

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

37

EL URANIO Y LAS SERIES TRANSURANICAS

**MONOGRAFIA PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO**

P R E S E N T A

ABELARDO LOSCOS PINO

MEXICO, D. F.

1973

M-165589



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



FACULTAD DE QUIMICA
DEPTO. DE PASANTES Y
EXAMENES PROFESIONALES.

FORMA C

Universidad Nacional Autónoma de México (AUTORIZACION PARA ESCRIBIR DEFINITIVAMENTE EL TEMA REVISADO)

C. Director Gral. de Servicios Escolares
Universidad Nacional Autónoma de México,
Presente.

Me permito comunicar a usted, que el tema de MONOGRAFIA

Titulado: "EL URANIO Y LAS SERIES TRANSURANICAS"

que presenta: EL SR. ABELARDO LOSCOS PINO

Pasante de la Carrera de: INGENIERO QUIMICO

Fué aceptado por el Jurado nombrado para dicho examen, el cual quedó integrado en la siguiente forma:

Presidente Prof.: MANUEL NAVARRETE TEJERO

V o c a l " ANTONIO CAMPERO CELIS

Secretario " FRANCISCO ESPARZA HERRADA

1er. Suplente " : JUAN LARTIGUE GORDILLO

2o. Suplente " : RUBEN ORTEGA CARMONA

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria D.F., a 8 de febrero de 1973

EL JEFE DEL DEPTO. DE PASANTES
Y EXAMENES PROFESIONALES.

QUIM. JULIO TERAN Z.

INDICE

INTRODUCCION	1
I HISTORIA DE LA RADIOACTIVIDAD.	
Descubridor de la radioactividad	2
Aplicación de la radioactividad	3
II RADIACIONES Y REACCIONES ENERGETICAS.	
Diferentes tipos de radiaciones nucleares	5
Fisión	8
Fusión	10
III URANIO Y LAS SERIES RADIOACTIVAS.	
Series radioactivas naturales	12
Elementos transuránicos	18
Transmutación atómica	22
Vida media de elementos radioactivos	26
IV METALURGIA DEL URANIO.	
Depósitos naturales	31
Resumen histórico	32
Tratamiento de la pechblenda	36
Tratamiento de la carnotita	38
BIBLIOGRAFIA	44

INTRODUCCION

Uranio elemento químico que se designa (U), No. atómico 92, peso atómico 238.07, punto de fusión 1150°C, punto de ebullición 3500°C, elemento perteneciente a la serie de los actínidos, los cuales hasta el nivel electrónico 5f se encuentran llenos.

El uranio en la naturaleza, se encuentra formando una mezcla de tres isótopos: U^{234} (0.0057%), U^{235} (0.7204%) y U^{238} (99.2739%), dando un peso atómico de 238.07. Todos los isótopos de uranio son radioactivos, con un tiempo de vida media de 2.33×10^5 años, 7.1×10^8 años, 4.5×10^9 años respectivamente. Otros isótopos, con un tiempo de vida media mucho más corto, son producidos artificialmente.

El U^{235} sometido a fisión con neutrones a lenta velocidad libera una gran cantidad de energía.

El U^{238} absorbe neutrones a lenta velocidad para formar U^{239} , el cual decae a Pu^{239} por la emisión de dos partículas Beta.

Otros isótopos de uranio con un rango de masa de U^{227} a U^{240} son preparados en el laboratorio mediante la utilización de procesos radioactivos.

CAPITULO I

HISTORIA DE LA RADIOACTIVIDAD

1.1 Descubridor de la radioactividad.

El uranio fué descubierto por H. K. Klaproth en el año 1789 en forma de óxido de uranio, dándole después el nombre -- del planeta Urano. En 1896 Henri Becquerel descubrió su radioactividad mientras estudiaba los fenómenos de fosforescencia y fluorescencia. Él notó que las sales de uranio emitían una radiación invisible que era capaz de atravesar delgadas capas de material opaco y afectaban fotográficamente la placa. También descubrió que el aire cercano a la solución de uranio era ---- igualmente ionizado, siendo este un fácil conductor de la electricidad.

En 1892 G. J. Schmidt y madame Curie independientemente observan que radiaciones similares eran emitidas por el torio (Th). Madame Curie y su esposo Pierre Curie descubrieron -- la alta radioactividad de los elementos polonio y radio. Otros elementos radioactivos también fueron separados y en 1902 Ernest Rutherford y Frederick Soddy proponen la teoría de la desintegración radioactiva; rara noticia para el resto del mundo, estos tortuosos años de investigación por unos pocos genios abrieron un revolucionario concepto sobre la materia y la energía dando inicio a lo que sería la era nuclear.

Henri Becquerel no solo descubrió la radioactividad si no también el primero en advertir el peligro que esta representaba para los seres vivos. Un trozo de mineral radioactivo que guardaba accidentalmente en su chaleco le ulceró la piel. En -- igual forma la radioactividad perjudicó la salud de muchos de los primeros investigadores, Marie Curie padeció de severa anemia por destrucción de la médula ósea. Charles Vaillant fué operado en más de treinta ocasiones hasta perder por completo --

sus extremidades superiores.

1.2 Aplicación de la radioactividad.

En Enero de 1939, se supo que dos hombres de ciencia alemanes Otto Hahn y Fritz Strassman, habían logrado la separación del átomo de uranio. A su vez en laboratorios de Estados Unidos científicos norteamericanos hacían estudios sobre la gran cantidad de energía que podía ser liberada por estos átomos, lo cual hacía pensar en una gran reacción en cadena.

El dos de Agosto de 1939, Alberto Einstein envió una carta al presidente Roosevelt donde hablaba de las posibilidades de la bomba atómica; Roosevelt habló con el Comité Consultor sobre Uranio y les dijo que examinaran éstas posibilidades. En Marzo de 1940, fué concluyentemente demostrado por el Comité Consultor sobre Uranio en Estados Unidos que el U^{235} - podía ser fisiónado. Tres meses más tarde los Estados Unidos empezaron un pequeño programa de investigación y en Agosto de 1942 en el distrito de Manhattan el Cuerpo Armado de Ingenieros lanzó un nuevo programa de investigación sobre la bomba atómica en el cual incluía el difícilísimo problema de la separación del U^{235} del U^{238} .

El dos de Diciembre de 1942, Enrico Fermi al frente de un pequeño grupo de científicos, efectuó la primera reacción en cadena, en un reactor encaquetado designado como el CP-I; el cual fué construido en Stagg Field Universidad de Chicago, este reactor fué cargado con grafito, metal de uranio y óxido de uranio.

Este experimento llevado a cabo por Fermi en el reactor CP-I fué suficiente para bautizar esta era, con el nombre de la era atómica; y empezaba a vislumbrarse que la carrera -

por la bomba atómica tomaba una dirección tangible.

Después de la segunda guerra mundial, las grandes posibilidades en el aspecto nuclear fueron enfocadas con intereses en la medicina y principalmente en el aspecto militar.

En la medicina el radio (Ra) producto natural de la -
decaimiento radioactivo del U^{238} elemento fuertemente radioactivo
es usado ampliamente en la terapia del cancer.

Probablemente en un futuro no muy lejano el uso principal del uranio sea en el desarrollo de reactores nucleares, para la industria en general.

CAPITULO II

RADIACIONES Y REACCIONES ENERGETICAS

2.1 Diferentes tipos de radiaciones nucleares.

La radioactividad consiste en esencia en la desinte--
gración espontánea de átomos inestables; estos al desintegrar
se se transmutan, es decir constituyen elementos más estables.

En la naturaleza hay noventa y dos elementos ordena--
dos del uno al noventa y dos; es decir átomos con 1 protón y
1 electrón, como el hidrógeno; hasta el uranio con 92 proto--
nes y 92 electrones. Ahora si tomamos en cuenta sus isótopos;
o sea No. de neutrones en el núcleo vemos que existen 365 com
binaciones : "núclidos". De lo cuales aproximadamente 274 --
son estables, y el resto, en su mayoría átomos pesados, tien--
den a modificar enormemente su estructura.

La ruptura de los núclidos, no es estrepitosa; son mo
dificaciones ligeras mediante las cuales, los núcleos pierden
una pequeña fracción de si mismos, en forma de partículas emi
tidas a grandes velocidades y que se les denomina radiaciones.

En las radiaciones de partículas alfa, podemos apre--
ciar que estas poseen núcleos idénticos a los núcleos de he--
lio (He); núcleos constituidos por 2 protones y 2 neutrones,
los cuales son relativamente pesados. Al emitirlos el elemen--
to se trasmuta es decir sufre un cambio estructural mediante
el cual queda convertido inmediatamente en otro elemento.

El uranio (No. atómico 92), se vuelve torio (No. ató--
mico 90), el torio se vuelve radio (No. atómico 88); hasta --
concluir en plomo (No. atómico 82) y en talio (No. atómico --
81).

La pérdida de partículas del núcleo, tiene un efecto revolucionario sobre el átomo radioactivo; el uranio como pudimos apreciar cesa instantaneamente de serlo para quedar con vertido en otro elemento.

La diferencia entre los materiales básicos del universo, reside precisamente en la cantidad de protones que estos poseen.

En el caso de las radiaciones de partículas beta, podemos apreciar que estas son simplemente electrones; los cuales sufrieron la siguiente transformación: un neutrón del núcleo se subdivide en un protón y un electrón. Se expelle el electrón mientras que el protón permanece en el núcleo. Al tener un protón más el átomo, éste pasa inmediatamente a convertirse en otro elemento de número atómico superior. Esto lo podemos visualizar en el torio (No. atómico 90), al emitir una partícula beta pasa a convertirse en protactinio (No. atómico 91).

