

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



QUIMICA ANALITICA DEL BERILIO

REBECA CABRERA LUNA

61

QUIMICO

1976



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

CLAS Tesis
ADE _____
FECHA 1976
PROC 4464



QUIMICA



QUIMICA

CON AGRADECIMIENTO

**A MIS PADRES POR SU APOYO.
A MI HERMANO RAUL, A QUIEN
DEBO LA CULMINACION DE MI CARRERA.
A MI HIJO OMAR GERARDO.**

A MIS HERMANAS

SARA, OLIVIA, HORTENSIA Y ANA MARIA

A MIS MAESTROS

Y AMIGOS

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE

SEGUN EL TEMA

PRESIDENTE: CARLOS KOBEH HEDERE
VOCAL: ALBERTO OBREGON PEREZ
SECRETARIO ALICIA BENITEZ DE ALTAMIRANO
PRIMER SUPLENTE: JORGE MERCARINI PENICHE
SEGUNDO SUPLENTE: ELVIA MARTINEZ IZAGUIRRE

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

INSTITUTO DE GEOLOGIA, U. N. A. . M.

EL SUSTENTANTE:

REBECA CABRERA LUNA

ASESOR:

ING. ALBERTO OBREGON PEREZ

QUÍMICA ANALÍTICA DEL BERILIO

OBJETIVO

INTRODUCCION

EVOLUCION DEL BERILIO A TRAVES DEL TIEMPO

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

PROPIEDADES NUCLEARES

ABUNDANCIA Y FORMA NATURAL

USOS

COMPUESTOS DE BERILIO

ALEACIONES DE BERILIO

TENICAS ANALITICAS:

Determinación de Berilio

Separación

APLICACIONES

INDICE

OBJETIVO

El presente trabajo pertenece a una serie de monografías - destinadas a la revisión de la Química Analítica de los elementos. En ellas se ha dado cierta preferencia a elementos poco comunes, - pero que sin embargo día a día y debido muchas veces a sus propiedades excepcionales están siendo objeto de una creciente demanda - en la industria. Es el caso del elemento # 4: BERILIO.

INTRODUCCION

El berilio, es el elemento químico número 4, con peso atómico de 9.013 . Es uno de los metales estructurales más ligeros que tiene una densidad cerca a un tercio del aluminio. Es un elemento que tiene gran número de propiedades extraordinarias y únicas. Un ejemplo del amplio impacto del berilio en la ciencia moderna está dado por la variedad de tópicos referidos en la literatura: teorías cosmológicas, datos isotópicos, mecanismos meteorológicos, construcción de cohetes, reflexión de neutrones y moderación para reactores nucleares, inhibición enzimática, y toxicología.

Los usos más amplios del berilio son como agente aleatorio con cobre y en energía nuclear. La adición de 2% de berilio a cobre forma una aleación no magnética que es seis veces más fuerte que el cobre. Estas aleaciones berilio-cobre encuentran numerosas aplicaciones en la industria como instrumentos antiestacionarios, como partes críticas de motores de aeroplanos, y en componentes principales de instrumentos de precisión, computadoras electrónicas, etc. El berilio-cobre amartillado, torcido y en otras formas se emplea en refineries de petróleo y en otras plantas en las que una chispa de acero a otro acero pueda producir explosión o fuego.

EVOLUCION DEL BERILIO A TRAVES DEL TIEMPO

El descubrimiento del berilio en 1798 data de las observaciones del mineralogo francés R. J. Haüy, quien vió que las propiedades ópticas de la esmeralda eran idénticas a los minerales de berilio. A petición de Haüy, L. N. Vauquelin analizó químicamente berilio y esmeralda, y probó que ambas sustancias tenían la misma composición y contenían un nuevo elemento. Debido a que las sales de berilio son de sabor dulce, al nuevo elemento se le llamó glucinio. El nombre berilio fué dado por F. Wöhler en Alemania en 1828, quien, simultáneamente con W. Bussy en Francia, logró aislar el metal puro por fusión de cloruro de berilio con potasio metálico. En 1898, el químico francés P. Lebeau preparó berilio de 99.5 - 99.8 % de pureza por un proceso electrolítico. Durante 20 años A. Stock y H. Golaschmidt en Alemania descubrieron un proceso comercial para la producción de berilio. El proceso consiste en electrólisis de la sal de fluor a temperaturas cercanas al punto de fusión del berilio. La habilidad del berilio como endurecedor del cobre con adición de níquel fué descubierta en 1926 por M. G. Corson, un metalurgista americano.

La producción en pequeña escala del berilio y sus aleaciones empezó en los Estados Unidos y en el extranjero durante los años 1920 y 1930. Los Estados Unidos han sido y continúan siendo el productor dominante y consumidor del metal berilio, aleaciones y compuestos. Cuando átomos de berilio se bombardean con partículas alfa de radio, el núcleo se rompe para producir una profusión de neutrones.

Fue esta reacción la que siguió al descubrimiento del -- neutrón en los años de 1930. Una fuente radio_berilio proporcionó los neutrones para los estudios que continuó Enrico Fermi para la construcción del primer reactor nuclear en 1942.

El posible uso de berilio como moderador en reactores nucleares fue reconocido en 1940 por C. V. Wilson en la Universidad de Chicago. La habilidad del berilio para soportar altas temperaturas y corrosión lo hace particularmente atractivo para reactores nucleares; sin embargo, la fragilidad del óxido presenta muchas dificultades.

Ciertos problemas de salud atribuidos al berilio fueron reconocidos durante el período 1933-1942. Al mismo tiempo, una -- nueva enfermedad desconcertante se reportó en Alemania, Italia, y La Unión Soviética. Muchos empleados que trabajaban en la extracción de berilio a partir de berilo cayeron gravemente enfermos, y cerca del 10-20% de estos afectados murieron. Muchos de los trabajadores habían inhalado berilio en forma de sales corrosivas tales como el fluoruro. Esta forma aguda de veneno produjo síntomas tales como frío, fiebre, tos dolorosa, y acumulación de fluido en los pulmones, síntomas similares a aquellos de envenenamiento por gases irritantes como el cloro.

En 1946, apareció una forma retardada de envenenamiento causada por berilio en pacientes que habían estado contratados en la producción de lámparas fluorescentes, en las que los compuestos de berilio se incorporaron al fósforo, usado para cubrir el interior de la lámpara. En estos casos, los empleados fueron expuestos a formas insolubles de berilio, y su enfermedad se hizo notable sólo hasta después de seis meses a tres años.

Ahora se conocen casos en los que la forma retardada de envenenamiento por berilio, llamada beriliosis, no apareció hasta después de 15 años ó más. Uno de los aspectos característicos de la beriliosis es la aparición de lesiones en el pulmón, llamada granuloma.

Se han desarrollado varios procedimientos para proteger a aquellos trabajadores que estén en contacto con berilio para que su toxicidad no necesite a la larga detener la fabricación de productos de berilio.

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.

Algunas de las propiedades físicas y químicas más importantes del berilio están tabuladas en la tabla No. 1. Una de las diferencias más grandes entre el berilio y los otros elementos del grupo II en la table periódica consiste en el pequenísimo radio iónico r , el cual es menos de la mitad que el siguiente catión más pequeño Mg, favorece al berilio, que posee una excepcional fuerza de deformación como se muestra por el valor e/r^2 (e-carga), el cual es 17, comparados a 3-5 para Mg^{++} , y 1.8 para Ca^{++} , y 9.2 para Al^{+++} . El berilio muestra un parecido muy marcado al aluminio en su conducta química.

Como el aluminio, el berilio forma una capa de óxido protectora, y su estabilidad en el aire es igual al rojo caliente, es decir a dicha capa. La influencia protectora de la película puede romperse cuando el metal se lleva en contacto con más metales nobles ó aleaciones que pueden resultar en flujo de corriente y causar corrosión galvánica. El metal berilio es apreciablemente resistente al ataque por el sodio libre de oxígeno a elevadas temperaturas. Es difícil no obstante, obtener y mantener el metal sodio completamente libre de oxígeno. La velocidad de ataque de sodio líquido sobre berilio puede reducirse incorporando al sistema algún elemento como el calcio que forma un óxido más estable que el berilio. La resistencia del metal berilio al metal líquido, es importante para designar unidades de transferencia de calor en reactores nucleares.

El berilio tiene una tendencia muy fuerte a tomar compuestos covalentes con una máxima covalencia de 4. Sus sales tan uniformemente tienen 4 moléculas de agua de cristalización para cada átomo de berilio que cualquier compuesto que no haya formado un complejo por desplazamiento de agua coordinada, ó para una substancia puramente covalente como el acetilacetato de berilio. Los compuestos de berilio son rápidamente hidrolizados en agua, y si contienen -- nitrógeno donante ó átomos de azufre son descompuestos por agua por la fuerza de la unión Be-O. En soluciones acuosas, los quelatos de berilio con ácido salicílico están entre los más estables.

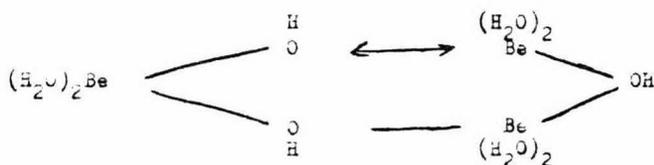
Los compuestos de berilio forman tetrahedros que con característicos de muchos elementos que tienen el número de coordinación 4. Este es el resultado de las características direccionales de la distribución electrónica de los orbitales e intensidad. Uniones híbridas del tipo sp^3 que dan simetría tetrahédrica como las - del carbón y silicón se encuentran también en compuestos de berilio. Debido a que el berilio carece de orbitales d, solamente forma compuestos tetrahédricos. El rearrreglo tetrahédrico de las valencias - del berilio dirige la actividad óptica de muchos de sus compuestos, igual que los compuestos de carbono. Al ejemplo clásico es el encontrado por W.H. Mills y R.A. Gotts, quienes en 1926, separaron los 2 isómeros de berilio de ácido benzoilpirúvico.

