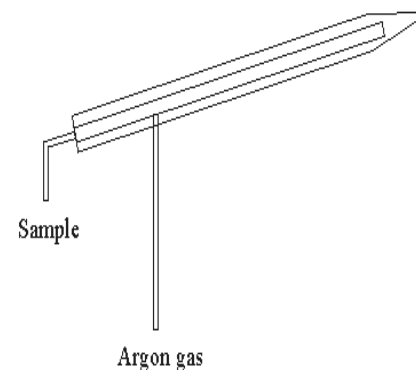


Imágenes extraídas de Varian Inc.



Imagen extraída de: http://www.uam.es/personal_pas/trxf/icpms.html#4. Ramón Fdez Ruiz (2003)

Nebulizador de tubo concéntrico

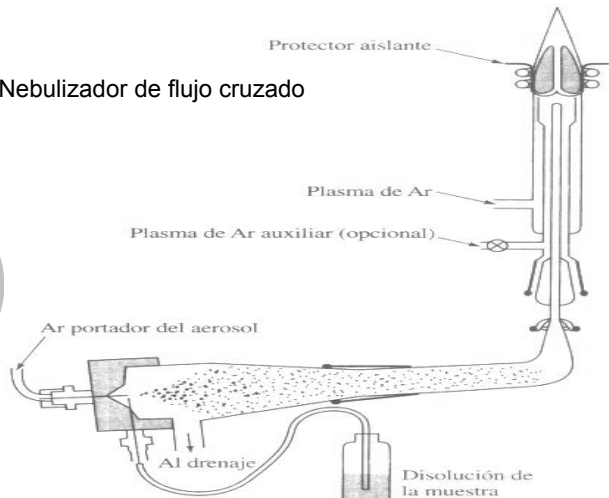


Sample

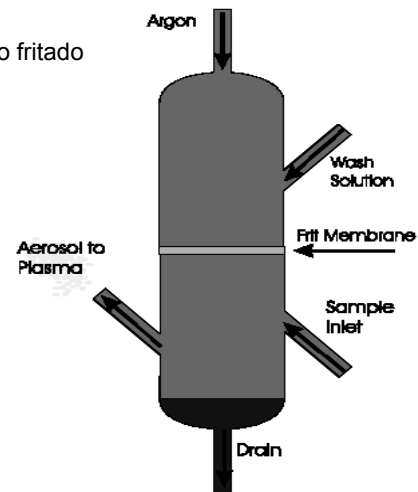
Argon gas

Imagen extraída de Análisis Instrumental. Skoog, Holler y Nieman (2000)

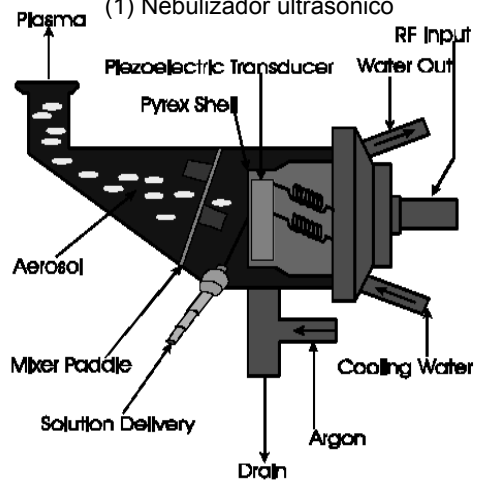
(1) Nebulizador de flujo cruzado



(1) Nebulizador de disco fritado



(1) Nebulizador ultrasónico



(2)

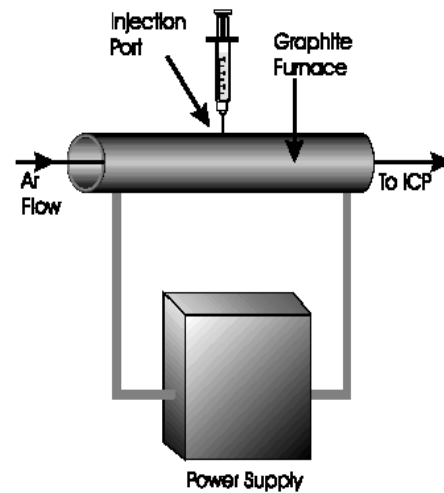
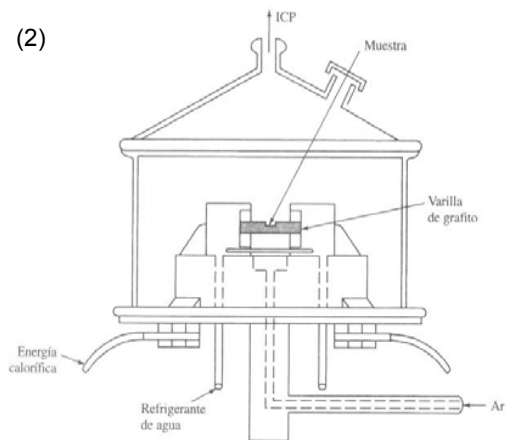