Otro tipo de radiación serían los rayos gamma; estos no tienen carga, no tienen masa, no son partículas, sino radiaciones electromagnéticas; cuya velocidad es la de la luz - (300,000 Kms/seg.), y cuya energía es tremenda; porque sus ondas son ultracortas.

Este es un fenómeno secundario que en general acompaña las desintegraciones alfa y beta, pero no produce transmutación en el elemento.

La velocidad de los haces de las partículas alfa y beta es cercana a la de la luz (300,000 Kms/seg.), pero tienen escasa energía de penetración, estas consumen rápidamente su impulso al chocar contra los primeros átomos y desalojar algunos electrones.

Las partículas alfa agotan toda su energía, con solo

atravesar unos centímetros de aire. Estas no pueden perforar una placa de plomo de 25 milésimas de milímetro, o un espesor triple al de un tejido vivo.

Sin embargo cada partícula alfa es capaz de desalojar electrones de un millon de átomos.

Los rayos beta son más penetrantes que los rayos alfa, pero tampoco pueden introducirse mucho en los tejidos vivos.

Aunque las sustancias que emiten rayos alfa y beta so lo pueden lacerar superficialmente la piel, su peligro real reside en que al inhalarse o ingerirse repetidamente, su escaso poder de penetración acumula poco a poco sus estragos, sobre el revestimiento de las paredes del estomago o los pulmones.

Los rayos gamma si son letales. También los son los neutrones acelerados, cuyo alcance es prácticamente ilimitado. Estos pueden atravesar sin ningun problema el cuerpo humano o en el caso de rayos gamma de alta energía perforar una placa de plomo de 30 centímetros de espesor.

En general se puede decir que las células más jóvenes, y aquellas que se multiplican con mayor rapidez, son las más sensibles a las radiaciones. Por lógica los organos que producen la sangre; la cual se renueva rápidamente, son los más -- sensibles a las radiaciones.

Actualmente se han perfeccionado las medidas de seguridad contra las contaminaciones accidentales. Es obvio que -- ningún material radioactivo pueda manipularse con las manos -- desnudas.

Si la sustancia emite unicamente rayos alfa y beta es suficiente la utilización de simples guantes especiales; pero aun queda el riesgo de inhalar el polvo radioactivo que flota en el aire. Para impedirlo se utilizan cajas herméticas cerra

das, con una ventana de vidrio de plomo y cesio y un par de guantes que salen de unos orificios en la pared de la cámara; en los cuales introduce sus brazos el operador.

Las sustancias que emiten rayos gamma, exigen escudos protectores de plomo y hormigón y solo pueden manipularse sin riesgo por control remoto.

El personal que trabaja con materiales radioactivos - utiliza ropas protectoras, guantes, botas y hasta máscaras, - las cuales deja en el laboratorio al retirarse.

2.2 Fisión.

El concepto de fisión cuando se aplica a fenómenos nucleares, es el proceso de transmutación mediante el cual un elemento fisionable o desintegrable se subdivide en otros dos elementos.

La fisión ocurre cuando un núcleo atómico es golpeado con un neutrón libre, el cual posee la cantidad de energía adecuada, o la aceleración requerida para ser capturado o incorporado al núcleo.

El núcleo responde con una separación violenta formando otros 2 nuevos elementos, ahora como fragmentos desintegrados; los cuales tienen un rango en masa que va desde 72 hasta alrededor de 160.

La combinación en masa de productos fisionados o desintegrados, es menor que la masa del átomo original; la diferencia representa la masa que ha sido convertida en energía calorífica, en conformidad con la ley de Einstein.

La energía nuclear comúnmente llamada energía atómica, es una derivación de la reacción de fisión.

Alberto Einstein estableció la estrecha relación en-

tre masa y energía; la cual es fundamental, y se sujeta estrictamente a la energía nuclear.

Un gramo de materia equivale a 25 millones de kilowatt - Hr. de energía.

En la fisión del uranio solamente alrededor de 0.1% de su masa es convertida en energía; y la fisión de todo el átomo de U^{235} podría producir alrededor de 23,000 kilowatts - Hr. ó 1000 kilowatts - día de energía. La conversión de 1000 kilowatts - día de energía es igual a que se hallan desintegrado - 2.70×10^{21} átomos. Por lo tanto 1 gramo de U^{235} consumido por medios nucleares podría producir más calor que 3 toneladas de carbón de hulla de excelente calidad.

Una libra de materia desintegrada podrá producir 0.999 libras de productos desintegrados y 0.001 libra de masa convertida en calor, lo cual equivaldría a más de 10 millones de kilowatts - Hr. de energía.

En adición los productos de la fisión con la energía - producida por la fisión; resulta un promedio de 2.5 neutrones de alta energía que son también puestos en libertad. Este es - uno de los futuros más interesantes de la fisión nuclear y lo único que hace la energía nuclear posible.

Estos neutrones puestos en libertad son capaces de hacer que la fisión sea continua en los procesos y se conoce como reacción en cadena.

Bajo ciertas condiciones la reacción en cadena puede - proceder rápidamente, dando como resultado enormes explosiones; como las producidas por bombas nucleares o atómicas.

Por otro lado la reacción puede ser controlada por materiales que sirvan como absorvedores, o moderadores de los -- neutrones; en esa forma la desintegración es llevada a cabo en un rango de selectividad.

2.3 Fusión.

La fusión ocurre cuando núcleos ligeros, de poco peso; se combinan para constituir núcleos más pesados.

En muchos aspectos el proceso de fusión es completamente opuesto al de fisión. Sin embargo una gran cantidad de energía es también liberada en el proceso de fusión; lo cual es el resultado de la transformación de masa en energía.

La fusión es el proceso básico de la bomba de hidrógeno; y depende de la fusión de dos núcleos de deuterio (H^2), o bien de la fusión de un núcleo de deuterio (H^2), con uno de tritio (H^3), para formar (He^4).

El protio (H^1), se encuentra en la naturaleza en un 99%, mientras que sus isótopos; deuterio (H^2), y tritio (H^3), en solo 1%. Hay 6000 partes de hidrógeno por cada parte de deuterio en la naturaleza, pero no obstante hay suficiente cantidad de deuterio en los océanos, como para suministrar toda la energía requerida en nuestros días y para un uso de cientos de millones de años.

Una explosión nuclear ocurre cuando dos o más masas subcríticas de material fisiónable o desintegrable, son conducidas o llevadas juntas, y retenidas juntas la distancia suficiente como para que el estado supercrítico se desarrolle.

La primera bomba arrojada sobre Hirochima, Japón fué --- construida con U^{235} , y la segunda arrojada en Nagasaki, fué --- construida con plutonio, (No. atómico 94). Cada una de ellas tuvo una detonación que equivaldría aproximadamente a 20,000 toneladas del más eficaz explosivo; teniendo un peso de 10,000 libras.

El arma más sofisticada y destructiva creada por el hombre es el proyecto termonuclear; conocido como la bomba - H o -

bomba de hidrógeno, ya mencionada anteriormente; su energía es creada, mediante la fusión de los núcleos de los isótopos del hidrógeno. Y tanto el calor como la presión desprendidos de la explosión por fisión son utilizados para llevar a cabo la reacción de fusión.

Además de las partículas alfa y beta, que emiten los radioisótopos naturales, los radioisótopos artificiales pueden emitir también una partícula, que tiene la misma masa que el electrón, pero con una carga positiva igual a la del protón. Esta partícula se llama positrón, y puede considerarse como un electrón con una carga positiva igual, pero de signo opuesto a la del electrón.

Se ha visto que la emisión de partículas beta puede tener lugar cuando el núcleo contiene demasiados neutrones para ser estable. Si la relación entre protones y neutrones es la correspondiente al núcleo estable, no hay radioactividad. Si, por el contrario, el núcleo contiene demasiados protones para ser estable, puede convertir uno de sus protones en un neutrón, emitiendo un positrón que, al no poder permanecer en el núcleo, es expulsado.

El átomo conserva el mismo peso atómico, pero el número atómico disminuye por haberse convertido un protón en neutrón.

CAPITULO III

URANIO Y LAS SERIES RADIOACTIVAS

3.1 Series radioactivas naturales.

El uranio es el elemento más pesado que se encuentra en la naturaleza y el único cuyos isótopos naturales son todos radioactivos.

Así el uranio 238, que es el isótopo del uranio más abundante en la naturaleza, tiene en su núcleo 92 protones (número atómico del uranio) y 146 neutrones, siendo su peso atómico, por consiguiente, 238. El uranio 235, que es el isótopo que sigue en cantidad al anterior, tiene 3 neutrones menos en su núcleo.

Estos son los isótopos más comunes del uranio. Ambos son inestables y sus núcleos se desintegran radioactivamente, emitiendo partículas cargadas y dando lugar a otros elementos. Los núcleos de estos nuevos elementos son también radioactivos, es decir, no son estables, y, por ello, vuelven a desintegrarse, convirtiéndose en nuevos elementos. Este proceso continúa hasta que los núcleos de los elementos que se forman es estas desintegraciones radioactivas llegan a ser estables.

Se denomina serie radioactiva al conjunto de elementos formados por la sucesiva desintegración del núcleo que encabeza la serie.

En la naturaleza, existen tres series radioactivas independientes. La más larga, que comienza en el uranio 238, se conoce con el nombre de serie radioactiva natural del uranio-238.