Es de importancia analítica que el berilio no reacciona fuertemente con el agente acomplejante universal, ácido etileno - diamina tetracético (EDTA). A pH 5-5.55, 500 gr. de la sal tetrasódica de EDTA completará la unión de 1 mol de magnesio ó calcio, pero solamente 0.002 moles de berilio.

también de importancia al respecto es que la interferencia del aluminio en el análisis del berilio puede minimizarse grandemente debido a que el aluminio reacciona muy fuertemente con LiOH bajo condiciones en que el berilio no lo hace.

Las soluciones de sales de berilio son ácidas. En 1815, J. J. Berzelius notó que una solución de sulfato de berilio disuelve a varias moléculas proporcionales de óxido ó hidróxido de berilio. Este comportamiento indica formación de hidroxoberilio ó oxo complejos. Durante la hidrólisis cuando el No. promedio de uniones OH^- por Be^{++} excede la unidad, empieza la precipitación. Por lo menos se forma un complejo hidroxoberilino.

Los productos principales de la hidrólisis es el complejo polinuclear $\text{Be}_3(\text{OH})_3^{3+}$ el cual se presume va a formar un anillo de 6 miembros, 3 tetrahedros estando unidos por OH en las esquinas.



Si el tetrahedro estuviera completo con agua, la fórmula sería: Fórmula del Complejo: $\text{Be}_3(\text{OH})_3(\text{H}_2\text{O})_6^{3-}$ como se muestra en el diagrama.

El berilio puede formar compuestos poliméricos como también una clase de compuestos covalentes los cuales muestran una estabilidad térmica muy marcada. Algunos pueden destilarse a temperaturas superiores a 300°C , a presión atmosférica sin descomposición. Ejemplos de estos compuestos incluyen los carboxilatos básicos de berilio, $\text{Be}_4\text{O}(\text{RCO}_2)_6$, y los compuestos quelatos de berilio, tal como el bien conocido acetyl acetato de berilio que fue ----

descubierto en 1894, el cual es volátil, funde a 113°C y hierve - hasta descomposición a 270°C , insoluble en agua pero se hidroliza hirviendo, y es muy soluble en solventes orgánicos.

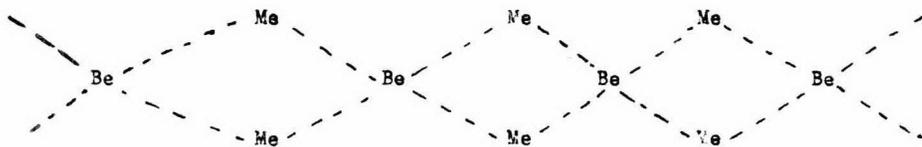
Los alquilos de berilio se preparan por reacción con reactivos de Grignard ó compuestos organolíticos, con cloruro de berilio:



Otro procedimiento de preparación involucra la desproporción de haluros de alquil berilio en calentamiento:



Estudios de difracción de rayos X muestran que el dimetil berilio sólido forma una cadena polimérica en la cual cada átomo de berilio ataca tetrahédricamente a 4 átomos de carbono y cada átomo de carbono a 2 átomos de berilio. La estructura es electrón deficiente como lo son los anillos de aluminio:



Cada línea punteada indica una media unión debido a que están solamente a la mitad entre pares electrónicos para el N.º. de ataques mostrado.

TABLA No. 1

PROPIEDADES FISICAS DEL BERILIO.

Propiedades atómicas y de masa:	
Número de masa de isótopos estables	9
número atómico	4
Configuración electrónica exterior	$1s^2 2s^2$
Peso atómico	9.013
Diámetro atómico	2.221 Å
Volúmen atómico	4.96 cm ³ /mol
Estructura cristalina	hexagonal
parámetros	a=2.285 Å c=3.583 Å
radio axial	c/a = 1.568
Campo de catión (carga/radio)	17
Densidad*, 25°C rayos X (teórico)	1.8477± 0.0007 g/cm ³
Densidad, 1000°C, rayos X	1.756 g/cm ³
Radio de átomo (Be ⁰)	1.11 Å
Radio iónico, Be ⁺⁺	0.34 Å
Energía de ionización (Be ⁰ --Be ⁺⁺)	27.4 ev
Propiedades térmicas:	
Punto de fusión	1285°C (2345°F)
Punto de ebullición**	2970°C (5378°F)
Presión de vapor (T = °K)	log P(atm) 6.186+1.454 10 T ₋ (16,700/T)
Calor de fusión	250-275 cal/g

Calor de vaporización	53,490 cal/mol
Calor específico (20-100)	0.43-0.52 cal/(g)(°C)
Conductividad térmica (20°C)	0.355 cal/(cm)(cm)(seg) (°C)(42% de cobre)
Calor de oxidación	140.15 cal

Propiedades eléctricas:

Conductividad eléctrica	40-44% de cobre
Resistividad eléctrica	4 microhms/cm(0°C) 6 microhms/cm(100°C)
Potencial de solución electrolítica, Be/Be ⁺⁺	E° = 1.69 volts
Equivalente electroquímico	0.04674 mg/coulomb

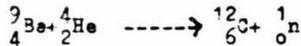
* Los valores varían de 1.79 a 1.86 dependiendo de la pureza y método de fabricación

** Obteniendo por extrapolación de datos de presión de vapor.

PROPIEDADES NUCLEARES

El berilio tiene alta permeabilidad a los rayos X debido a su bajo peso atómico. Su permeabilidad es aproximadamente 17 veces mayor que la del aluminio, esta propiedad combinada con su energía y alto punto de fusión lo hacen idealmente adecuado para ventanas en tubos de rayos X, esto ha hecho posible su aplicación en terapia de rayos X y estudio de metales ligeros.

El campo del berilio en la ciencia nuclear es muy interesante, es especialmente importante como fuente de neutrones, los cuales se forman cuando se bombardea berilio con partículas alfa de acuerdo a la siguiente ecuación nuclear:



La reacción anterior produce cerca de 30 neutrones por millón de partículas alfa. El berilio es uno de los tres elementos, siendo hidrógeno y carbón los otros dos, clasificado por científicos nucleares como moderadores, siendo la función de un moderador en una reacción de fisión nuclear reducir la velocidad de neutrones para aumentar la probabilidad de colisión del neutrón con un núcleo de un átomo de Uranio.

El berilio es especialmente adecuado para este propósito ya que el pequeño peso de su núcleo hace posible su reducción en neutrones sin reducción significativa en su nivel de energía nuclear.

La mezcla radio-berilio usada como fuente de neutrones produce fotoneutrones, producidos de la acción sobre el berilio de rayos X de energía mayor de 1.66 Mev.

pueden prepararse varios isótopos radioactivos. Dos isótopos radioactivos, Be^7 y Be^{10} se forman en la atmósfera superior como resultado de la intensa actividad de los rayos cósmicos causando ruptura de los núcleos de nitrógeno y oxígeno. Un isótopo de vida corta, el Be^{11} con una vida media de 14.1 seg ha sido producido por bombardeo de neutrones de Boro.

El berilio y el óxido de berilio se usan también como material de reflexión para reactores nucleares; el metal se usa como elemento aleatorio y recipiente para combustibles.

ABUNDANCIA Y FORMA NATURAL.

El berilio es sorprendentemente raro para un elemento ligero, constituyendo cerca del 0.0005 % de la corteza terrestre; es el trixésimo segundo en abundancia, encontrándose en concentraciones que se aproximan a las del cesio, escandio y arsénico. Actualmente la abundancia de berilio y sus vecinos litio y boro, es 10.5 veces menor a los elementos siguientes: carbono, nitrógeno, y oxígeno; como elemento ligero, el berilio podría ser muy abundante en la tierra. Se cree que el núcleo de berilio es destruido por colisión con protones de alta energía como en el sol y otras estrellas. La escasez de berilio ha sido interpretada por algunos para indicar que la tierra pasó a través de una etapa de temperaturas estelares.

Un sumario de las diferentes formas en que se encuentra el berilio en varios materiales, se muestra en la tabla No. 2.

Más berilio está presente en el aire de los grandes centros urbanos, especialmente en comunidades en que queman carbón -- que en áreas rurales.

Se conocen un mínimo de 50 minerales de berilio, pero en solo 30 es un constituyente regular. El mineral del berilio de importancia industrial es el berilo, un silicato de berilio y aluminio hexagonal que tiene la composición ideal $Be_3Al_2Si_6O_{18}$, equivalente a 5% de Be ó 14% de BeO, 19% Al_2O_3 y 67% SiO_2 . La forma preciosa de berilio, esmeralda y aguamarina, alcanzan la composición ideal. Los graños comerciales de berilio contienen alrededor de -- 10-12% BeO, 17-19% Al_2O_3 , 64-70% SiO_2 , 1-2% minerales de metales alcalinos, y 1-2% de fierro y otros minerales.

La esmeralda es una variedad de berilio transparente, intensamente verde, los cristales hexagonales de berilio pueden ser verde-azul ó rosados pero en el campo tienden a presentar el color de las rocas graníticas con las que son generalmente asociadas. Algunas veces alcanzan tamaño gigantesco, de 2-3 pies en diámetro y varios pies en longitud, y pesan varias toneladas.