Imagen extraída de *Análisis Instrumental*. Skoog, Holler y Nieman (2000)

(2)



PLASMA DE ACOPLAMIENTO INDUCTIVO (ICP)

¿Cómo se atomizan e ionizan los analitos en un ICP?

✓ Cuando los átomos de la muestra alcanza el punto de observación, habrán permanecido 2 ms a temperaturas comprendidas entre los 4000-8000 °K;

✓ A estas temperaturas, la atomización es completa y disminuyen las interferencias que se podrían producir en llama

¿ Cuáles son las ventajas que se presentan con respecto a la llama?

✓ Atomización en medio inerte aumentando el tiempo de vida del analito al evitar la formación de óxidos;

✓ Temperatura uniforme en el plasma

✓ No se producen efectos de autoabsorción y autoinversión;

✓ Calibraciones lineales que cubren varios órdenes de magnitud.

1. Sample Preparation: Some samples require special preparation steps including treatment with acids, heating, and microwave digestion.

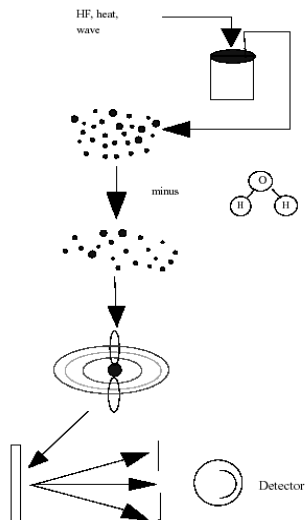
2. Nebulization: Liquid converted to aerosol.

3. Desolvation/Volatilization: Water is driven off, and remaining solid and liquid portions are converted to gases.

4. Atomization: Gas phase bonds are broken, and only atoms are present. Plasma temperature and inert chemical environment are important at this stage.

5. Excitation/Emission: Atoms gain energy from collisions and emit light of a characteristic Wavelength.

6. Separation/Detection: A grating disperses light that is quantitatively measured.

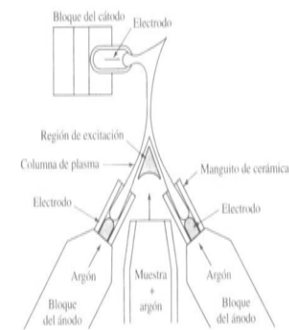


(1) Plasma de acoplamiento inductivo

(2) Plasma de corriente continua

(3) Plasma inducido por microondas

PLASMA DE CORRIENTE CONTINUA (DCP)



Tres electrodos dispuestos en una configuración de Y invertida

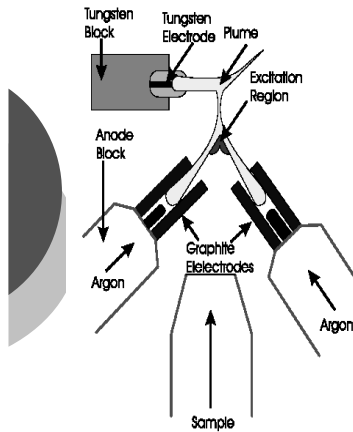
En cada brazo, se localiza un ánodo de grafito y un cátodo de Wolframio en la base de la Y.

Flujo de argón desde los brazos hasta la base.

El plasma se forma al contactar momentáneamente el cátodo con los ánodos, ionizándose el argón y desarrollándose una corriente con iones adicionales que mantienen la corriente de forma indefinida (10000°K).