La segunda serie radioactiva tiene por cabeza al uranio 235, que también se encuentra en la naturaleza aunque en menor

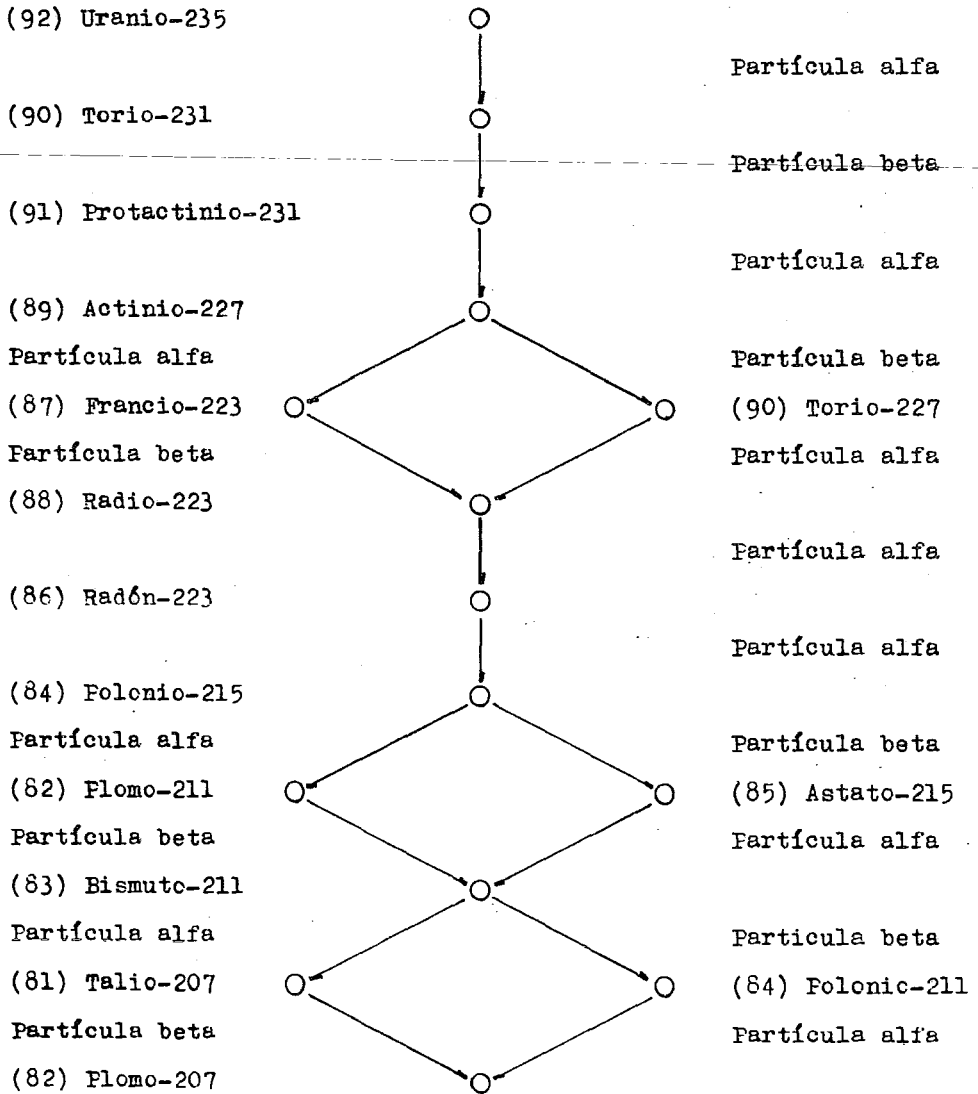
cantidad que el isótopo 238; se la denomina serie del uranio-235. La tercera serie es la del torio-232, elemento natural, de desintegración, como los otros.

Los procesos esquematizados en estas series tienen lugar cuando los núcleos de los elementos que los encabezan pierden - una partícula alfa o una partícula beta, fenómeno que trae consigo el que se altere la carga eléctrica del núcleo primitivo. Cuando éste pierde una partícula beta, la carga del núcleo (y, por lo tanto, el número atómico de ese elemento) se incrementa en una unidad. Si un núcleo emite, por el contrario, una partícula alfa, su número atómico se reduce en dos unidades, y su peso atómico en cuatro.

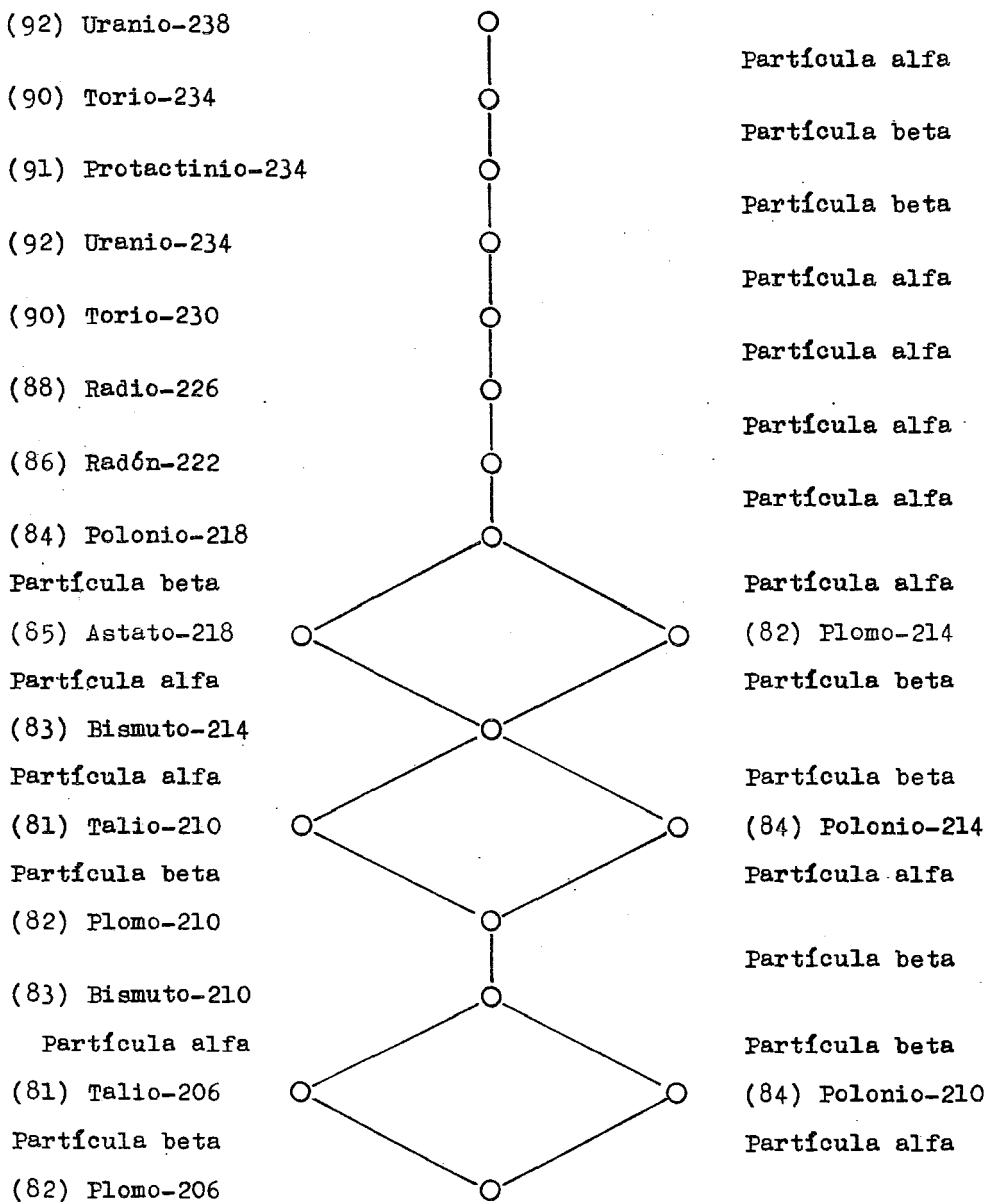
Si el núcleo del átomo recién creado es radioactivo emitirá, a su vez, alguna de estas partículas, transformándose en - el núcleo de otro elemento distinto, el cual, si también es radioactivo, se desintegrará para continuar el proceso de la serie.

Lo más frecuente es que todos los átomos de un determinado isótopo radioactivo emitan partículas alfa o partículas beta, pero también se da el caso de que algunos miembros de las series radioactivas presentan átomos que emiten radiación alfa y otros que emiten radiación beta. Un mismo átomo no puede emitir ambas radiaciones a la vez. En estos casos, la serie no es una simple sucesión de procesos, sino que en algunos puntos se producen ramificaciones. Por ejemplo, en la serie del uranio-235, el actinio-227 se desintegra en francio-223 por pérdida - de una partícula alfa, y en torio-227 al perder una partícula beta. Los dos nuevos elementos así formados vuelven a desintegrarse, transformándose ambos en radio-223; el primero de ellos, emitiendo una partícula beta, y el segundo por pérdida de una partícula alfa.