Los depósitos de berilio en el mundo se dividen en dos grupos, las variedades de berilio en pegmatitas, y las rocas de berilio que no son pegmatitas. Sin embargo casi todo el berilio producido ha sido extraído de berilio pegmatitas que se encuentran en muchos países. Las áreas potencialmente importantes se encuentran en Brasil, Argentina, Canadá, Los Estados Unidos, Congo Belga Rhodesia, Suroeste de Africa, La Unión de Sudáfrica, e India. En México existe berilio en algunos lugares de Baja California, (Sierra de San Pedro Mártir) y en la Sierra de Oposura ó de la Madera, en Sonora.

El berilio se encuentra en numerosos minerales debido a que el pequeñísimo diámetro del ión berilio favorece su limitada entrada a otros minerales de silicatos, así que la formación de altas concentraciones de berilio en minerales está restringida. Entre los minerales que contienen berilio están: euclasa (un doble silicato de aluminio); fenacita (silicato); berilonita (un berilio fosfato de sodio), y hambergita (un borato); también está asociado con iritrio, cerio y zirconio en los minerales gadolinita, muromontita, y cirtolita. En rocas no pegmatitas, el berilio es principalmente un constituyente menor y sólo algunos de éstos minerales contienen cuando mucho 0.2% de BeO, como sucede con el grupo helvita . . .

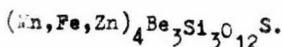


TABLA No. 2
FORMA NATURAL DEL BERILIO

<u>MATERIAL</u>	Concentración ppm	
	PROMEDIO	RANGO
Corteza terrestre	3-6	
Suelo	0.37	0.13-0.83
Asquistos		6
Bauxita		0.60
Carbón	1.55	0.07-3.0
Cenizas de carbón	4.0	8000
Aire	0.0002+	0.0001-0.0033+
Pulmones		0.00-1.98++
Orina y sangre	0.33++	

+ medidos en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

++ medidos en $\mu\text{g}/100\text{ g.}$

USOS DEL BERILIO

Los usos más extensos del metal berilio están como reflector ó moderador en reactores nucleares y como agente aleatorio, especialmente con coore. Un pequeño pero importante uso de berilio, está en láminas como material de ventanas en tubos de rayos X. El berilio transmite rayos X 17 veces mejor que un espesor equivalente de aluminio y 6-10 veces mejor que un vaso Lindemaun. Esto, junto con su alto punto de fusión, hace posible el uso de emisiones de rayos X, de mayor intensidad.

El óxido de berilio es usado en la manufactura de material refractario de alta temperatura y porcelana de alta calidad eléctrica como tapones de balsas de aire y radares de ultra frecuencia. La alta conductividad térmica del óxido de berilio y sus propiedades aislantes de alta frecuencia eléctrica encuentran aplicación en campos eléctricos y electrónicos.

Otro uso del óxido de berilio es como obscurecedor para cubrir crisoles de grafito, para aislar el grafito y evitar contaminaciones sobre aleaciones fundidas con carbón. Los crisoles de óxido de berilio se usan donde se están fundiendo metales reactivos de alta pureza.

Varias sales de berilio encuentran usos limitados. El nitrate de berilio en combinación con nitrate de torio se usa para la fabricación de cubiertas incandescentes. El fluoruro de berilio-sodio se usa en la preparación de vidrios de alta permeabilidad a los rayos ultravioleta, como un flujo en ciertos esmaltes de porcelana, y en cubiertas de barras para soldadura de metales. Los haluros de berilio y otras sales encuentran uso limitado como catalizadores

en reacciones químicas orgánicas. Dadas sus características: ligereza, alta elasticidad, y estabilidad al calor, hacen del berilio un material atractivo para uso como material de construcción en aeroplanos y proyectiles. Si no fuera por su toxicidad y escasez, el berilio encontraría uso como combustible de cohetes porque produce más energía calorífica por unidad de volumen que cualquier otro elemento. En proyectiles múltiples una pequeña reducción de peso usando berilio en lugar de acero, permite una reducción mucho mayor de peso en las primeras etapas en términos de combustible y estructura. Investigaciones en la utilización del metal berilio, y materiales que contengan berilio para usos en aeronaves y proyectiles, se están llevando a cabo muy activamente. Estas y otras aplicaciones más se desarrollan junto con los usos de berilio en tecnología nuclear, y es lo que mantiene arriba la producción de berilio.

Los dos isótopos radioactivos de berilio, Be^7 con una vida media de 53 días, y Be^{10} con una vida media de 2.5 a 10 años se usan en determinaciones de edades geológicas. Los isótopos de berilio se encuentran en suelos, capas de aire, lluvia, nieve, y sedimentos del mar.

COMPUESTOS DE BERILIO

ACETATOS DE BERILIO.- Hay 2 formas de acetato: el normal y el básico

Acetato de berilio normal.- $\text{Be}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$. Este material tiene p.f. = de 300°C (desc), es difícil de producir, y no tiene importancia especial. Se prepara tratando acetato de berilio con anhídrido acético - bajo presión y a 140°C .

Acetato de berilio básico.- $\text{Be}_4\text{O}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_6$. Este acetato tiene propiedades muy interesantes; es soluble en ácido acético glacial y puede recristalizarse con alta pureza, soluble en cloroformo y otros - solventes orgánicos y se sublima a $330\text{-}331^\circ\text{C}$ sin descomposición, funde a $283\text{-}284^\circ\text{C}$ sin cambio. Su estructura es covalente, con 4 átomos de berilio formando un tetraedro alrededor de un átomo de oxígeno - central. Se usa en cantidades pequeñas por laboratorios de investigación para preparar sales puras.

CARBURCS DE BERILIO.- Be_2C . Siempre y cuando berilio metálico y carbón se calienten en contacto uno del otro a 900°C se produce el carburo de berilio. A 900°C la velocidad de reacción es relativamente lenta. La velocidad de reacción aumenta con el aumento de temperatura, a aprox. 1150°C ó más la reacción es fuertemente exotérmica. Los cristales de carburo de berilio tienen propiedades óptimas, el compuesto por otra parte carece de importancia comercial. El carburo de berilio reacciona con agua para formar BeO y metano, de acuerdo a - la siguiente ecuación:



CARBONATOS DE BERILIO.- No hay carbonato de berilio normal, el carbonato de berilio básico, BeCO_3 , combinado con $\text{Be}(\text{OH})_2$, se forma - - -

cuando soluciones acuosas de sales de berilio se precipitan con carbonatos alcalinos. La composición y apariencia física del carbonato básico formado varía con los álcalis usados y con la temperatura y la concentración. Un método para producir carbonato básico de berilio consiste en saturar una solución de carbonato de amonio con hidróxido de berilio. Se filtra, y el filtrado se diluye con agua a cerca de 5 veces su volúmen, y se calienta a ebullición.

La hidrólisis produce un carbonato básico granular y fácilmente filtrable, se seca a $100-150^{\circ}\text{C}$; la forma seca contendrá 40-50% de óxido de berilio. El carbonato de berilio básico es un compuesto inestable y puede pasar fácilmente al óxido ó al hidróxido por calentamiento. Es de poca importancia comercial, pero frecuentemente se usa en laboratorios como fuente de sales de berilio.

HALUROS DE BERILIO.- El bromuro, cloruro, fluoruro e ioduro, comprenden estos compuestos. Las solubilidades en agua fría varía de 34 gr. en 100 ml. para fluoberilato de amonio a solubilidad infinita para el fluoruro; el ioduro, bromuro y cloruro se descomponen.

Cloruro de Berilio.- BeCl_2 . El cloruro se conoce sólo en forma anhidra; tiene p.f. de 399°C , p. eb. de 482.5°C , debido a que su presión de vapor es alta en el punto de fusión, no puede fundirse en recinto abierto sin pérdidas considerables. Es fácilmente hidrolizable en soluciones acuosas. La concentración por evaporación de soluciones acuosas produce un residuo altamente básico de composición variada. Se fabrica enteramente para la producción de berilio metálico, pero el uso del cloruro como agente catalítico para procesos de cracking también se ha sugerido.

Cloruro de berilio.- BeBr_2 ; Ioduro de berilio.- BeI_2 . Ambos haluros presentan sólo forma anhidra. No se conocen compuestos básicos de composición definida. Ambos funden alrededor de 500°C , y como el cloruro, exhiben una considerable presión de vapor a la temperatura del punto de fusión. Su conducta química es similar a la del cloruro. No se conocen compuestos de importancia comercial y usos especiales.

Fluoruro de berilio.- BeF_2 ; Fluoberilato de amonio.- $(\text{NH})_4\text{BeF}_4$. - Ambos de estos compuestos se usan en la preparación de berilio metálico.

HIDRURO DE BERILIO.- Cálculos termodinámicos indican que este compuesto podría ser altamente efectivo para el mejoramiento de impulsos específicos Isp, de combustibles para motores de cohetes. El inconveniente es que es muy difícil de producir en forma pura. Todos los esfuerzos realizados para hacer reaccionar directamente a los elementos hidrógeno y oxígeno han sido inútiles. Pequeñas cantidades del compuesto de pureza dudosa se han preparado en el laboratorio usando reactivos organometálicos, por lo que hasta el presente no se han publicado descripciones definitivas.

COMPUESTOS INTERMETÁLICOS DE BERILIO.- Durante los años de 1950 se prepararon una serie de compuestos intermetálicos de berilio y elementos metálicos de transición. Investigaciones al respecto originaron la creciente demanda impuesta a los materiales estructurales usados para soportar altas temperaturas en el equipo usado para exploración del espacio. La evaluación de las propiedades de compuestos tales como beriluros de niobio, tántalo y zirconio han demostrado que retienen su resistencia a la oxidación a temperaturas de $2700\text{-}2900^\circ\text{F}$ y que tienen módulos de ruptura arriba de $95,000$ psi a una temperatura de 2300°F .