Imagen extraída de *Análisis Instrumental*. Skoog, Holler y Nieman (2000)

PLASMA DE CORRIENTE CONTINUA (DCP)



- ✓ Espectros con menos líneas que los de un ICP;
- ✓ Sensibilidades con un orden de magnitud menor que un ICP;
- ✓ Reproducibilidad semejante a un ICP;
- ✓ Se requiere menos argón y la fuente de alimentación es más sencilla y barata;
- ✓ Sin embargo, los electrodos de grafito tienen que ser sustituidos cada pocas horas.

¿CUÁLES SON LAS PROPIEDADES DESEABLES DE UN ESPECTRÓMETRO DE EMISIÓN ATÓMICA?

- Elevada resolución ($0,01 \text{ nm}$ o $\lambda/\Delta\lambda > 10000$);
- Adquisición de la señal y recuperación rápidas;
- Baja luz parásita;
- Amplio intervalo dinámico ($> 10^6$);
- Exactitud y precisión en la identificación y selección de la longitud de onda;
- Lecturas de intensidad precisas ($< 1\% \text{ RSD}$ a 500 veces el límite de detección);
- Elevada estabilidad con respecto a los cambios ambientales;
- Fácil corrección del fondo;
- Ejecución controlada por ordenador: lectura, almacenamiento, manipulación de datos,...

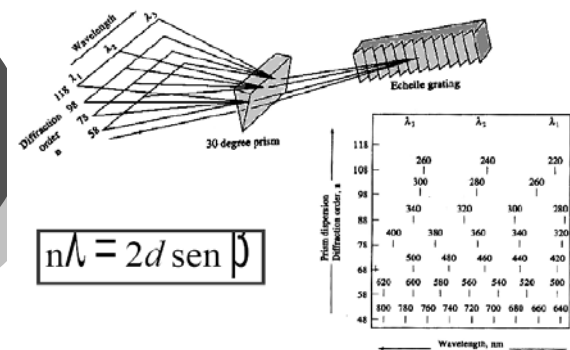
¿CUÁLES SON LAS CARACTERÍSTICAS ACTUALES DE UN ESPECTRÓMETRO DE EMISIÓN ATÓMICA?

- Abarcan el espectro UV-Visible ($170\text{-}800 \text{ nm}$)
- En condiciones de vacío, pueden alcanzar $150\text{-}160 \text{ nm}$ (de interés para P, S, C...);
- Son de tres tipos:
 - 1° Secuenciales (para ir de una línea de emisión a otra en pocos segundos, hasta obtener una buena relación señal/ruido);
 - 2° Multicanal simultáneos (medida simultánea o cuasi simultánea de las líneas de emisión de una gran número de elementos) y;
 - 3° de transformada de Fourier (los menos utilizados).

Tanto 1° como 2° son de dos tipos: uno emplea un monocromador clásico y el otro un monocromador en escalera.

Veamos las características de cada uno de ellos:

MONOCROMADOR EN ESCALERA



$$n\lambda = 2d \sin \beta$$

ESPECTRÓMETROS SECUENCIALES.

Incorporan un monocromador de red con un detector fotomultiplicador.

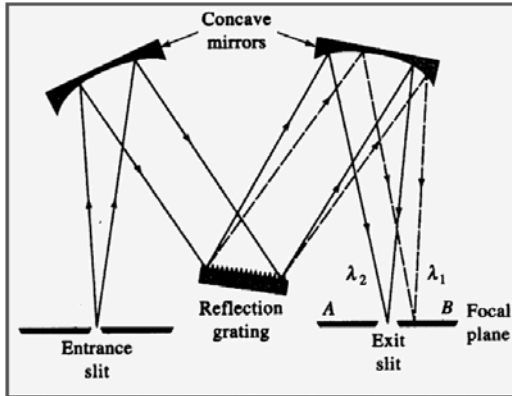


Figura. Monocromador de red de Czerny-Turner (Skoog, Holler y Nieman, 2000)

ESPECTRÓMETROS SECUENCIALES.

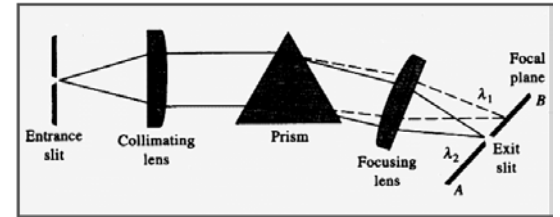


Figura. Monocromador de prisma de Bunsen (Skoog, Holler y Nieman, 2000)

Giro de la red por medio de un motor controlado digitalmente de manera que las λ se van enfocando secuencialmente y con precisión en la rendija de salida.