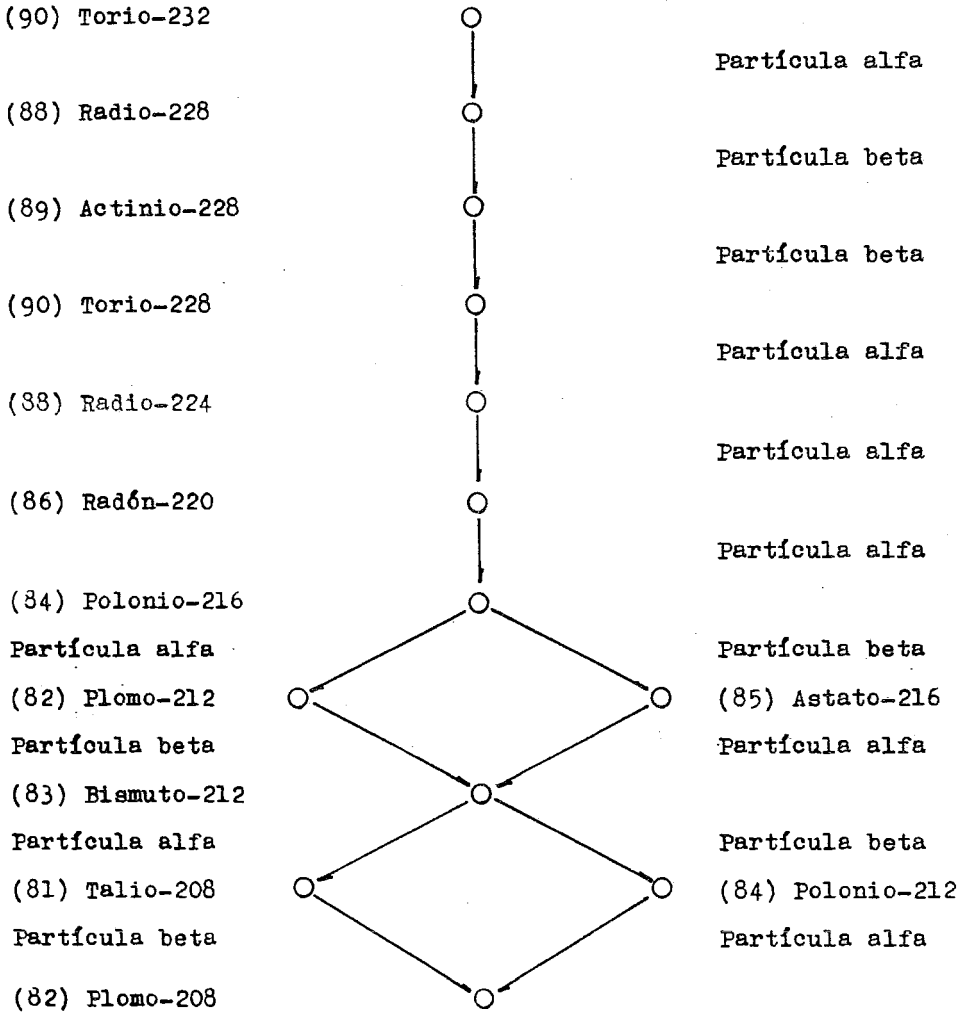
SERIE RADICATIVA NATURAL DEL URANIO-235



SERIE RADIOACTIVA NATURAL DEL URANIO-238



SERIE RADIOACTIVA NATURAL DEL TORIO-232



Es interesante hacer notar cómo todas las series naturales finalizan con isótopos del plomo: plomo-206, plomo-207 y -- plomo-208. Los tres son isótopos estables y, por lo tanto, no se producen ulteriores desintegraciones.

Es, también, muy importante hacer observar que no todos los núcleos de un isótopo radioactivo se desintegra inmediatamente. Por ejemplo, el que todos los núcleos del uranio-238 se desintegren para dar lugar al torio-234, exige muchísimo tiempo; los procesos que se incluyen en la serie requieren, por su parte, un tiempo mayor o menor, según los casos. Si tenemos en cuenta este hecho, podremos entender fácilmente por qué tendrá que trascurrir mucho tiempo antes de que se detecte la presencia del plomo-206.

De hecho, todavía existen considerables cantidades de uranio-238, el cual comenzó a desintegrarse en el principio de los tiempos geológicos.

Del diagrama de la serie radioactiva del uranio-238, -- puede deducirse que si dejáramos desintegrarse durante un espacio de tiempo lo suficientemente grande una cantidad determinada de uranio-238, o cualquier otro de los elementos radioactivos que aparecen en la serie, acabaría por convertirse en una cantidad equivalente de plomo-206, a través de los procesos de desintegración que se indican en el diagrama. El tiempo requerido por cada uno de estos procesos es muy grande, por lo que no es de extrañar que para que la mitad de la cantidad inicial de uranio-238 se convierta en plomo-206 tienen que trascurrir unos mil millones de años.

3.2 Elementos transuránicos.

Después de que fueron descubiertas las tres series ra--

radioactivas naturales, los esfuerzos de los investigadores en este campo se encaminaron a encontrar otras nuevas series radioactivas. En 1940, se obtuvieron artificialmente nuevos elementos, de número atómico superior a 92, a los que se denominó elementos transuránicos. Se han fabricado once elementos más, transuránicos, hasta el número 103 inclusive.

El neptunio (No. Atómico 93) y el plutonio (No. Atómico 94), fueron los primeros en ser aislados. Estos fueron obtenidos por primera vez en el ciclotrón de Lawrence; al igual que el curio (No. atómico 96), el berkelio (No. atómico 97), el californio (No. atómico 98) y el mendelevio (No. atómico 101).

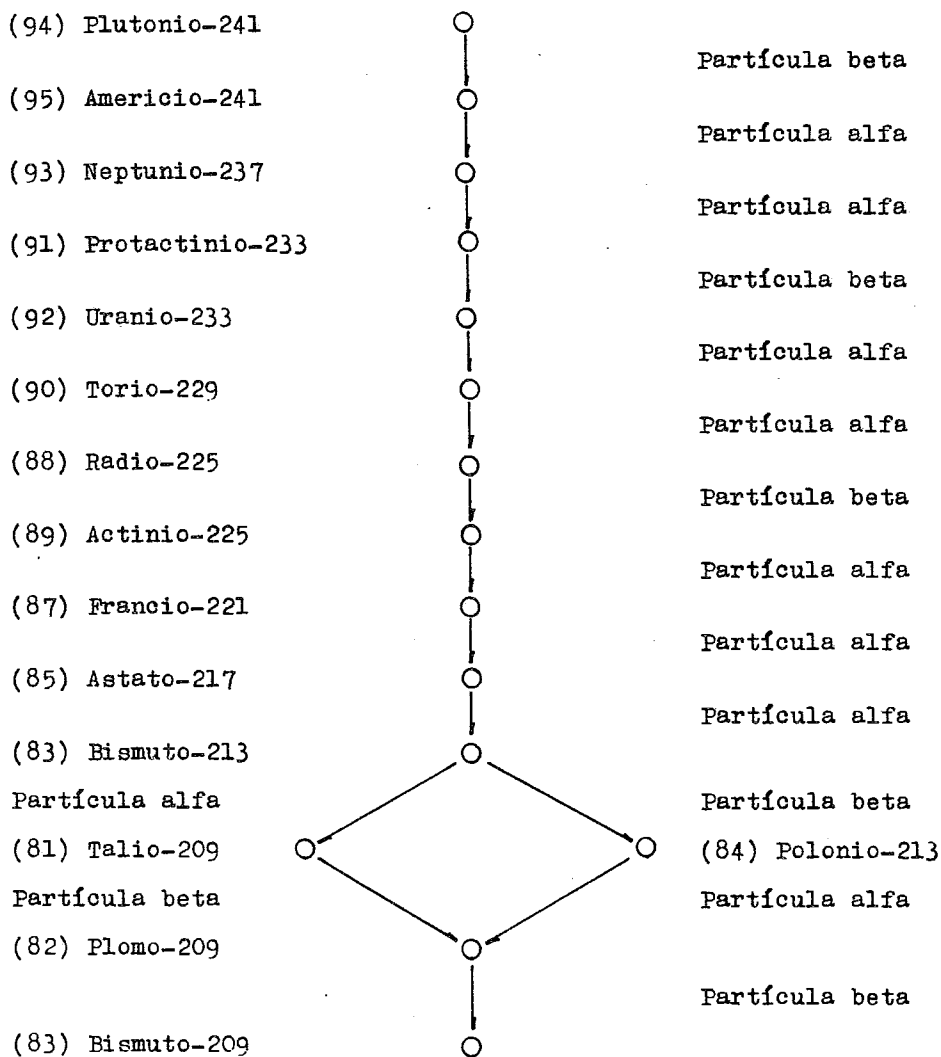
En 1945, continuaron los descubrimientos de nuevos elementos, entre los que se encuentra el americio (No. atómico 95); éste se obtuvo por primera vez en un reactor atómico.

Como los isótopos de estos elementos, que han sido producidos artificialmente, son radioactivos se los denomina radioactivos artificiales.

Pronto se puso de manifiesto la existencia de una cuarta serie radioactiva (la serie radioactiva del neptunio), la cual es artificial, ya que comprende varios elementos transuránicos.

La serie radioactiva del neptunio-237 se llama así porque el neptunio-237 es el isótopo radioactivo más estable de la serie; los procesos que incluye pueden verse esquemáticamente en el diagrama adjunto. Al igual que en las series naturales, la emisión de partículas alfa o partículas beta da origen a la desintegración de los isótopos radioactivos que forman la serie. También aparece una ramificación, en el caso de la desintegración del bismuto-213, ya que algunos de sus átomos emiten radiación alfa transformándose en talio-209, mientras que otros emiten partículas beta, convirtiéndose en polonio-213. El talio-

SERIE RADICATIVA DEL NEPTUNIO



209, por emisión de una partícula beta, y el polonio-213, al emitir radiaciones alfa, se transforman en átomos idénticos de plomo-209; éste se desintegra para formar bismuto-209, que es un isótopo estable y constituye el elemento final de la serie radioactiva del neptunio.