Los de los compuestos, FluorBe_2 y FluorBe_3 , son desde 1961 = comercialmente utilizables en cantidades experimentales; estos compuestos están sufriendo evaluación.

Los beriluros se preparan por reacción estequiométrica = de berilio y el otro metal a temperaturas entre $1100-1400^\circ\text{C}$. Después el compuesto se pulveriza y sirve como materia prima para su maquinación.

NITRATO DE BERILIO. - $\text{Be}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. El nitrato tiene p.f. de 60°C ; = p.eb. de $100-200^\circ\text{C}$ (desc) y se produce comercialmente disolviendo óxido de berilio en ácido nítrico conc. y cristalizando el nitrato de la solución. La reacción se efectúa en un tanque de vidrio con chaqueta de vapor. El 50% de ácido se usa al empezar; después que el óxido se disuelve la solución se coloca en un envase ácido resistente y se enfría a baja temperatura. Los cristales formados se centrifugan y se empaican en botellas de vidrio. Los cristales son delicuescentes y tiene olor fuerte a pentóxido de nitrógeno. = Los de uso comercial contienen cerca de 92% de $\text{Be}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, el residuo es de humedad y ácido nítrico. No hay nitratos de berilio básicos de composición definida. El nitrato de berilio es un compuesto inestable y se descompone fácilmente en óxido de berilio y gases nitrosos con poco calor. Esta propiedad lo hace especialmente apropiado para introducir óxido de berilio a los materiales usados en tapas incandescentes.

NITRURO DE BERILIO. - Be_3N_2 . Este compuesto es rápidamente formado por reacción de berilio metálico finamente dividido con gas nitrógeno puro ó amoníaco a 900°C ó más. El compuesto se ha usado en cantidades pequeñas para preparar isótopos radioactivos de carbono 14; cuando el nitruro de berilio está sujeto a radiación en un o =

reactor nuclear, una parte de nitrógeno se convierte a carbono 14. No se conocen otros usos para este compuesto.

ÓXIDO DE BERILIO.- El óxido de berilio ha sido un material usado en cerámica e ingeniería electrónica por muchos años debido a su combinación de propiedades únicas (extremada conductividad térmica unida a su extremada resistividad eléctrica, comparable a la del aluminio puro, y buenas propiedades nucleares). Como el metal berilio, el óxido tiene una baja sección de captura de neutrones, combinada con una excelente capacidad moderadora, y como es un óxido, puede usarse en reactores nucleares para operar a temperaturas considerablemente encima de los permitidos al metal berilio. Desafortunadamente, estas propiedades estuvieron sin utilizar hasta 1950- debido a que no había un método fácil de fabricación, hasta que se descubrió un nuevo tipo de óxido de berilio altamente puro que probó los valores óptimos para las propiedades físicas, y también puede fabricarse a bajo costo, por un proceso de fabricación de cerámica común.

Los grados técnicos de óxido de berilio como producto intermedio en la producción de metal berilio y aleaciones berilio-cobre, contienen mayor cantidad de impurezas de sodio, calcio, sales de aluminio, y cantidades apreciables de fierro, magnesio, litio, etc. Aunque estas impurezas son aceptadas cuando el óxido se usa como intermediario metalúrgico, se prefiere usar el grado técnico para la producción de partes de cerámica de alta calidad para aplicaciones nucleares o electrónicas.

Hay muchas técnicas de laboratorio que pueden usarse para preparar pequeñas cantidades de óxido libre de impurezas, - -

pero sólo los se han probado a escala industrial, . La más antigua de estos dos, grado técnico, es la siguiente: hidróxido de berilio se redisuelve en ácido sulfúrico y se filtra; al filtrado se evapora y enfría para cristalizar sulfato de berilio de alta pureza.- La sal se coloca al fuego a 900°C , de esta manera se forma óxido de alta pureza y es excelente para uso en procesos de fabricación de cerámica.

En el otro proceso comercial, el berilio grado técnico se redisuelve en ácido sulfúrico, se filtra, y se agregan agentes-quelantes orgánicos. La solución clara se trata con hidróxido de amonio para precipitar el hidróxido de berilio de alta pureza. Este hidróxido se calcina y así se forma el óxido de berilio puro.

SULFATO DE BERILIO.- $\text{BeSO}_4\cdot 4\text{H}_2\text{O}$.- El sulfato forma cristales tetragonales pequeños, bien definidos, que pueden purificarse, lavar se y separarse fácilmente. Estos cristales pierden toda el agua de cristalización cuando se calienta a 400°C . Empieza a descomponerse en óxido de berilio y trióxido de azufre a $550\text{-}600^{\circ}\text{C}$. A esta temperatura la descomposición es muy lenta; en la práctica, la velocidad de descomposición se acelera calentando la sal a 1000°C ó más.

ALEACIONES DE BERILIO.

Son combinaciones de berilio y uno ó más metales. Las aleaciones comercialmente importantes de berilio son aquellas endurecidas por precipitación. Aunque el berilio tiene alguna solubilidad en cobre, oro, níquel, cobalto, platino, paladio y fierro, y aleaciones endurecidas por precipitación en algún grado de esos sistemas, la aleación cobre-berilio-cobalto (ó níquel), es la única usada hasta el presente.

Los tipos más comunes de aleación se presentan en sistemas de berilio que están basados en la formación de compuestos estables con pequeña solubilidad. De cualquier modo, los descubrimientos recientes en aleaciones dispersadas en fase de endurecimiento, como también los compuestos intermetálicos, para uso como materiales metálicos ligeros para elevada temperatura, tienen abierto un gran potencial de usos en esta área.

ALEACIONES BERILIO-COBRE.- Las principales aleaciones de este grupo son las del tipo alta energía: alto berilio (1.60-2.15% Be, 0.25-0.35% Co, y 2.0-2.85% Be, 0.35-0.65% Co), y grupo bajo berilio (0.25-0.60% Be, 1.40-2.50% Co, y 0.55-0.70% Be, 2.35-2.60% Co)

La dureza debida al envejecimiento de las aleaciones Be-Cu ofrece un amplio rango de propiedades, debido a que son extremadamente dúctiles y trabajables en condiciones de templado, y muy fuertes y duras después del tratamiento de precipitación. También tienen características inherentes de conductividad térmica y eléctrica substancial y buena resistencia a la corrosión y al uso, como también a los cambios dimensionales y bajo cargas cíclicas.

Las aleaciones berilio-cobre principales son producidas por una reducción directa del óxido de berilio con carbón en presencia de cobre en un horno. Debido a que el carburo de berilio se forma rápidamente con alto contenido de berilio, la aleación madre está basada en un 4.0-4.25% de Be en cobre. Esta aleación se vuelve a fundir con cobre adicional y otros elementos para formar aleaciones comerciales.

Las aleaciones berilio-cobre pueden fabricarse por varias técnicas industriales para producir tiras, hojas, barras, alambres y forjas. Pueden trabajarse rápidamente y unirse por soldadura. Para templarlo y darle elasticidad a baja temperatura se somete a una temperatura de 1450-1475°F para aleaciones de alto berilio, y 1650-1700°F para bajo berilio y se temple con agua.

Las aleaciones berilio-cobre se usan ampliamente en la industria eléctrica para aplicaciones tales como resortes llevacorrientes y electrodos soldados. También encuentran amplio uso en elementos sensibles de presión y conducción, y como moldes en plásticos moldeables.

ALEACIONES CON NIQUEL Y FIERRO. Después del templado y enfriado, el níquel que contendrá 2% de berilio puede tratarse al calor para devolverle su fuerza de tensión de 260,000 psi, 6-8% de elongación y dureza. Estas aleaciones se usan en pequeñas cantidades como moldes de precisión para bombas de aeronaves, agujas hipodérmicas e instrumentos quirúrgicos.

ALEACIONES CON MAGNESIO Y ALUMINIO./- El principal uso de berilio

en estas aleaciones es como aleante principal para agregar pequeñas porciones a la fundición. Cuando se alea con magnesio en cantidades bajas de 0.005% el berilio reduce la flamabilidad del magnesio y retarda la oxidación del punto de fusión. La adición de 0.1-0.5% de Be al aluminio refina el grano y le da fluidez.

ALMACIONES A BASE DE BERILIO.- Las aleaciones en fase dispersa - - constan de óxidos estables, carburos, nitruros, y compuestos intermetálicos dispersados a través de una ganga de berilio, y tienen la característica de su fuerza a elevada temperatura. La adición de - 2% de BeO dobla la resistencia del berilio a 1200°F, (19,000 psi - vs. 10,000 psi), y 1-2% de dispersión intermetálica aumenta las propiedades metálicas (tensión, compresión y fuerza de ruptura) a 1350 1650°F.

COMPUESTOS INTERMETALICOS.- Para aplicaciones a alta temperatura - se han descubierto materiales de alta fuerza-. Los compuestos intermetálicos del berilio y ciertos elementos de transición tiene propiedades de resistencia a la oxidación a 2900°F, muy alta conductividad térmica y calor específico, altos módulos y fuerza mecánica, y expansión térmica compatible con aleaciones de alta temperatura.

TECNICAS ANALITICAS

El análisis cuantitativo para berilio puede dividirse en aquellos métodos usados para el ensayo de macrocantidades y aquellos usados para el ensayo de microcantidades ó trazas.