En otros casos, la red es fija y es la rendija y el tubo fotomultiplicador los que se mueven a lo largo del plano o curva focal

También existen instrumentos con dos juegos de rendijas y tubos fotomultiplicadores, para las distintas regiones de trabajo.

ESPECTRÓMETROS DE BARRIDO GIRATORIO.

Cuando se tratan de espectros complejos, el barrido se hace largo y poco práctico. Por tanto, se requiere un espectrómetro de barrido giratorio ¿en qué consisten?

- La red, o el detector y la rendija se mueven mediante un motor de dos velocidades;

- El instrumento se mueve rápidamente o gira hacia una λ próxima a una línea. Entonces, el movimiento se ralentiza y el instrumento barre a través de la línea en una serie de pequeñas etapas (de 0,01 nm a 0,001 nm);

- Minimizamos el tiempo gastado en las regiones de λ sin datos útiles, sin embargo

- se necesita tiempo en las líneas analíticas para obtener buenas relaciones señal/ruido.

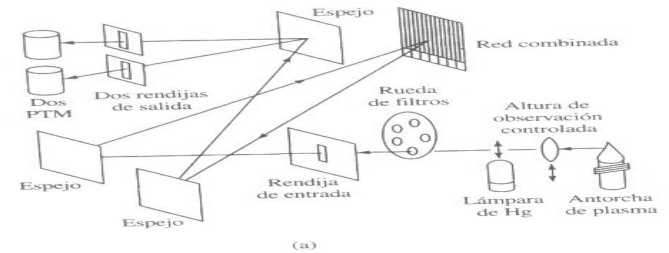


Imagen extraída de *Análisis Instrumental*. Skoog, Holler y Nieman (2000)

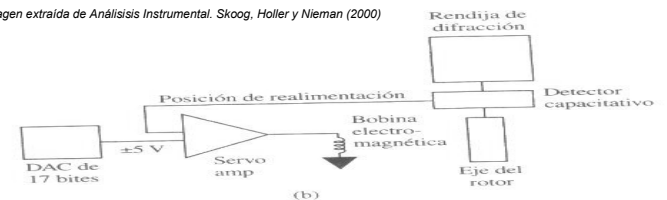


Figura 10-6. (a) Diagrama óptico de un espectrómetro de barrido giratorio para espectrometría ICP. (b) Red controlada magnéticamente. (Cortesía de Thermo Jarrell Ash Corp.)

ESPECTRÓMETROS DE BARRIDO GIRATORIO.

Característica única de estos equipos: mecanismo de transmisión electromagnético que puede barrer de 165 a 800 nm en 20 ms.

¿Qué ventajas presenta un espectrómetro de barrido giratorio?

✓ Coste significativamente menor que el de los espectrómetros multicanal (los veremos ahora);

✓ Son más versátiles (no están restringidos a λ preseleccionadas)

Sin embargo:

✓ Son más lentos

✓ Consumen más muestra que sus homólogos multicanal simultáneos.

ESPECTRÓMETROS MULTICANAL.

Pertencen a dos tipos generales:

(1) Policromadores (detección con tubos fotomultiplicadores)

(2) Sistemas de elementos en serie (dispositivos bidimensionales de inyección de carga o dispositivos de acoplamiento de carga como detectores)

Veamos cada uno de ellos:

(1)

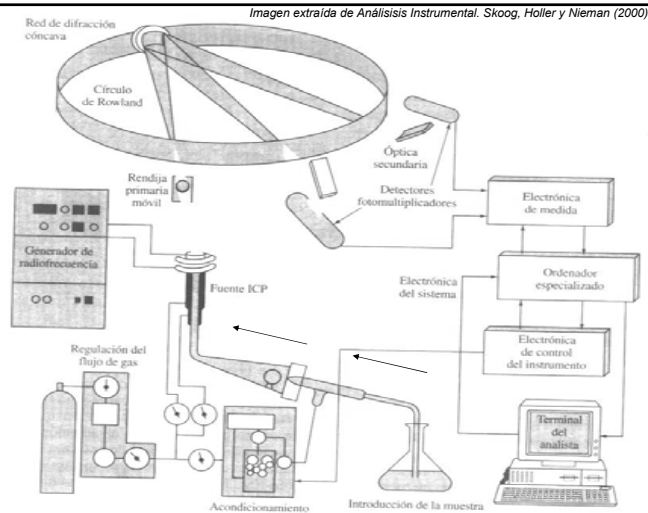
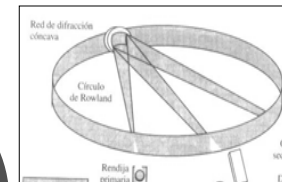