Como ocurre en las series radioactivas naturales, una cantidad determinada de cualquier isótopo de la serie se convertirá, si dejamos transcurrir el tiempo suficiente, en una cantidad equivalente del isótopo estable, bismuto-209.

La mayoría de los isótopos radioactivos naturales aparecen en alguna de las tres series radioactivas. Sólo siete de ellos no pertenecen a ninguna de las tres series. Cuarenta y seis isótopos distintos aparecen entre las tres series, y todos ellos son isótopos de elementos cuyo número atómico está comprendido entre 81 y 92.

Los isótopos radioactivos artificiales no aparecen, por lo general, en estas series. Más de 700 de ellos tienen un número atómico menor de 80 y no pertenecen a ninguna de las series radioactivas.

Los elementos einstenio (No. atómico 99) y fermio (No. atómico 100); respectivamente, fueron descubiertos entre los restos de la explosión de una bomba de hidrógeno; luego se les obtuvo en un ciclotrón de gran potencia.

Los elementos nobelio (No. atómico 102) y laurencio (No. atómico 103); se obtuvieron bombardeando átomos de californio (No. atómico 98), con núcleos relativamente pesados (boro, carbono) acelerados en un aparato especial llamado "hilac" (high intensity lineal accelerator).

El neptunio y su producto de degradación, el plutonio, se obtienen en grandes cantidades en los reactores nucleares. El último de ellos se utilizó en el satélite Transit como fuente de energía; el calor que generaba se convertía en electricidad.

dad mediante un par termoeléctrico.

Los nuevos productos radioactivos artificiales son a -- veces tan eficientes como los naturales (por ejemplo en la lu-- cha contra el cáncer) y mucho más económicos. Son además indis-- pensables en la investigación bioquímica moderna; en efecto, -- sirven para sintetizar moléculas marcadas y averiguar en qué -- punto exacto de las mismas se produce un determinado cambio fi-- siológico.

Así, por ejemplo, puede constituirse una molécula de a-- zúcar, que consta de 12 átomos de carbono, con uno de ellos que sea radioactivo y seguir las vicisitudes, de este último en los distintos procesos de transformación y combustión en los teji-- dos.

Ciertos elementos son asimilados selectivamente por al-- gunos órganos: por ejemplo, el yodo es retenido en su casi tota-- lidad por la glándula tiroides y el fósforo por los huesos. En medicina se utiliza yodo radioactivo para destruir el cáncer de tiroides (aún diseminado) sin recurrir a operaciones, y el fós-- foro radioactivo para irradiar la médula ósea y prolongar la vi-- da de los enfermos de leucemia.

3.3 Transmutación atómica.

Para cambiar la forma isotópica de un átomo, es necesari-- o cambiar la estructura interna de su núcleo. Esto sólo se -- puede conseguir introduciendo partículas en su interior. Exis-- ten cuatro clases de partículas adecuadas a estos fines:

PROTON, partícula con carga positiva que constituye el núcleo del átomo de hidrógeno.

NEUTRON, partícula neutra (sin carga) que posee casi la misma masa que el protón.

DEUTERON, está constituido por un protón unido a un neutrón.

PARTICULA ALFA, dos protones unidos a dos neutrones; posee doble carga positiva y su masa es cuatro veces la de un protón.

El uso de partículas cargadas positivamente, entraña -- una dificultad, ya que el núcleo del átomo también tiene carga positiva, y, en consecuencia, para que entren en él se precisa lanzarlas a altas velocidades. De este modo, se consigue superar la repulsión que presentan las cargas del mismo signo.

Desde 1931, los científicos se afanaron en diseñar y -- construir aparatos cada vez más potentes para acelerar partículas cargadas eléctricamente, y, de esta forma, investigar los -- secretos del átomo cuando se bombardea con ellas el núcleo. Estas máquinas han proporcionado también métodos adecuados para -- la obtención de isótopos.

El más utilizado a sido el ciclotrón, que sirve para -- acelerar partículas cargadas eléctricamente.

Los elementos, cuyos átomos se desean sufran alguna --- transmutación, se colocan como blanco en el camino, de las partículas cargadas, que abandonan el ciclotrón a altas velocidades; los átomos que se modifican y que, por tanto, constituyen nuevos isótopos se pueden separar de los que no han sido afectados.

Sin embargo, el ciclotrón es una máquina de funcionamiento costoso, ya que consume una gran cantidad de electricidad y de tiempo, para poder obtener cantidades manejables del -- nuevo isótopo. Por ello, se utiliza poco en la actualidad, excepto para producir un tipo de isótopos llamado "isótopos incompletos de neutrones", que no se puede obtener por el método --- usual del reactor nuclear.

El neutrón es la partícula ideal para introducirla en un núcleo de un átomo, porque no tiene carga eléctrica y, en consecuencia, no puede ser afectado por las cargas positivas del núcleo.

Pero esta falta de carga es, por otro lado, un gran inconveniente, porque hace muy difícil la aceleración de las partículas. Sólo a partir de 1948, es decir, cuando se construyó el primer reactor nuclear, se pudo conseguir suficiente cantidad de neutrones para la obtención de isótopos.

El reactor nuclear constituye una fuente de energía, debido a las propiedades radioactivas de los átomos de uranio que encierra; la radiación implica desprendimiento de calor, que se puede utilizar para calentar agua, generar vapor que accione una turbina y producir electricidad. En esencia, éste es el proceso de una central nuclear. Durante la operación, tiene lugar entre los átomos una serie de reacciones, en las que se liberan neutrones que circulan por el interior del reactor.

Las sustancias, de las que se quiere producir nuevos isótopos, se colocan en unos recipientes sobre una cinta transportadora. Esta los conduce al centro del reactor, que es donde los núcleos tienen la mayor probabilidad de capturar neutrones. Cuando el núcleo adquiere un neutrón (proceso que se llama absorción de neutrones), cambia su estructura y, si se ha escogido bien el elemento inicial, se obtiene el isótopo deseado. Al cabo de algún tiempo, la cinta transportadora saca el isótopo al exterior del reactor.

Este método constituye la manera más conveniente para producir la mayoría de los radioisótopos que hoy día se utilizan, cada vez más ampliamente. El problema de suministrar neutrones para nuevos isótopos no existe en los reactores. En el Instituto para la Investigación de la Energía Atómica de Harwell (Inglaterra), está el más antiguo reactor (1948) que se ha

utilizado para estos fines; más de un millón de neutrones cruzan por segundo un área pequeñísima.

Pero, a pesar de este gran número de neutrones, sólo se obtiene un átomo de nuevo isótopo por cada cien millones de átomos del primitivo, porque únicamente en esta proporción se introducen neutrones en los núcleos. Aunque esta pequeña porción puede ser suficiente para ciertos fines, con frecuencia se necesitará concentrar el nuevo isótopo en la mezcla.

Esto será relativamente fácil en algunos casos, porque, como consecuencia de la reacción, pueden también acontecer --- transmutaciones. Un elemento se ha transmutado cuando se altera el número de protones de su núcleo, lo que quiere decir que el elemento primitivo se ha transformado en otro. El nuevo elemento tiene propiedades distintas y, por tanto, puede separarse fácilmente del original, por medios químicos.

La separación de los isótopos de una mezcla es una etapa obligada, tanto en la producción de isótopos estables como - radiaactivos.

La separación física de los isótopos se basa en que los núcleos de los diversos isótopos de un elemento tienen distinto peso. Entonces, si se provoca en los átomos un movimiento con - trayectoria circular, los diferentes isótopos viajarán siguiendo círculos distintos a causa de su peso diferente; disponiendo colectores en cada uno de los círculos se recogerán por separado los distintos isótopos. Esto se realiza, en la práctica, con una máquina que se llama separador electromagnético.

A pesar de todo, esta máquina que permite la separación de los isótopos de una gran cantidad de elementos, es costosa y consume una gran cantidad de electricidad. Se obtiene con ella, aproximadamente, unos 2,3 miligramos del isótopo deseado, lo -- que en muchos casos es suficiente.

Existen otros métodos para separar isótopos en mucha ma yor cantidad, aunque dicha separación no es tan completa como - en el caso anteriores; se basan en el fenómeno de la difusión. En uno de estos métodos, la mezcla de isótopo se hace fluir en el seno de un gas, a lo largo de un tabique poroso; los átomos más ligeros tienden a ser impelidos a través del tabique, con mayor facilidad que los pesados.

Repetiendo el proceso varias veces, se puede obtener el isótopo ligero con sólo una pequeña mezcla del isótopo pesado.

En otro método de difusión, indicado para separar isótopos de elementos ligeros como el carbón y el nitrógeno, se utilizan unos cilindros de 12 m. de altura, que se llaman columnas de difusión térmica. Si se disponen los isótopos en una mezcla gaseosa, los más ligeros se desplazarán hacia las partes calientes de la columna, mientras que los pesados van a las partes --frías. El proceso se ha de repetir varias veces para obtener --una separación conveniente.

La producción y separación de los isótopos es un proceso complicado y costoso. Por ejemplo, el helio-3 se encuentra - en la proporción de 1 parte por cada millón de gas helio natu--ral, y por el método de difusión térmica puede ser enriquecido hasta el 99%.