Frecuentemente es necesario remover sustancias interferentes de una muestra de berilio. Numerosos métodos son utilizables. El uso de agentes acomplejantes ó quelantes es muy conocido, metales como cobre, níquel, fierro, calcio, pero no berilio, son quelatados por EDTA a pH de 5.5, consecuentemente, el berilio puede precipitarse como hidróxido, como fosfato de berilio y amonio, ó como una de muchas sales orgánicas; en casos muy específicos, como la separación de exceso de cobre, un exceso de hidróxido de amonio disuelve al cobre como un ión complejo, considerando que el hidróxido de berilio queda insoluble.

La precipitación selectiva de elementos extraños frecuentemente utiliza 8 hidroxiquinolína; a pH adecuado, en buffer medio los quinolatos de muchos metales son insolubles, mientras que el berilio queda en solución.

Los métodos de intercambio iónicos, especialmente en combinación con agentes acomplejantes encuentran mucho uso para la separación del berilio; el berilio absorbido sobre intercambiador catiónico orgánico es diluido completamente, por ejemplo por ácido sulfosalicílico a pH adecuado mientras el calcio y cobre quedarán en el intercambiador catiónico. A pH de 3.5, EDTA, convierte muchos metales a complejos aniónicos, mientras el berilio queda catiónico. El paso de la solución EDTA a través de un intercambiador catiónico da como resultado la absorción del berilio, mientras

el complejo aniónico pasa a través.

De solución de ácido clorhídrico concentrado, numerosos cationes son retenidos por una columna de resinas anión-intercambiable donde el berilio pasa a través no absorbido. La solución contraria se observa cuando el berilio y otros cationes en cloruro de litio concentrado son pasados a través de un intercambiador aniónico.

Otros métodos para remover impurezas de berilio analíticamente incluyen extracción de solvente, volatilización, y electrólisis con un cátodo de mercurio.

El análisis de minerales ó gangas involucra fusión con carbonato de sodio seguido por remoción de la sílice. En algunos casos se elimina la sílice a la vez por fusión de berilio con fluoruro de sodio, seguido de ácido sulfúrico fumante para remover el fluor.

Datos más detallados de las técnicas analíticas para la separación y determinación de berilio en diversos materiales se dan a continuación.

DETERMINACION DE BERILIO.

1.- Determinación gravimétrica de berilio como óxido.

El berilio en ausencia de sustancias interferentes se determina como óxido de acuerdo a la siguiente reacción:



PROCEDIMIENTO: La solución que contiene berilio se calienta a 60°C y se hace pasar una corriente ligera de aire cargado con vapores de amoníaco a través de la solución; la solución enfriada se filtra y se lava 4 veces con agua conteniendo 1% de acetato de amonio; el papel filtro y el precipitado se ponen en un crisol de porcelana seco y se calcinan hasta peso constante.

2.- Determinación fluorométrica de berilio.

Esta determinación es útil para la determinación en minerales ó gangas:

PROCEDIMIENTO "A".- La muestra que contiene berilio se funde con carbonato de sodio y bórax; el fundido se disuelve en ácido clorhídrico, se agrega citrato de sodio y quinizarina y se neutraliza la solución con hidróxido de sodio; se determina la fluorescencia por comparación con un estandar.

PROCEDIMIENTO "B".- Se descompone 0.1 gr de muestra por tratamiento con ácido nítrico, ácido sulfúrico y ácido fluorhídrico; el residuo seco se funde con 2 gr. de una mezcla de carbonato de sodio y bórax (3:1); el fundido se disuelve en 10 ml. de ácido sulfúrico (1:1) y la solución se diluye a 100 ó 250 ml. Una alícuota de 1.2ml se trata con 2 ml. de una solución formadora de complejos (1 mg. de

sulfato de potasio, 2 gr. de ácido ascórbico, 2.5 gr. de ácido cítrico y 5 gr. de EDTA en 100 ml. con algunas gotas de solución de hidróxido de sodio (si es necesario), para disolver el EDTA completamente, y, si están presentes más de 3 mg. de aluminio ó magnesio, con 1 ml. de EDTA al 5%, luego se neutraliza con hidróxido de sodio al 5% al vire del papel rojo congo; la solución se trata con 1 ml. de solución buffer (28.6 gr. ácido bórico y 96 gr. de hidróxido de sodio en 1 litro), y 1 ml. de solución etanólica al 0.02% de morina y diluido a 10 ml.; después de 5 min. se mide la fluorescencia y se relaciona a una escala de estándares.

3.- Determinación espectrográfica.

Este método es útil para determinar cantidades pequeñas de berilio (0.25 microgramos), tal como el presente en materiales biológicos.

El procedimiento consiste en quemar la muestra con ácido sulfúrico, ácido nítrico y ácido perclórico, aislando el berilio como el fosfato y disolviendo el precipitado de fosfato en una solución, buffer ácida. Una porción alícuota de la solución, es usada para impregnar una barra de grafito que se usa como el electrodo positivo menor en el espectrógrafo. Además, investigaciones recientes han mostrado que se puede obtener mayor sensibilidad si la barra impregnada se usa como el electrodo negativo menor del arco. El electrodo positivo mayor consiste de una barra no impregnada de forma y tamaño similar. Este método es sensible a 0.001 microgramos de berilio en el arco.

SEPARACION DE BERILIO DE OTROS ELEMENTOS

Hasta el presente no hay métodos directos que separen el berilio de la mayoría de los elementos en un solo paso. Para la mayoría de los materiales se requiere comunmente una combinación de separaciones.

A.- METODOS DE PRECIPITACION

1.- Precipitación con amoniaco en presencia de mercaptoacetato seguida por fusión de NaOH del precipitado:

Este método tiene su principal aplicación en la separa---ción del berilio de materiales inorgánicos complejos especialmente los de alta cantidad de fierro. Los resultados cotenidos se encuentran en la siguiente tabla, donde se muestran las cantidades reco--bradas en rocas de silicatos.

TABLA No. 3

Determinación de berilio con morina después de la separación por precipitación con amoniaco en presencia de mercaptoacetato seguida por doble fusión con NaOH.

Contenido de la solución: 48 mg. Al_2O_3 , 38 mg. Fe_2O_3 , 25 mg. MgO , = 25 mg. CaO , 0.6 mg. MnO , 3 mg. TiO_2 , y 1.2 mg. P_2O_5 .

Está presente (ppm)	Se encontró (ppm)		
	1a.fusión	2a.fusión	3a.fusión.
0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	0.3	0.1	0.4
0.5	-	-	0.45
1.0	0.75	0.2	0.95
1.0	-	-	1.0
2.0	1.35	0.4	1.75

TABLA No. 4

Determinación de berilio en rocas de silicatos

	está presente (ppm)	se encontró (ppm)
granito 0.006 Sc	3.5	3
granito 0.2	3.5	3
diabase I	5.1	4.8, 5.0
diabase II	5.8	5.6
diabase III	9.8	8.9

2.- Con cupferrón.

La precipitación con cupferrón en medio ácido mineral - (HCl 1-2 N) separa Fe (III), Ti, Zr, Sn (IV), Vanadio (V), y algunos otros elementos.

3.- Con 8 hidroxiquinolina.

Muchos metales como Fe (III), Al, Cu, Zn y Zr, pueden precipitarse con este reactivo a partir de una solución ácido acético-acetato.

4.- Miscélfnea.

Grandes cantidades de Al y Ti, pueden separarse saturando una solución acuosa que contenga cloruro de amonio (4 gr/75 ml) con ácido clorhídrico gaseoso a 0°C. Estos metales son precipitados como $AlCl_3 \cdot 6H_2O$, y $(NH_4)_2TiCl_6$, de donde el berilio permanece en solución, ya que hay poca tendencia del berilio a ser coprecipitado. Así Fisher y Wernet recobraron 60 microgramos de óxido de berilio cuando aplicaron esta separación a una mezcla que contenía 3 gr. de aluminio y 6.18 gr. de óxido de titanio. Aproximadamente 1 mg. de aluminio y 1.5 mg. de titanio permanecen en 100 ml. de solución siguiendo esta precipitación. El berilio en el filtrado puede recobrase por precipitación con amoníaco, y éste se funde con NaOH.

El berilio puede separarse de calcio y magnesio por precipitación como fosfato a pH 4 si el fosfato de aluminio ó el fosfato férrico se usa como colector. Esta separación es aplicada en el aislamiento de berilio de biomuestras.

La separación de berilio de fosfatos puede efectuarse por precipitación del último con ión bismuto en ácido nítrico 0.5 N, removiéndose enseguida el exceso de bismuto con ácido sulfúrico.

Grandes cantidades de calcio pueden removerse por precipitación del sulfato. Esta precipitación es muy útil cuando el calcio está acompañado de mucho fosfato (ceniza de hueso)

B.- METODOS DE EXTRACCION.

La extracción de cupferratos y 8 hidroxiquinolína se trató antes. La mayoría de fierro puede removerse por extracción de cloruro férrico de ácido clorhídrico con éter etílico ó isopropílico.

1.- Extracción con acetilacetato.

La separación de acetilacetato de berilio con benceno a pH 4-5 provee una separación de berilio de tierras alcalinas y fosfatos, pero no de aluminio ó ión férrico. El tiempo para mantener el equilibrio depende de los aniones de la solución. Con 0.1 gr. de fosfato se necesitan alrededor de 15 min. El berilio puede transferirse de la fase del benceno al agua con ácido clorhídrico. La pequeña cantidad de acetilacetona que se pone en la fase acuosa interfiere en el método de la morina; removiéndolo por evaporación de la solución a sequedad, calentando arriba de 600°C y disolviendo el residuo en agua caliente.