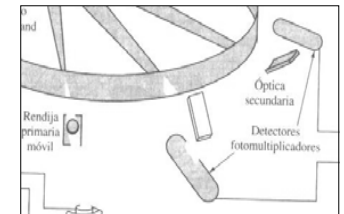
Figura 10-8. Esquema de un policromador ICP. (Cortesía de Thermo Jarrell Ash Corp.)

POLICROMADORES.

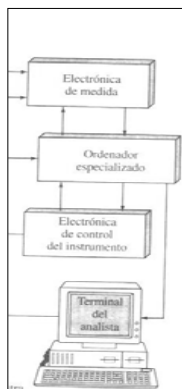


La rendija de entrada, las de salida y la superficie de la red se localizan alrededor de un círculo de Rowland, cuya curvatura corresponde a la curva focal de la red cóncava.

La radiación de las distintas rendijas fijas se reflejan mediante espejos hacia los tubos fotomultiplicadores.



POLICROMADORES.



Las señales de los distintos tubos fotomultiplicadores se recogen en integradores analógicos individuales. Los voltajes de salida se digitalizan, se transforman en concentraciones, se guardan y se visualizan.

✓EQUIPOS IDEALES PARA ANÁLISIS RÁPIDOS DE RUTINA (p. ej., en la fabricación de aleaciones).

✓Presentan buena precisión analítica

✓Gran versatilidad

APLICACIONES DE LAS FUENTES DE PLASMA.

¿Cuáles son las características de las fuentes de plasma?

✓ Son ricas en líneas de emisión características;

✓ Útiles para el análisis elemental (cualitativo y cuantitativo);

✓ ICP y DCP aportan datos analíticos cuantitativos mejores que otras fuentes de emisión, debido a su estabilidad, bajo ruido, poca radiación de fondo y ausencia de interferencias cuando se trabaja en condiciones adecuadas.

✓Límites de detección aceptables.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.

La Espectrometría de Emisión Atómica de ICP se utiliza para análisis cualitativo u cuantitativo en muestras disueltas o en suspensión, en disolventes acuosos u orgánicos.

¿Cómo preparamos la/s muestra/s?

Requieren tratamiento previo (suelos, tejidos de animales, plantas, derivados del petróleo, minerales,...) a altas temperaturas y con el uso de reactivos (problemas de volatilización, interferencias químicas y espectrales, impurezas...);

Algunos de los métodos habituales son:

- Tratamiento con ácidos minerales en caliente;
- Oxidación con reactivos líquidos (digestión húmeda);
- Combustión en bomba de oxígeno;
- Digestión a elevada temperatura;
- Fusión a elevada temperatura, usando óxido bórico, carbonato sódico,...

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.

En Emisión de plasma existe la posibilidad de analizar directamente muestras sólidas: vaporización electrotérmica, ablación por láser o por chispa y descarga luminiscente.

ELEMENTOS SUSCEPTIBLES DE DETERMINACIÓN

En principio, todos los elementos metálicos.

Para la determinación de boro, fósforo, nitrógeno, azufre y carbono se necesita un espectrómetro de vacío (por debajo de 180 nm).

Para metales alcalinos, su utilidad está limitada por dos razones:

(1) las condiciones de trabajo que pueden adaptarse para la determinación de la mayoría de los otros elementos no son adecuadas para los metales alcalinos y

(2) las líneas más intensas del Li, K, Rb y Cs se sitúan en longitudes de onda del IR cercano, lo que conduce a problemas de detección.

SELECCIÓN DE LA LÍNEA ANALÍTICA.

Varias líneas significativas que se pueden utilizar para su identificación y cuantificación.

La selección dependerá de los elementos presentes en la muestra y de la posibilidad de solapamiento de líneas.