A pesar del costo, y de la complejidad de estos proce--sos de separación de isótopos; cada día se incrementan más; especialmente los radioisótopos, ya que su uso en la industria y en la medicina cada día va en aumento.

Uno de los principales productores y exportadores mun--diales de isótopos es Gran Bretaña.

3.4 Vida media de elementos radioactivos.

La vida media es diferente para cada isótopo, aunque es el mismo para diferentes muestras de un mismo radioisótopo.

En los radioisótopos, tanto naturales como artificiales, la vida media puede oscilar entre menos de una billonésima de segundo y más de un billón de años.

Teniendo esto presente, es fácil comprender por qué --- mientras unos radioisótopos se encuentran en la naturaleza, la mayor parte se ha de preparar artificialmente. Por ejemplo, el plutonio tiene un periodo de vida media de 14 años, y los átomos que existieron cuando se formó la Tierra se han desintegrado desde entonces en isótopos más estables. El hecho de que el neptunio, con un periodo de vida de unos 2 millones de años, ha ya desaparecido, nos indica que la Tierra es mucho más antigua. El uranio-238 aún existe en la naturaleza, puesto que su periodo de vida media es de unos cinco mil millones de años.

La existencia de sustancias radioactivas nos puede proporcionar información sobre el tiempo transcurrido desde que se originaron estos elementos, y posiblemente todos los elementos.

Si fuéramos capaces de observar un átomo de uranio-238, deberíamos aguardar miles de millones de años antes de que se desintegrara de repente. En cambio, si pudiéramos observar un átomo de sodio-24, es poco probable que tuviéramos que esperar más de un día para ver cómo se desintegraba.

Hay por tanto una diferencia efectiva en las velocidades de desintegración de estos radioisótopos. A pesar de todo, no se puede predecir el tiempo que ha de tardar en producirse la desintegración de cualquier isótopo. Sólo cuando se trata de miles de millones de átomos resulta posible predecir la velocidad general de desintegración. Esto es debido a que la velocidad de desintegración radioactiva de un elemento está regida -- por leyes estadísticas.

Hoy día, sabemos que las familias del uranio y del actinio no pudieron existir en tiempos muy anteriores a sus tiempos de vida media, que son del orden de unos 10^{10} años.

Con objeto de determinar la edad de ciertos minerales - se los ha estudiado en relación con las constantes radioactivas, empleándose los siguientes métodos:

1.- Intensidad de coloración de los halos preocroicos.

Hay muchos tipos de radiación que son capaces de producir coloración o decoloración en materiales como el vidrio, el cuarzo, la mica, etc. Las partículas alfa intensas producen fácilmente coloraciones, en un breve espacio de tiempo, e incluso cantidades muy pequeñas de uranio o torio son capaces de producir efectos visibles en intervalos de tiempo geológico, cuando están presentes en forma de inclusión en un mineral, como, por ejemplo, la mica. El halo de color producido por las partículas alfa es del orden de unas pocas milésimas de centímetro, en la mica, y el impacto a intervalos de las partículas alfa, procedentes de los productos de desintegración, da lugar a capas concéntricas de diversas coloraciones. Si se examinan estas secciones al microscopio, aparecen unas áreas circulares, que se conocen con el nombre de halos preocroicos; con luz polarizada, los colores cambian según el plano de polarización, y la cantidad de sustancia radioactiva ocluida se puede determinar, aproximadamente, examinando al microscopio el tamaño del halo. Conocido el grado de coloración y la cantidad de sustancia radioactiva ocluida en la mezcla, es posible determinar la edad del material.

2.- Relación entre el contenido de uranio y helio.

Una vez que se desintegra un átomo de uranio, la cadena de las sucesivas desintegraciones produce (en menos de un mi---

llón de años) ocho partículas alfa. Como los intervalos de emisión de estas partículas alfa son muy cortos, cuando atraviesan una materia densa (una roca, por ejemplo) la mayor parte de los átomos de helio resultantes quedan encerrados dentro de ella. - Este helio retenido a través del tiempo geológico sirve como un indicador de la fracción de uranio transformado desde la formación del mineral. Hay que tener en cuenta que el contenido de torio de la roca también es una fuente de helio. Existen métodos de gran sensibilidad para analizar helio, uranio y torio, - que han permitido determinaciones de rocas con un contenido de uranio y torio menor de una parte por millón. Las edades que se han podido establecer con estos métodos son del orden de los -- dos mil millones de años.

3.- Relación entre el contenido de uranio y torio con el plomo.

El plomo es un producto estable, que resulta de la desintegración del uranio y del torio, y puede servir como un indicador de la desintegración. Este método es más exacto que el anterior del helio, puesto que el plomo no es probable que se pierda, como le puede pasar parcialmente al helio. Con este método se ha podido calcular la edad de la Tierra, que es del orden de los tres mil millones de años.

Las rocas que contienen uranio-238, se puede determinar su edad, observando la cantidad de uranio-238 presente, así como la cantidad de plomo-206; último miembro de la serie radioactiva natural. Conocida la vida media de semidesintegración de los miembros de la serie radioactiva que da lugar al plomo-206, se puede determinar el tiempo necesario para formar la cantidad de plomo presente, lo cual nos da la edad de la roca.

En la tabla a continuación; se pueden apreciar, los --- tiempos de vida media de algunos isótopos uránicos; así como -- del plutonio, elemento transuránico.

No. ATOMICO	ELEMENTO	VIDA MEDIA
92	URANIO-238	4.5×10^9 AÑOS
92	URANIO-235	7.1×10^8 AÑOS
92	URANIO-234	2.33×10^5 AÑOS
92	URANIO-233	1.6×10^5 AÑOS
92	URANIO-228	9.3 MESES
92	URANIO-239	23 MINUTOS
94	PLUTONIO-242	14 AÑOS
94	PLUTONIO-236	2.7 AÑOS

CAPITULO IV

METALURGIA DEL URANIO

4.1 Depósitos naturales.

Se cree que la concentración promedio de uranio en la corteza terrestre; sea de 4 ppm; otros investigadores opinan -- que sea de 1 a 2 ppm; por comparación tenemos que el mercurio -- se encuentra en 0.5 ppm, y la plata en 0.1 ppm.

Se calcula que, las rocas basálticas contengan menos de 1 ppm de uranio; las rocas sedimentarias 2 ppm de uranio y el -- agua de los océanos 0.001 ppm.

El total de uranio contenido en la Tierra, hasta una -- profundidad de 15 millas, se calcula que sea de 10^{14} toneladas; y en los océanos 10^{10} toneladas.

Hay muchos minerales uraníferos, pero pocos son de im-- portancia comercial. El mineral de uranio más comunmente encontrado es la uraninita, más conocida como pechblenda; en forma -- masiva es llamada oxido natural de uranio (UO_3 , UO_2).

La pechblenda o uraninita, contienen en su composición cantidades variables de plomo, calcio, hierro, bismuto, mangane-- so, cobre, sílice, aluminio, tierras raras y por supuesto radio y otros productos de la desintegración atómica del uranio.

La uraninita es un mineral, duro, negro y pesado que se encuentra en cristales isométricos; (dureza 5.5 según la escala de Mohs y peso específico de 9 a 9.7). Como mineral primario se ha encontrado en pequeñas cantidades en diferentes partes del -- mundo, a menudo en vetas primarias y también en depósitos secun-- darios.

Otros minerales, aparentemente derivados de la pechblen-- da (productos de alteración), encontramos: hidrosilicatos uráni--

cos de plomo, calcio, hierro, etc.

La carnotita es otro importante mineral uranífero, es un mineral de color amarillo, de constitución terrosa y se encuentra en polvos cristalinos, dispersos en las rocas arenosas.

Otro mineral de relativa importancia, es el urofano (mineral complejo uranífero) se encuentra frecuentemente con la uraninita, como cristales ortorrómbicos, en forma de agujas pequeñas, y de color paja (dureza 2 a 3 según la escala de Mohs; peso específico 3.8). Todos los minerales de uranio son radioactivos.

4.2 Resumen histórico.

De la serie de productos resultantes, de la desintegración atómica del uranio; el de mayor importancia es el radio; este fué producido comercialmente por primera vez en St. Joachimstal, Austria; yacimientos de pechblenda fueron descubiertos en minas de plata; en las cuales desde 1517 se explotaba primeramente plata y posteriormente cobalto y bismuto.

En 1898, como resultados de los descubrimientos de la separación del radio de estos minerales; el gobierno austriaco estableció una planta, la cual continuó produciendo bajo los gobiernos checoslovaco y alemán.

En las minas de St. Joachimstal; las vetas se encontraban en hileras, y cavidades de 6 a 36 pulgadas de largo; conteniendo numerosos minerales; tales como plata, níquel, cobalto, bismuto y uranio, este último en una gran variedad de minerales de hierro; galena, blenda, pirita y marcasita, y en menor cantidad en óxido de cobre.

Depósitos similares, pero de menor importancia, también fueron descubiertos en Saxony, Austria.

Portugal, fué la segunda nación en producir minerales de radio; su producción era pequeña, y era obtenida de depósitos de excelente calidad, localizados entre Guarda y Sabugal.

Depósitos pequeños de pechblenda, fueron encontrados -- también en Cornwall, Inglaterra; región productora principalmente de estaño; en vetas de minerales de plata, níquel y cobalto.