2.- Extracción del butirato.

A pH 7 en presencia de etilendiamintetracetato, el cloruro extrae el butirato de berilio pero no extrae butiratos férrico

y de aluminio.

C.- OTROS METODOS.

La electrólisis con un cátodo de mercurio es útil para la eliminación de muchos metales interferentes, pero puede combinarse con otras separaciones cuando los metales de tierras alcalinas (Mg, Mn, Ti, etc.), están presentes; el cobre puede removerse por electrólisis con un cátodo de platino.

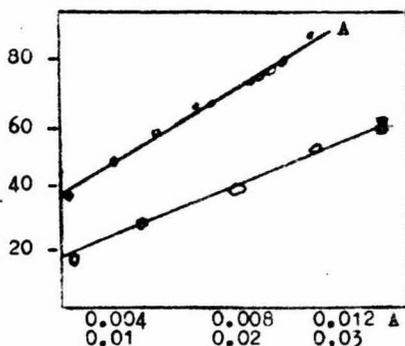
D.- METODOS FLUORIMETRICOS.

morina como reactivo.

En solución de hidróxido de sodio, morina, un tetrahidroxiflavonol, da un compuesto con berilio el cual muestra una fluorescencia amarillo verdosa. La fluorescencia varía directamente con la concentración de berilio presente para un mínimo de 0.5 ppm. de berilio en solución (fig. No. 1).

FIGURA No. 1

Curva estándar para la determinación fluorofotométrica de berilio con morina para mostrar la sensibilidad y reproducibilidad (fluorofotómetro Coleman, filtros B-1 y PC-1); soluciones 0.08 M en NaOH y 0.00025% en morina.



soluciones especiales:

hidróxido de sodio 1.0 M

tetracido etilendiamino tetracetato al 10%

estranio de sodio, 1% $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ en hidróxido de sodio 1 N. Esta solución se prepara de un día a otro.

morina 0.05% en alcohol etílico ó acetona; esta solución es estable por meses.

Solución de berilio estandar al 0.0005% Be. (Disolver 0.0246 gr. de sulfato de bario tetrahidratado secado al aire (prueba de pureza) en agua, agregar 1 ml. de ácido clorhídrico concentrado y diluir a 250 ml. con agua.)

La solución standard también puede prepararse a partir de óxido de berilio puro por fusión con piro-sulfato de potasio y disolviendo el fundido en ácido sulfúrico 0.1 N.

PROCEDIMIENTO:

Transferir la solución (0.1-1% Be) a un frasco volumétrico de 25 ml. neutralizar el ácido libre con hidróxido de sodio y agregar un exceso de hidróxido de sodio 1.0 M, si se encuentran presentes otros metales como aluminio ó plomo que producen precipitados solubles en exceso de hidróxido de sodio, agregar NaOH para dar una solución clara. Si está presente cinc se agrega 2 ml. de solución de cianuro de potasio al 5%; y agregar 0.50 ml. de solución de etilendiaminotetracetato de sodio, 1 ml. de solución standard, y 0.2 ml. de solución de morina; diluir al volumen y medir la fluorescencia con $365 \text{ m}\mu$ de excitación; usar un filtro secundario que absorba abajo de $525 \text{ m}\mu$; al mismo tiempo obtener la lectura de uno ó mas estandars y de un blanco; los estandars tendrán aproximadamente la misma concentración de sal como la solución de la muestra si ésta es mayor de 0.3 N.

2.- METODOS COLORIMETRICOS.

Las reacciones coloridas del berilio en solución acuosa, son de dos tipos. En uno el pH de la solución se ajusta a un valor que causará la precipitación de hidróxido de berilio, el cual absorbe el reactivo con un cambio de color, éste es formación de una laca.

El otro tipo implica reacción entre el colorante y el berilato, la alcalinidad es bastante mayor para disolver el hidróxido de berilio; la naturaleza de los productos coloridos no es cierta, pero esta reacción es específica porque el aluminio no reacciona en medio básico fuerte.

Una clase diferente de métodos hacen uso de la extracción de un quelato de berilio colorido por un solvente orgánico inmiscible. Así, el 8 hidroxiquinaldinato de berilio puede ser extraído con cloroformo para dar una solución amarillo pálido que sirve tanto para determinación absorptiométrica como fluorimétrica. El inconveniente de estos métodos es que muchos metales interfieren.

1.- P-nitrobencenazo-orcinol como reactivo.

Este compuesto se aplica en la determinación fotométrica de aluminio, en aleaciones, y en minerales de berilio; el colorante es amarillo pálido en medio básico, en presencia de berilio el color cambia a café rojizo; el color desarrollado muestra poca tendencia a extinguirse.

PROCEDIMIENTO "A":

Transferir la solución casi neutra de berilio (volumen aproximado de 10 ml. que contenga 5-20 del elemento), llevar a un frasco volumétrico de 25 ml. agregar 2.7 ml. de solución de hidróxi

de sodio, 5 ml. de solución de ácido bórico 0.64 M y 6 ml. exactamente de solución colorante (preparada por agitación mecánica durante algunas horas de 0.025 gr. de p-nitrobenzenazo-orcinol con = 100 ml. de hidróxido de sodio 0.1 N, y después filtrada, llevar a la marca con agua, mezclar y leer la transmitancia a $525\text{ m}\mu$ usando una celda de 2 cm. (si hay mucho aluminio presente se requiere más hidróxido de sodio).

PROCEDIMIENTO "B".

A 0.06-1.1 mg. de berilio en 35 ml. de solución, con no más de 5 mg. de magnesio, 20 mg. de calcio, 10 mg. de fierro y 35 mg. de aluminio, agregar 5 ml. de solución de Verseno T (1 volumen de una solución al 55% diluida con tres volúmenes de agua); ajustar el pH a 5.5 y después de 5 min. agregar 10 ml. de buffer (17.8 gr. de citrato de sodio dihidratado, 8.5 gr. de bórax y 14.4 gr. de hidróxido de sodio en 100 ml.). Después de 5 min. agregar exactamente 10 ml. de p-nitrobenzenazo-orcinol y diluir a 100 ml.; determinar la transmitancia con un blanco a $515\text{ m}\mu$ con celda de 2 cm.

2.- Quinalizarina como reactivo.

Este reactivo dá un color azul con berilio en solución de hidróxido de sodio. En ausencia de berilio el colorante tiene color violeta en medio básico. El compuesto colorido se encuentra en la relación molar 2:1 quinalizarina-berilio; el método consiste en el tratamiento de la solución alcalina de la muestra con un exceso suficiente de reactivo para dar un color violeta cuyo matiz debe ser aparejado con una serie de estándares ó por titulación complejométrica.

3.- 8 hidroxiquinaldina como reactivo.

El berilio puede ser determinado con este reactivo por =

precipitación a pH 7.5-8-5 seguido por extracción con cloroformo = del quelato y midiendo la absorbancia del extracto a $380 m\mu$.

PROCEDIMIENTO:

A aproximadamente 35 ml. de solución de la muestra ligeramente ácida que contenga menos de 30 microgramos de berilio (menos= de 3 microgramos para el método fluorimétrico), agregar 5 ml. de = cloruro de amonio al 10% y 3 ml. de solución de 8 hidroxiquinaldina (disolver 2 gr. de reactivo en 4 ml. de ácido acético glacial y diluir a 200 ml. con agua); ajustar el pH a 8 con amoniaco diluido, transferir la solución a un embudo separador, diluir a 50 ml., repo= sar 30 min., agitar 1 min. con 10 ml. de cloroformo. Separar, secar con sulfato de sodio anhidro y leer la absorbancia del extracto de cloroformo; a $380 m\mu$, usando un blanco. La absorbancia es propor= cional a la concentración de 30 microgramos de berilio / 10 ml. de = cloroformo; la fluorescencia de la solución disminuye ligeramente = con la exposición a la luz ultra violeta fuerte.

4.- Acetilacetona como reactivo.

Este es un método de absorción ultra violeta; la acetila= cetona de berilio formada en un medio acuoso a pH de 7 puede ser ex traída con cloroformo en el cual se muestra una absorción fuerte a $295 m\mu$ (E de 31,600). El exceso de reactivo se remueve del cloro= formo por agitación con hidróxido de sodio 0.1 N pero hay inconve= niente en que no es posible reducir la absorbancia del blanco abajo de 0.05

Se ha reportado que los elementos siguientes no interfiere= ren cuando se encuentran en cantidades superiores a 1 mg: sodio, po= tasio, calcio, estroncio, bario, manganeso, cinc, plata, plomo, co= bre, cromo, uranio, molibdeno, cerio, fluor, y fósforo.

5.- Otros reactivos.

Hay un gran número de colorantes orgánicos que dan una reacción de color más ó menos sensible con berilio. Los siguientes reactivos incluyen la mayoría de los que han sido usados cuantitativamente:

ácido aurintricarboxílico

eriocromocianina R

ácido etilen diamin tetracético (para prevenir interferencia de Al)

ácido sulfosalísílico

Nafto cromo azurina 2 B y Nafto cromo verde G.

(estos dos reactivos reaccionan con berilio pero no con aluminio, el último reactivo se ha usado para la determinación en biomateriales. El berilio produce un cambio de color de verde a rojo; el pH debe regularse cuidadosamente.

ácido 4-hidroxi antraquinona 2- sulfónico. Da un color rojo con berilio en una solución de pH 7 usando acetato de amonio como buffer; el color alcanzado completa la intensidad en 5 min. y no se extingue por varias horas.

alkanina y naftazarina

disódic-3-(5 cloro 2-hidroxifenilazo)-4,5 dihidroxi -2-7 naftelen disulfonato.

azurol S; para la determinación de 0.2-1 microgramos de Be/ml. torina.