CURVAS DE CALIBRADO

Representación gráfica de la intensidad de corriente o de la tensión de salida del detector en función de la concentración del analito.

Calibraciones lineales con desviaciones cuando se cubren intervalos grandes de concentración \Rightarrow AUTOABSORCIÓN
 \Rightarrow CORRECCIÓN DE FONDO ERRÓNEA
 \Rightarrow RESPUESTA NO LINEAL DEL SISTEMA DE DETECCIÓN.

Utilización de un patrón interno: Se añade una cantidad constante de itrio a los patrones \Rightarrow la intensidad relativa de la línea del analito respecto a la línea del itrio a 242,2 nm sirve como parámetro analítico.

Es necesario introducir patrones periódicamente para comprobar la deriva instrumental, si la hubiera.

INTERFERENCIAS.

Menores interferencias químicas y de matriz con el plasma que con otros atomizadores.

A concentraciones bajas de analito, la emisión de fondo puede ser intensa requiriendo correcciones.

Dado que los espectros de ICP son ricos en líneas, se producen interferencias espectrales debido al solapamiento de éstas.

¿Cómo las evitamos?

- Conocer los componentes que están presentes en la muestra
- Conocer líneas de emisión óptimas

LÍMITES DE DETECCIÓN.

Comparables o mejores a los obtenidos por otros procedimientos espectrales atómicos. Veámoslo comparativamente:

Información extraída de *Análisis Instrumental. Skoog, Holler y Nieman (2000)*

Tabla 4. Comparación de los l.d. de algunos métodos espectrales atómicos

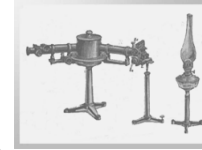
Método	Nº de elementos detectado a una concentración de				
	<1 ppb	1-10 ppb	11-100 ppb	101-500 ppb	>500 ppb
Emisión de ICP	9	32	14	6	0
Emisión atómica de llama	4	12	19	6	19
Fluorescencia atómica de llama	4	14	16	4	6
Absorción atómica de llama	1	14	25	3	14

TABLE 9-3 Detection Limits (ng/mL)* for Selected Elements†

Element	AAS‡ Flame	AAS§ Electrothermal	AES‡ Flame	AES‡ ICP	AFS‡ Flame
Al	30	0.005	5	2	5
As	100	0.02	0.0005	40	100
Ca	1	0.02	0.1	0.02	0.001
Cd	1	0.0001	800	2	0.01
Cr	3	0.01	4	0.3	4
Cu	2	0.002	10	0.1	1
Fe	5	0.005	30	0.3	8
Hg	500	0.1	0.0004	1	20
Mg	0.1	0.00002	5	0.05	1
Mn	2	0.0002	5	0.06	2
Mo	30	0.005	100	0.2	60
Na	2	0.0002	0.1	0.2	—
Ni	5	0.02	20	0.4	3
Pb	10	0.002	100	2	10
Sn	20	0.1	300	30	50
V	20	0.1	10	0.2	70
Zn	2	0.00005	0.0005	2	0.02

ESPECTROSCOPIA DE EMISIÓN CON FUENTES DE ARCO Y CHISPA

Históricamente, en Emisión Atómica:



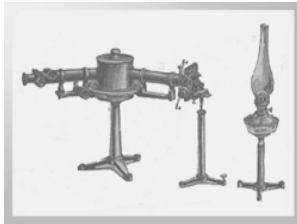
Atomización y excitación mediante llama, arco eléctrico y chispa eléctrica.

En los años 20, sustituyeron a los métodos clásicos de análisis elemental (gravimétricos y volumétricos)

¿En qué se basan estos métodos?

- ✓ Obtención, mediante excitación, del espectro de emisión de los elementos por medio de arcos eléctricos o chispas eléctricas;
- ✓ Permiten la determinación cualitativa y cuantitativa de elementos metálicos en distintos tipos de muestra (metales, aleaciones, suelos, minerales, rocas);
- ✓ Siguen teniendo un uso considerable en análisis cualitativo.

¿En qué se basan estos métodos?



En las fuentes de arco y chispa:

- ✓ la excitación se produce en el pequeño espacio existente entre un par de electrodos;
- ✓ El paso de electricidad entre ellos proporciona la energía necesaria para atomizar la muestra y producir átomos o iones en estado electrónico excitado.