De éstas minas se extrae principalmente bismuto, cobalto y níquel, y la pechblenda es recuperada en pequeñas cantidades.

En los Estados Unidos, producciones pequeñas y en forma intermitente de pechblenda han sido halladas en Central City y Gilpin County, Colorado; en éstas minas originalmente se localizaron vetas de oro. Las rocas contienen pechblenda, galena, esferalerita ó blenda (minerales de hierro).

Otros depósitos de pechblenda, han sido hallados en --- Connecticut, North Carolina, South Carolina, Texas y South Dakota.

La producción en gran escala de radio, se obtuvo de la carnotita; de depósitos localizados en las regiones áridas de Colorado y Utah. Estos fueron descubiertos en 1881, pero hasta 1887 fueron realmente identificados.

Hasta 1910, considerables cantidades de carnotita fueron exportadas a Europa para ser tratadas. Y unas pocas plantas locales extraían uranio y vanadio, pero no radio; obteniendo de eficientes resultados.

En 1912, el Buró de Minas de Estados Unidos; presentó - un estudio sobre los métodos para la recuperación de radio, vanadio y uranio; aislar éstos de la gran cantidad de minerales - con los cuales eran comunmente encontrados. Sugiriendo también la creación de una planta piloto, para efectuar estos procesos selectivamente.

Después de la creación de éstas plantas pilotos; en informes proporcionados por el Buró de Minas, se ha sabido que se obtiene un promedio de 5 a 10 miligramos de radio por tonelada de carnotita procesada.

El costo de operación de la planta piloto de Denver; -- por gramo de radio recuperado es de \$37,599 dólares; mientras -- que el precio nominal de 1 gramo de radio en el mercado rara -- vez es menor de los \$100,000 dólares.

El mejor mineral de uranio encontrado en los Estados Unidos; en los estados del oeste, es la coffinita (silicato de uranio). Ha sido encontrado principalmente en el estrato sedimentario, consistente en piedras arenosas, piedras lodosas y -- piedras calizas, en las cuales el uranio se encuentra como re-- lleno poroso, reemplazado de tejido leñoso o otros materiales -- carbonosos, entre granos de cuarzo y fracturas o grietas a todo lo largo.

Muchas teorías se han elaborado respecto a los orígenes de estos depósitos. Se cree que éstos fueron formados después -- de las capas rocosas; y que el material primario, uraninita y -- coffinita se depositó junto con piedras arenosas y carbonosas -- bajo condiciones de reducción. Cubriéndose después con agua, -- permitiéndose la oxidación; cambiando el uranio de su forma te-- travalente a hexavalente.

Los depósitos de uranio se han encontrado como cuerpos estratificados, en formaciones de las eras Jurásica y Triásica.

En los Estados Unidos, los depósitos más importantes, -- han sido localizados en Plateau Colorado, en un área que abarca alrededor de 150,000 millas cuadradas; oeste de Colorado, este de Utah, noreste de Arizona y noroeste de Nuevo México.

La ventilación es un problema de mucha importancia en -- las minas de uranio; por la presencia del gas radón. El Servi--

cio Público de Salud de los Estados Unidos; sugiere que cuando menos 500 ft³/min. de aire fresco, llegen directamente a los -- trabajadores en las minas; y 1000 ft³/min. cuando altas concentraciones de gas radón sean encontradas.

En el Congo Belga, los minerales de radio, fueron descubiertos, cuando se exploraban minas de cobre; en Katanga, el 22 de Enero de 1913. Pero fué hasta 1921, cuando las investigaciones fueron llevadas a cabo.

Los depósitos se encontraban, en vetas regularmente espesas, y extremadamente irregulares. La pechblenda encontrada, se hallaba en cuerpos centrales, circundada de productos de alteración, principalmente; curita, torbernita y kasolita.

El mineral encontrado era de un excelente grado de calidad, y era enviado a Bélgica para ser procesado.

En Julio de 1922, empezaron los trabajos en la planta - de procesamientos en Oolen, en el Campo Antwerp, por la Unión - de Mineros.

El mineral de radio encontrado, era de 100 a 150 miligramos por tonelada, radio suficiente para satisfacer todas las demandas existentes. El primer precio fijado en el mercado, fué de \$70,000.00 dólares por gramo; siendo reducido en 1930 a la - cantidad de \$50,000.00 dólares por gramo.

Otro rico depósito de pechblenda, fué descubierto en 1930, en la ribera del lago Great Bear, en Canada y ha sido explotado como una importante fuente de abastecimiento de radio por Eldorado Gold Mines Ltd.

El mineral extraído tiene un alto contenido de plata; - el cual varia de 300 a 360 onzas por tonelada. El mineral, es - concentrado y enviado a la planta de Fort Hope, Ontario; que se encuentra a 4000 millas de la mina; en donde son separados, radio, uranio y plata.

La gran producción de radio, proveniente de ésta nueva fuente, afectó su precio en el mercado; en 1937 el gramo de radio era vendido en \$20,000 dólares; más tarde en 1939 mediante un acuerdo con la Unión Minera, el precio se estabilizó en la cantidad de \$27,500 dólares.

La producción total de radio, proveniente de todas las fuentes; probablemente sea algo más de 1 Kg.

En Australia, minerales de uranio han sido encontrados en la parte sur del país.

También depósitos de uranio, han sido hallados en Madagascar, Sur Africa y Rusia. Referente a éstos yacimientos se ha podido recopilar poca información.

4.3 Tratamiento de la pechblenda.

El mineral de pechblenda o pechurana; es tratado por los métodos que fueron sugeridos desde un principio por Debierne y Curie; para el mineral que era extraído de St. Joachimstal, Austria.

El mineral es pulverizado y posteriormente fundido con sulfato de sodio, para convertir el uranio en uranato de sodio. El producto fundido, es filtrado con agua, para remover las sales solubles; siendo después tratado con ácido sulfúrico diluido para extraer sulfato de uranio.

Un exceso de carbonato de sodio, es agregado a la solución para precipitar hierro y otras impurezas; las cuales pudieran ser removidas durante la filtración.

El filtrado contiene, carbonato de uranio soluble; el cual es acidificado y calentado para remover CO_2 . Finalmente el uranato de sodio es precipitado con sosa cáustica.

Los sulfatos de radio y bario que permanecen en el resi-

duo del filtrado ácido; al igual que una gran cantidad de sílice, sulfato de plomo, etc; son calentados con una solución de carbonato de sodio, convirtiéndose una gran parte de los sulfatos de radio y bario en carbonatos.

El producto insoluble, es lavado en repetidas ocasiones para remover el sulfato de sodio; y posteriormente es tratado con ácido clorhídrico diluido para extraer los cloruros de radio y bario solubles.

Los procesos de calentamiento con carbonato de sodio y lavado; son repetidos en muchas ocasiones; con el objeto de obtener una mayor eficiencia en la recuperación de radio. Finalmente los residuos, de ésta serie repetida de procesos, contienen principalmente sílice y muy poca cantidad de radio, lo cual no justifica más extracciones.

La solución concentrada de sulfato de radio y bario, remanente en el filtrado ácido; es extraída mediante la adición de pequeñas cantidades de cloruro de bario y sulfato de sodio.

El radio concentrado es nuevamente convertido en una solución de cloro; mediante el tratamiento repetido de carbonato de sodio, lavado y filtrado con ácido clorhídrico. Esta solución finalmente contiene alrededor de 1 parte de radio por un millón de bario. Mediante una larga serie de cristalizaciones fraccionadas; la mayor parte del radio es definitivamente separado del bario.

En posteriores modificaciones hechas al proceso; el mineral es calcinado con carbonato de sodio y nitrato de sodio. Esto convierte al radio en carbonato y después a través de lavados se remueven las sales solubles (principalmente sulfatos, pudiendo precipitarse sulfato de radio), el calcinado es tratado con ácido clorhídrico, para extraer cloruro de radio.

El mineral canadiense; contiene altas proporciones de --

plomo, plata, hierro, cobre, etc., en este caso otras modificaciones al proceso son necesarias. El mineral es triturado mediante molinos; hasta un diámetro aproximado de 0.25 pulgadas; después es calcinado a 1100 °F. El calcinado es mezclado en un porcentaje de 5 a 10 por ciento de sal común y nuevamente calcinado, removiéndose a baja temperatura; para evitar perder cloruro de plata por volatización. Posteriormente es filtrado con ácido sulfúrico diluido, agregándose nitrato de sodio, cloruro de bario y ácido clorhídrico, para extraer el uranio, el hierro y el cobre. Una vez recuperado el uranato de sodio, como se describe anteriormente, este es purificado para cumplir los requerimientos específicos de mercado.

Los residuos de la filtración ácida, son primeramente tratados con una solución de hiposulfito para extraer la plata, la cual es recuperada por precipitación con sulfuro de sodio.

El plomo es posteriormente extraído por calentamiento -- con sosa cáustica. La extracción y recuperación del radio, se -- lleva a cabo según el procedimiento establecido por Debierne y Curie; con excepción de que actualmente se utilizan autoclaves -- para el tratamiento con carbonato de sodio, ya que en ésta forma es más rápido que calentando a presiones normales.

4.4 Tratamiento de la carnotita.

La carnotita como se describió anteriormente, es un mineral amarillo terroso; el cual es mucho más blando en comparación que los granos de arena.

El mineral es fácilmente triturado y después concentrado. El polvo concentrado contiene de 50 a 80 por ciento de radio, -- con una concentración promedio de 3 a 1 ó de 4 a 1.