APLICACIONES.

A.- SILICATOS Y ROCAS SILICATOS.

La muestra se descompone con ácido sulfúrico, + ácido fluorhídrico, se hacen las separaciones correspondientes y se aplica el método fluorimétrico de la merina; los constituyentes mayores y menores de las rocas de silicatos no tienen efecto excepto el cromo.

Soluciones especiales:

- ácido mercaptoacético
- solución lavadora (diluir 10 ml. de ácido clorhídrico conc. en 10 ml. de hidróxido de amonio conc. y llevar a un litro con agua); antes de usar agregar 2 ml. de ácido mercaptoacético el cual ha sido previamente neutralizado con amoníaco.
- pirofosfato de sodio
- solución indicadora de naranja de metilo al 0.01%
- solución de hidróxido de sodio al 3%
- solución de cloruro de sodio (esta solución se usa para agregar a los estándares para hacer la solución de igual concentración que la muestra). Disolver 3 gr. de hidróxido de sodio en 50 ml. de agua, - agregar 1 ml. de solución de naranja de metilo y neutralizar con ácido clorhídrico 1:1 haciendo el ajuste final con hidróxido de sodio si es necesario, y diluir a 100 ml. con agua.
- sulfato de aluminio; 0.05 gr. de óxido de aluminio/ml. (disolver 32.6 gr. de $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ en agua conteniendo 2 ml. de ácido sulfúrico 6 N y diluir a 100 ml. filtrar si no está completamente claro; probar la solución para berilio por tratamiento de 0.5 ml. de

hidróxido de sodio y 5 ml. de pirofosfato de sodio, diluir a 20 ml., agregar 0.2 ml. de morina y comparar con una solución similar como blanco. La fluorescencia si la hay sería menor de 0.05 microgramos de berilio en la solución de comparación.

- solución de morina.

- solución estandar de berilio.

PROCEDIMIENTO:

Agregar 2 ml. de ácido sulfúrico y 3ml. de ácido fluorhídrico a 0.25 gr. de una muestra de roca, malla 100 en una cápsula ó crisol, evaporar a sequedad sobre un plato caliente hasta que se esfumen los vapores. Agregar 0.5 ml. H_2SO_4 6 N y unos ml. de agua, evaporar a sequedad hasta que no aparezcan vapores de ácido sulfúrico.

Tratar el residuo con 2 ml. de ácido clorhídrico concentrado y 20 ml. de agua y calentar cerca del punto de ebullición con agitación; cualquier material insoluble se descompondrá en la fusión con hidróxido de sodio; transferir la solución a un vaso chico.

PRECIPITACION CON AMONIACO: Agregar hidróxido de amonio 1:1 a la solución fría hasta que se obtenga un precipitado tenue permanente, disolverlo por calentamiento, luego agregar 2.5 ml. de ácido mercaptocético e hidróxido de amonio 1:1 hasta que se note un leve exceso que se indica por su olor ó por el color de la solución sobre papel rojo de fenol (distinto color rojo); poner la mezcla cerca del punto de ebullición por algunos minutos, filtrar a través de un papel de 9 cm. de diámetro de textura media ó normal, lavar el precipitado con 4 porciones de 5 ml. de solución lavadora caliente y otra vez con agua.

Cuando hay presente mucho fierro en la muestra el precipi-

El lavado puede no estar completamente blanco pero esto no importa. Sacar el papel filtro y dejarlo secar toda la noche; fragmentar el precipitado seco, cuidadosamente, desprendiéndolo del papel con una espátula y transferir a un crisol de níquel.

Cualquier cantidad pequeña de precipitado sobrante en el papel puede no tomarse en cuenta en el caso de rocas básicas con bajo contenido de berilio.

En rocas ácidas se puede recuperar los restos quemando el papel (en platino), en el cual la mayor parte de precipitado se ha removido, para agregar las cenizas al crisol de níquel.

FUSION CON HIDROXIDO DE SODIO: Agregar 0.75 gr. de hidróxido de sodio al crisol de níquel; es conveniente pesar las 5 granallas de hidróxido de sodio rápidamente para estar seguros del peso; calentar suavemente primero al punto de fusión del hidróxido y dejarlo a esta temperatura por algunos minutos; después calentar al rojo medio durante 10 min.; remover el fundido de modo que esté hirviendo tanto que solidifique como una cáscara sobre las paredes del crisol.

Cuando la fusión esté fría, agregar 13 ml. de agua y 2, ó 3 gotas de alcohol etílico para reducir cualquier manganato que pueda estar presente; al cabo de aproximadamente 15-30 min. el hidróxido se ha disuelto; transferir la solución a un frasco pequeño, filtrar a través de un pequeño filtro retentivo (5 cm.), recoger el filtrado en un frasco volumétrico de 50 ml. lavar con pequeñas porciones de agua fría completando de 3 a 9 ml. quemar el papel y su contenido en un crisol de platino y fundir el residuo en un crisol de níquel como antes con 5 granallas de hidróxido de sodio.

Extraer el fundido con agua, filtrar y lavar, coleccionar el

filtrado y sus lavados en un frasco pequeño; agregar 0.1 ml de naranja de metilo y neutralizar con ácido clorhídrico 1:1, combinar la solución neutralizada con la solución en el frasco volumétrico y diluir a la marca con agua.

COMPARACION FLUORIMETRICA: Transferir 20 ml. de la solución mezclada a un vaso de tapón de 1.8 x 15 cm. con un tubo de fondo liso (capacidad ligeramente mayor de 25 ml.), agregar 5 ml. de solución de pirofosfato de sodio (puede ser substituído por etilendiamintetracetato); preparar una serie de estándares poniendo 10 ml. de solución para suministrar la cantidad de aluminio presente en las 2/5 de alícuota de la muestra (en la mayoría de los casos basta considerar que el contenido de aluminio de la roca es 15% para agregar la cantidad de aluminio a los estándares), 10 ml. de hidróxido de sodio, ó un volúmen ligeramente diferente si la cantidad de hidróxido de sodio en la alícuota de la muestra no es exactamente a 0.3 gr.), 5 ml de solución de pirofosfato de sodio y cantidades adecuadas de berilio; para rocas básicas, las series siguientes son adecuadas: 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4 microgramos de berilio.

Agregar 0.20ml. de solución de morina a cada tubo y mezclar por inversión; remover los tapones y comparar la fluorescencia examinando los tubos en la luz del día al lado de un fondo oscuro. Si se desea, el contenido aproximado de berilio de la alícuota puede primero ser obtenido agregando soluciones de berilio estándar al tubo de comparación hasta que la fluorescencia sea igual a un tubo de muestra. Si el contenido de berilio de la muestra es 3 ppm, es suficiente la alícuota de 10 ml.; el volúmen de la solución final será incrementada entonces a 20-25 ml. por dilución con agua. Si se dispone de un fluorofotómetro, la muestra diluída y las solucio-

nes estándar se leen de una sola vez.

B.- BIOMATERIALES.

La materia orgánica puede ser destruida por ignición en platino ó por un ataque de oxidación húmedo; el berilio se no pierde por volatilización aún a 750°C, pero con cuidado se puede poner en solución todo el berilio después de la ignición.

Debido a la poca cantidad de berilio que puede ser determinada, hay poca razón para considerar el uso de cualquier otro reactivo que no sea la morina; el problema en su uso es la aislación del berilio, pero se pueden usar los métodos descritos para la separación de biomateriales; para otras cantidades se siguen los procedimientos de separación:

1.- Remover el calcio como sulfato, precipitación de berilio como fosfato a pH 4.4 con fosfato férrico como colector, se remueve el fierro por electrólisis con un cátodo de mercurio y se precipita el berilio con fosfato de aluminio como colector.

2.- Remover el calcio como sulfato, electrólisis con un cátodo de mercurio para remover fierro y otros metales pesados, y extracción de acetilacetonato de berilio a un pH 4-5 para separar berilio de fósforo, magnesio y calcio residual.

3.- Remover el fosfato como fosfato de bismuto, en ácido nítrico 0.5 M, precipitación del exceso de bismuto como sulfuro, precipitación de berilio a pH 6 con hidróxido férrico como colector, y electrólisis de la solución del precipitado con un cátodo de mercurio.

PROCEDIMIENTO:

Disolver 0.1-1 gr. de Cenizas (berilio a un mínimo de =

0.05 microgramos), en 10 ml. de ácido nítrico concentrado, evaporar casi a sequedad, agregar otra porción de ácido y repetir la evaporación. Neutralizar el exceso de ácido con carbonato de sodio 1.5 M y agregar 1.6 ml. de ácido nítrico concentrado para un volumen de 50ml para que la acidez sea 0.5 N; calentar casi a ebullición y agregar gota a gota nitrato de bismuto 0.1 M (en solución de ácido nítrico-0.5 N), en porciones de 0.5 ml. hasta que se forme un precipitado de 50 mg. de fosfato requiere 6.5 ml. de solución de bismuto.

Filtrar el precipitado y lavar dos veces con porciones de 5 ml. de ácido nítrico caliente 0.3 M, saturar el filtrado con ácido sulfhídrico y filtrar el precipitado, hervir el filtrado 10-20 min. para expeler todo el ácido sulfhídrico, agregar 10 mg. de solución férrica, ajustar el pH a 6-6.3 con amoníaco 4 M y hervir un minuto, colectar el precipitado por filtración y lavar 2 veces con agua caliente; disolver el precipitado en 1 ml. de ácido sulfúrico 4 N caliente y lavar con agua. Evaporar la solución para que los humos expelen cualquier pequeña cantidad de ácido nítrico, agregar 5-8 ml. de agua y hervir para disolver el residuo.