TIPOS DE MUESTRAS Y MANIPULACIÓN.

Aplicación al análisis elemental de muestras sólidas.

Muestras metálicas.

Si es un metal o una aleación, uno o ambos electrodos se pueden preparar fresando, torneando o vertiendo el metal fundido en un molde (varilla cilíndrica con un extremo en forma cónica);

Para otras muestras, es más conveniente emplear la superficie plana pulimentada de un trozo grande del metal como uno de los electrodos y tomar una varilla de grafito o de metal como el otro.

ES IMPORTANTE EVITAR LA CONTAMINACIÓN DE LA SUPERFICIE DURANTE LA PREPARACIÓN.

TIPOS DE MUESTRAS Y MANIPULACIÓN.

Muestras sólidas no metálicas.

La muestra se coloca sobre un electrodo (normalmente, de carbono) cuyo espectro de emisión no interfiera en el análisis.

Uno de los electrodos tiene forma cilíndrica con un pequeño cráter abierto en uno de los extremos, en el que se introduce la muestra y el otro electrodo es una varilla de carbono de forma cónica, con la punta redondeada.

Otros métodos de preparación:

Compactación (briquetting)

Formación de gránulos esféricos o cilíndricos (pelleting o peletización): la muestra finamente triturada se mezcla con una cantidad importante de polvo de grafito, cobre u otra sustancia conductora y compresible, comprimiendo la mezcla a elevada presión para darle forma de un electrodo.

INSTRUMENTOS PARA LA ESPECTROSCOPIA CON FUENTES DE ARCO Y CHISPA

Debido a su inestabilidad, requieren la integración de la señal de emisión durante 20s-60s, hasta obtener datos analíticos reproducibles \Rightarrow Uso de instrumentos multicanal simultáneos, de dos tipos:

- (1) Espectrógrafos
- (2) Espectrómetros multicanal.

(1) ESPECTRÓGRAFOS

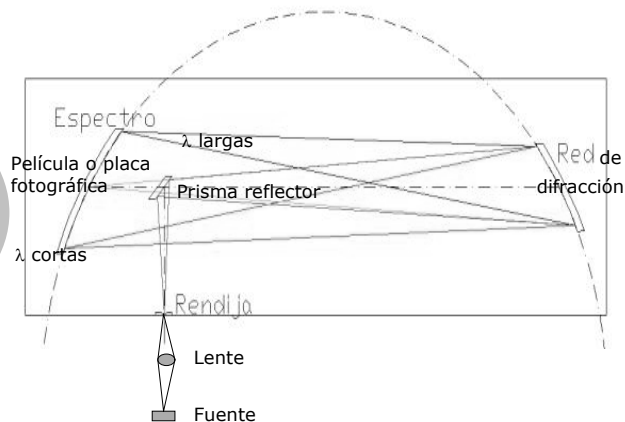
-Mediante película o placa fotográfica situada en el plano o curva focal de un monocromador:

Emplea una red cóncava para dispersar la radiación de la fuente;

La placa fotográfica o soporte de la película están dispuestos de forma que se puedan mover verticalmente para poder registrar varios espectros.

INSTRUMENTOS PARA LA ESPECTROSCOPIA CON FUENTES DE ARCO Y CHISPA

Figura. Montaje de Eagle para un espectrógrafo de red



INSTRUMENTOS PARA LA ESPECTROSCOPIA CON FUENTES DE ARCO Y CHISPA

Emulsión fotográfica como sistema de detección para registrar, amplificar e integrar la emisión de una línea espectral.:

1º Una partícula de haluro de plata absorbe un fotón de radiación, y la energía radiante se convierte en una imagen latente;

2º El tratamiento de la emulsión con agentes reductores produce la formación de numerosos átomos de plata por cada fotón absorbido (amplificación química).

¿Cuál es la principal desventaja de los espectrógrafos?

El tiempo necesario para registrar y analizar los espectros (exposición de la placa, eliminación de la emulsión, revelado, fijación, lavado, secado y examen posterior) para la identificación de los compuestos. Si quisiéramos cuantificarlos, se ampliaría aún más el tiempo (calibración que se debe realizar regularmente).



SEGUIREMOS CON LA ESPECTROMETRÍA DE
FLUORESCENCIA Y MASAS ATÓMICA