La recuperación del radio, del mineral concentrado es sin embargo más difícil, que del propio mineral sin concen---
trar; y otros métodos de concentración son aun menos efecti---
vos. Es por eso que el problema de concentración se limita en
general, a minerales de baja calidad; en donde el costo de ---
transportación lo justifica.

El mineral de carnotita que contiene vanadio, es común
mente asociado con roscoelita (silicato de vanadio). Estos dos
minerales se encuentran en diferentes proporciones, siendo muy
difícil el poder distinguir uno de otro. Estos minerales son -
tratados bien como uranio, o como vanadio; una vez que ha sido
identificada la fuente de mineral de radio de la que proviene.

Existen dos métodos generales, para la obtención de ra
dio del mineral de carnotita:

- a) Disolución directa del radio proveniente del mine--
ral, con un ácido; con o sin tratamiento de purifi-
cación preliminar a la separación.
- b) El mineral es concentrado en polvo, posteriormente
es tratado con sulfatos; con ácido sulfúrico concen
trado o fusionado con sulfato o bisulfato de sodio;
después es filtrado y lavado para remover los polvos
de arena estéril en suspensión. La solución, que --
contiene sulfatos solubles de uranio, vanadio, hie-
rro y aluminio es separada de los sólidos en suspen-
sión por sedimentación y filtración. El polvo de sí
lice, que contiene sulfato de radio y sulfato de ba
rio, es más concentrado con sosa cáustica y filtra-
do para extraer la sílice.

En cualquiera de los casos el radio se convierte en --
carbonato y es finalmente extraído con ácido clorhídrico.

Otro procedimiento para el tratamiento de la carnotita, fue creado por el Buró de Minas de los Estados Unidos y lo designa como proceso del ácido nítrico. Este proceso fué concluyentemente demostrado, cuando durante su aplicación fueron producidos más de 7 gramos de radio, en la planta del Instituto Nacional de Radio. Sin embargo este proceso, no es frecuentemente utilizado; con el objeto de dar oportunidad a otros procesos similares. Por esa razón es posible a continuación, describir éste proceso detalladamente.

Una carga de 320 lb. de mineral pulverizado, es lentamente agregado a 320 lb. de una solución de 38 por ciento de ácido nítrico concentrado, en una marmita; en donde es agitado por espacio de 15 minutos, después esta solución es filtrada, en filtros de tela de asbesto. El residuo es una vez lavado con un ácido débil y dos veces con agua destilada.

La cantidad de ácido agregado, es con el objeto de que reaccione con la gran cantidad de componentes del mineral; compuestos de hierro, uranio, vanadio, aluminio y calcio; y mediante el exceso, mantener el radio y el bario en solución.

Este método da excelentes resultados, solamente cuando se aplica a minerales que contienen relativamente pequeñas cantidades de sulfatos, materia orgánica y vanadio.

Los sulfatos, reducen la extracción de radio, por la precipitación del sulfato de radio, ligeramente soluble.

La materia orgánica causa excesiva espuma, consume ácido y retarda la filtración.

Si el mineral es rico en vanadio, el polvo al precipitar obstruye el filtro.

Todo lo anterior, logra que la filtración sea lenta, permitiendo que la carga se enfríe, lo cual causa la precipitación de varias sales, incluyendo el radio.

El mineral concentrado, es especialmente difícil de -- tratar, ya que éste contiene altas proporciones de constituyen tes solubles, y la carga viscosa filtra con gran dificultad.

Cuando el mineral utilizado es el adecuado, la filtra-- ción con ácido nítrico extrae, más del 90 por ciento del radio existente. lo cual es considerablemente mejor que otros méto-- dos de filtración usados.

El residuo del tratamiento ácido, pudiera tener gran - concentración de vanadio, el cual puede ser fácilmente recupe-- rado, mediante una extracción por filtración alcalina.

Para precipitar el radio, es necesario llevar el fil-- trado ácido a un tanque de precipitación, donde es diluido con agua y neutralizado con una solución de sosa cáustica. Si en - exceso, solución alcalina es añadida, el hierro y el vanadio - se precipitaran, y contaminaran el radio que será obtenido pos teriormente. Por otro lado, si la solución alcalina es insuficiente, dejará que permanezca la acidez muy alta, impidiendo - la completa precipitación del radio.

Una solución de cloruro de bario es posteriormente a-- gregada (aproximadamente 2 lb. $BaCl_2$ por tonelada de mineral) suficiente para tener una proporción de alrededor de 1 parte - de radio por 1 millón de bario.

Posteriormente la solución es mezclada, con ácido sul-- fúrico (aproximadamente 15 lb. por cada tonelada de mineral) - es lentamente añadido, y la agitación es continua. Después de agitar por espacio de 1 hora, la solución contiene sulfato de radio y sulfato de bario en suspensión, el cual es bombeado a un tanque de sedimentación cuyo fondo es cónico. Los sulfatos permanecen 4 días en el tanque de sedimentación; en dónde se - asientan; el líquido es separado y los sulfatos son finalmente filtrados y lavados.

Los sulfatos de radio y bario obtenidos, son de una excelente pureza, en ocasiones superior al 90 por ciento.

Para separar el radio del bario estos son mezclados -- con carbón y calentados 8 horas a aproximadamente 800°C. El -- calcinado es filtrado con ácido clorhídrico diluido, cuidando remover los gases que son producidos. El radio y el bario es-- tán presentes, en la solución como cloruros; el radio es con-- centrado por cristalización y separado por filtración.

Este procedimiento, reemplaza el lento y más costoso - método de convertir los sulfatos en carbonato; tratados con -- carbonato de sodio, mediante una serie repetida de procesos.

La solución de la cual, el radio fué precipitado, es - tratada con un exceso de carbonato de sodio y calentada; preci-- pitándose hierro, calcio, aluminio y vanadio.

Con el objeto de preveer una pérdida excesiva de ura-- nio y vanadio en el precipitado, es necesario mantener un exce-- so de carbonato de sodio en todo momento en la solución, el -- carbonato debe agregarse lentamente y la mezcla debe permane-- cer caliente y con agitación durante y después de la adición. Aproximadamente 650 lb. de carbonato de sodio, por tonelada de mineral, son requeridos; y la operación se efectua en 6 horas. El hierro precipitado es filtrado y descartado.

Más sin embargo, si la solución ácida contiene aún -- una cuarta parte de vanadio; aplicar nuevamente el tratamiento del residuo ya no resulta provechoso.

Para precipitar el uranio, del filtrado dónde el hie-- rro fué precipitado, éste es llevado a otro tanque, dónde la - solución es neutralizada con ácido nítrico. Después es agitada con aire y se le añade hidróxido de sodio a la solución concen-- trada, hasta que el uranio es completamente precipitado como - uranato de sodio. La solución es calentada, durante 1 hora y -

posteriormente filtrada, utilizándose una prensa. El uranio -- precipitado, es lavado en la prensa y después secado. Este con tiene alrededor de 8 por ciento de óxido de vanadio, el cual - debe ser purificado para cumplir los requerimientos del mercado. Y aproximadamente un 85 por ciento de uranio es recupera-- do.

El filtrado del precipitado de uranato de sodio, es -- posteriormente llevado a otro tanque, dónde el vanadio es tratado para que precipite.

En casi todos los minerales de carnotita encontrados, por lo general hay presencia de materia orgánica, la cual difi culta el tratamiento. Ya que consume en exceso, el ácido nítrico concentrado, además de que forma espuma al reaccionar. Es - por eso que una calcinación preliminar del mineral, a alrede-- dor de 700°C, con un exceso de aire, para remover el carbón -- presente, es siempre muy recomendable, más aún, cuando se trata de mineral de carnotita pulverizado y concentrado.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Kostuik J. "Production Reserves, and Future Sources of Uranium". (Denison Mines Ltd. Toronto) Trans. Can. Inst. Mining Met; 72 : 146-50 (1969).
- 2.- Com. Nal. Energ. Nucl., Not.12; 16: No. 5, 78-85 (May. 1970) "Difficulties in International Cooperation of Uranium Isotopic Separation".
- 3.- Bureau of Mines. "Minerals Facts and Problems". Washington, D.C.: U.S. Department of the Interior, Bull. 630, (1965).
- 4.- Smith, Milling "Pitchblende-silver Ores at Eldorado Plant", Eng. Min. Jour., Vol. 193, pp. 35-38, (Abril, 1938).
- 5.- Pochon, "Radium Recovery, Canada's Unique Chemical Industry", Chem. & Met. Eng., Vol. 44, pp. 362-365, (July 1937).
- 6.- Parsons, Moore, Lind and Schaefer, "Extraction and Recovery of Radium, Uranium and Vanadium from Carnotite", U.S. Mines Bull. 104 (1916).
- 7.- Tecnirama, Enciclopedia de la Ciencia y la Tecnología; Vol. No. 61, (1963).
- 8.- Rutenberg, A.C.; Drury, J.S. "Chemical Fractionation of Uranium Isotopes". (Oak Ridge National Lab. Tenn.) J. Inorg. Nucl. Chem. 31:2289-95 (Aug. 1969).
- 9.- Doerner and Hoskins, "Coprecipitation of Radium and Barium Sulphates", Jour. Am. Chem. Soc., Vol. 47, (May. 1925).
- 10.- Uranium. McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology, Vol. 14. McGraw-Hill Book Co., (1966).
- 11.- Moore, and Kithil, "A Preliminary Report on Uranium, Radium and Vanadium", U.S. Bureau Mines Bull. 70, (1913).