Transferir la solución a una pequeña celda con cátodo de mercurio y electrolizar (cc, 0.3 amp. 6-8 volts), durante 10-15 min., entonces agregar 2 ml. de hidróxido de sodio 1 N y continuar la electrólisis 40 min; escurrir el mercurio cuando la corriente esté pasando y transferir la solución a un frasco volumétrico de 20 ml.; neutralizar con solución de hidróxido de sodio y agregar bastante sulfato de sodio 3 M (calculado a partir del consumo de NaOH), para hacer la concentración final 0.75 M; agregar 2 ml. de la solución de estanito fresca (1% de cloruro estanoico dihidratado en hidróxido de sodio 0.5N), 0.1 ml. de estilendiamintetracetato

de sodio al 20% y 0.5 ml. de solución de morina alcohólica al 0.02%; diluir a la marca y determinar la intensidad de fluorescencia. Hacer un blanco siguiendo el mismo procedimiento, los estándares tendrán la misma composición que la solución de la muestra final.

EXTRACCION CON ACETILACETONA: En este procedimiento alternativo la precipitación de berilio con amoniaco es reemplazada por la extracción con acetilacetona (separación de calcio, magnesio y fosfato).

Antes de remover el sulfuro de bismuto, se agrega 1 ml. (6 más para mucho calcio) de ácido sulfúrico concentrado y evapora los humos. Diluir con 10 ml. de agua, filtrar el sulfato de calcio, lavar y electrolizar la solución (aprox. 25 ml.),. Agregar unas gotas de ácido acético glacial a la solución, seguido por amoniaco concentrado para dar pH 4-5

Transferir la solución a un embudo de separación de 125ml agregar 4 ml. de acetilacetona pura y agitar mecánicamente 5 min.;= agregar 20 ml. de benceno y agitar (15 min), checar el pH de la capa acuosa, si es amarillo (pH 4) agregar amoniaco para alcanzar el pH 4.5 y repetir la extracción con acetilacetona, lavar el embudo con 20 ml. de agua y separar la fase acuosa; agitar el extracto de acetilacetona con 15 ml. de ácido clorhídrico 5 N durante 15 min.

Transferir la capa ácida a una cápsula de platino, evaporar a sequedad y quemar el residuo suavemente para destruir la materia orgánica; agregar 5 ml. de ácido clorhídrico conc., evaporar y neutralizar el residuo con hidróxido de sodio 1 N; después transferir la solución a un frasco volumétrico de 20 ml. agregar suficiente cloruro de sodio (calculado del consumo de hidróxido de sodio),= para hacer una concentración total de 1.5 N; agregar morina y estannito de sodio y medir la fluorescencia.

DETERMINACION DE BERILIO

ANAL. ABS. INDEX 11, 1964

MATERIAL

MÉTODOS

	<u>Espectro gráfico.</u>	<u>Espectrofo métrico.</u>	<u>Fluorimé trico.</u>	<u>Act. de neutrones</u>	<u>C. G.</u>
Aire	2833, 3986 5315				
Tierras alcalinas, CO ₃		5384			
Aluminio y aleaciones		5384			
Materiales biológicos		2708 (Colorim.)			
Agua		2709			
Pulpa de flotación				2980	
Hierro y aceros		155			
Minerales		2518			
Orina			3804		
Impurezas de berilio				2097	
Gases que producen neu- trones en Be.					504
Elementos totales de tierras raras.					5367

DETERMINACION DE BERILIO

ANAL. ABS. INDEX 12,1965

MATERIAL

METODOS

	<u>Fotométrico</u>	<u>Espectrográfico</u>	<u>Gravimétrico</u>	<u>Complejométrico</u>
Aire		5484		
Aleaciones	557			
Berilo			3218	
Materiales biológicos	5484			
Aleaciones de cobre				556
Aleaciones de magnesio		3755		
Agua acerosas		4267		
Gangas		5484		
Muestras salpicadas		1630		

DETERMINACION DE BERILIO

ANAL. ABS. 13,1966 INDEX

MATERIAL

METODOS

	<u>Espectrográfico</u>	<u>Espectrofotométrico</u>	<u>Gama activación</u>	<u>Fotométrico</u>
Aire	2036			
Aleación mg-Al		3425		
Aleación mg-Zn		1180		
Metales			47	
Soluciones de procesos minerales	2661			
Agua natural				1015
Silicatos	5471			
Compuestos de V	2278			

DETERMINACION DE BERILIO

INDEX ANAL. ABS. 14,1967

MATERIAL

METODOS

Espectrofotométrico

Gravimétrico

Aleaciones

5297

Minerales, gangas ó rocas

1894

En presencia de cobre

4563

DETERMINACION DE BERILIO

ANAL. ABS. INDEX 15, 1968

MATERIAL

METODOS

	<u>Fluorimé trico.</u>	<u>Espectrofo tométrico</u>	<u>Volúmetrico</u>	<u>gama irradiación</u>	<u>int. iónico</u>
Minerales	5873				
Gangas ó rocas					
Aire		3616			
En presencia de ácidos libres			5241		
En berilo				4571	
En agua natural					6330

DETERMINACION DE BERILIO

ANAL. ABS. 16. 1969.

MATERIAL

METODOS

Espectrofotico

Fluorimétrico

Minerales, gangas ó rocas

54

Orina

799

DETERMINACION DE BERILIO

ANAL. ABS. INDEX 17,1969

MATERIAL

METODOS

Absorción atómica

Espectrométrico

Espectrográfico

Aure ó orina

1814

Desagües industriales

580

Minerales, gangas ó rocas

3297

DETERMINACION DE BERILIO

ANAL. ABS. INDEX 18, 1970

MATERIAL

METODOS

	<u>Absorción atómica</u>	<u>Int. ión-fotón</u>	<u>C.G.L.</u>	<u>Espectrofotométrico</u>	<u>Espectrográfico</u>
Berilio	3766				
Aleaciones de Mg		56			
Fibras biológicas					
Muestras biológicas					344
Bronces				790	
Minerales de CaSO_4					3136

DETERMINACION DE BERILIO

ANAL. ANS. INDEX 19, 1970

MATERIAL

METODOS

	<u>C. G. L.</u>	<u>ABS. ATOMICA</u>	<u>EXTR-SOLV.</u>	<u>CROM.INT-ION.</u>	<u>ESPECTROGRA FICO</u>	<u>ESPECTRO- FOTOMETRICO</u>
Polvo de aire	4106					
Aleaciones de Al.		2113				
Materiales biológicos			4106			
Erótita				3807		
Silicatos					1169	
Aleaciones de Zn.						2916

DETERMINACION DE BERILIO

ANAL. ABS. INDEX 20, 1971

MATERIAL

METODOS

	<u>Espectrofotométrico</u>	<u>Fluorimétrico</u>	<u>Gravimétrico</u>
Películas de aleaciones	3609		
Materiales biológicos		2547	226
Vidrios			
Oxidos metálicos			226

DETERMINACION DE BERILIO

ANAL. ABS. 20, 1971 - -

MATERIAL

METODOS

	<u>Espectrofotométrico</u>	<u>Fotométrico</u>	<u>C. G. L.</u>	<u>Fluorimétrico</u>
Carbón de piedra	1151			
Desperdicios industria les.		1548		
Silicatos	4039			
Acero	4094			
Orina			1288	
Agua				3032

DETERMINACION DE BERILIO

ANAL. ABS. INDEX 22, 1972

<u>MATERIAL</u>	<u>METODOS</u>				
	<u>Crom. de papel</u>	<u>C. G. L.</u>	<u>Espectrofo t6metro.</u>	<u>Espectro gr6fico.</u>	<u>Abs. At.=</u>
Materiales biol6gicos	244				
Sangre		4195			
Bronce			630		
Oxido de Magnesio				1314	
Minerales; gangas & rocas					2319
Cenizas de plantas				4190	
Abonos				2718	
Aleaciones Be-Cu (como BeO)			2109		

DETERMINACION DE BERILIO

ANAL. ABS. INDEX 23, 1972

MATERIAL

METODOS

	<u>C. G. L.</u>	<u>Espectrográfico</u>	<u>Crom. columna</u>	<u>Abs. atómica</u>	<u>Crom. gases</u>
Aire	4708, 2017				
Aleaciones de Al.		3044, 3762			
Materiales biológicos	4708, 3316				
bronce			3736		
Minerales, gangas y rocas				2162	4 c

DETERMINACION DE BERILIO

Anal. Abs. 24, 1973

MATERIAL

METODOS

	<u>C. G. L.</u>	<u>Gravimétrico</u>	<u>Intercambio iónico</u>	<u>Abs. atómica</u>
Aire	3821			
Aleaciones		3353		
Minerales, gangas y rocas		3354		
En presencia de metales alcalinos			681	
Agua				3143

BIBLIOGRAFIA

Hillebrand, F. W. y Lundell, C.
Applied Inorganic Analysis
2a. ed.
Ed. Wiley & Sons, Inc.
New York (1953)

Wagner, Walter E. y Hill, Clarence
Advanced Analytical Chemistry
Reinhold Publishing Corporation
New York
1956

Kirk - Othner
Encyclopedia de Chemical Technology
Vol. 3

Mc. Graw Hill
Encyclopedia Of Science and Technology
Vol. 2

Analytical Abstracts Index 1964 - 1975