



ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA Y
COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA DE LA REPÚBLICA ARGENTINA

CURSO REGIONAL DE CAPACITACIÓN EN LA PROSPECCIÓN DE URANIO

BUENOS AIRES, 8 de setiembre - 31 de octubre 1969

II. YACIMIENTOS URANIFEROS

LOS MINERALES DE URANIO Y DE TORIO

Dr. ENRIQUE LINARES

Dr. CARLOS O. LATORRE

LOS MINERALES DE URANIO Y DE TORIO

ENRIQUE LINARES

CARLOS LATORRE

Comisión Nacional de Energía Atómica

INTRODUCCION

Propiedades químicas del uranio y del torio

Uranio. El elemento uranio fué descubierto en 1789 por el químico y mineralogista M.H.Klaproth, al preparar trióxido de uranio (UO_3) a partir de la pechblenda del yacimiento Georg Wagsfort, del área Erzgebirge en Sajonia. La pechblenda ya era conocida tanto en esta localidad como en la cercana de Joachimsthal, pero su composición química no había sido determinada con certeza hasta entonces. Si bien Klaproth fué el primero en reconocer la presencia del elemento uranio, recién en 1841 el químico francés Peligot obtuvo por primera vez el metal en polvo y lo bautizó con el nombre de uranio, derivado del planeta Urano.

De los elementos naturales terrestres, el uranio es el que posee mayor peso atómico (238,07), su peso específico es de 18,7 y su punto de fusión de 1.100 °C. es un metal de color blanco níquel, algo menos duro que el acero, soluble en los ácidos clorhídrico, nítrico y sulfúrico; descompone el agua alrededor de 100 °C.

Si bien se conocen combinaciones tri y octavalentes en los minerales se presenta sólo como tetra y hexavalente. Sus óxidos principales son el uranoso (UO_2), donde el uranio actúa como tetravalente, y el uránico (UO_3), donde es hexavalente.

lente. Por lo tanto forma dos tipos de sales principales; compuestos uranosos que corresponden al óxido UO_2 y compuestos de uranilo en los cuales el uranio está presente formando el ión UO_2^{2+} . El primer tipo es inestable, siendo oxidado muy rápidamente a uranilo. El óxido uránico (UO_3) es anfótero, o sea que con ácidos forma sales de uranilo y con bases constituye uranatos, diuranatos, etc., Además de estos óxidos se conoce el óxido uranoso-uránico (U_3O_8 ó : $\text{UO}_2 + 2\text{UO}_3$).

Las sales de uranilo son por lo general amarillas, amarillo-verdosas o verdes y frecuentemente son fluorescentes. Los óxidos hidratados del tipo $n\text{UO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, que poseen representantes dentro de los minerales, se derivan del ácido uránico $\text{UO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Desde el punto de vista geoquímico es un elemento francamente litófilo y se encuentra bastante difundido en la corteza terrestre. En el ciclo magmático alcanza su mayor concentración en la faz hidrotermal, aunque se halla también presente, en menor proporción, en la cristalización inicial y en la fase pegmatítica. En las rocas ígneas ácidas en especial granitos calcoalcalinos y pegmatitas sieníticas, su abundancia media alcanza a 4 ppm (4 g/t), mientras que en las rocas básicas solo llega a 1 ppm.

El uranio tetravalente tiene un radio iónico (1,05 kX) muy similar al del torio, circonio y tierras raras, por lo cual siempre aparece asociado a dichos elementos o reemplazando a alguno de ellos en minerales portadores de los mismos.

Torio. El elemento torio fué descubierto por el químico sueco J.J. Berzelius en 1828. Fué separado a partir del mineral torita (ThSiO_4) hallado en una pegmatita en la isla Lange-

sund, en Noruega.

En sus compuestos, actúa siempre como tetravalente. Geoquímicamente tiene semejanzas con el titanio, circonio, hafnio, tierras raras y uranio. En la tabla periódica integra el grupo de los actinidos junto con el uranio y elementos transuránicos.

Su abundancia en las rocas ígneas es de 11,5 ppm, o sea tres veces mayor que la del uranio. Por diferenciación magmática se concentra en las rocas ácidas de la parte superior de la corteza terrestre.

Los minerales de torio son escasos, pero aparece reemplazando a otros elementos en un gran número de minerales complejos como titano-columbatos, titano-tantalatos, silicatos, etc. Sus minerales son por lo general refractarios, pero la parte que se disuelve durante la meteorización se acumula en los óxidos e hidróxidos de los sedimentos hidrolizados, en los cuales la relación Th/U es mayor aún que en las rocas ígneas.

Radiactividad del uranio y del torio

Se conoce actualmente que los elementos químicos, mejor dicho los nucleidos que forman los mismos, pueden dividirse en dos grandes grupos: estables, o sea aquellos que no sufren modificaciones en su estructura, e inestables, los que sufren variaciones en la constitución de su núcleo hasta que llegan a la estabilidad. Estos últimos son los que presentan la propiedad de la desintegración radiactiva y los nucleidos que la poseen se denominan radiactivos. El pasaje de la forma inestable a la estable, puede hacerse en una sola etapa (caso del Rb^{87} a Sr^{87}) o requerir toda una serie de transformaciones, que se llama serie radiactiva, como en el caso del uranio y del torio.

La radiactividad del uranio fué descubierta por Bec-

querel en 1896, al observar que las sales de uranio como así también los minerales de este elemento, velaban las placas fotográficas y presentaban propiedades similares a las radiaciones descubiertas poco tiempo antes por Roentgen y que este investigador denominó rayos-X por desconocer su origen. La radiactividad del torio fué descubierta independientemente por M. Curie y G.G. Schmidt en 1898.

El uranio está constituido por tres isótopos: U^{238} , U^{235} y U^{234} en la siguiente proporción:

U^{238}	99,274%
U^{235}	0,720%
U^{234}	0,006%

De ellos los dos primeros son cabeza de dos series radiactivas, la del uranio natural (U^{238}) y la del actino-uranio (U^{235}), mientras que el último es uno de los integrantes de la primera serie radiactiva mencionada.

El torio tiene solamente un isótopo Th^{232} , que también es principio de otra serie radiactiva.

El uranio -238, uranio-235 y el torio-232, al desintegrarse producen una serie de radioelementos, los que a su vez se desintegran hasta llegar a dar un producto final estable que es el plomo. Así el U^{238} en su transformación total libera 8 átomos de helio y finaliza en uno de Pb^{206} ; el U^{235} dá origen a 7 átomos de helio y termina en Pb^{207} ; el torio 232 dá 6 átomos de helio y su producto final estable es el Pb^{208} .

Dado que el tiempo necesario para que un átomo de uranio se desintegre en uno de plomo, es conocido por ser una propiedad física del elemento uranio (vida media), si se determinan las cantidades de elementos padre (uranio) e hijo (plomo) presentes en un mineral, se puede calcular el tiempo transcurrido desde la cristalización del mismo. Esta propie-

dad es la que se aplica en los diversos métodos de cálculo de la edad geológica.

MINERALES DE URANIO Y DE TORIO

Generalidades.

Actualmente se conocen unas 100 especies minerales que contienen uranio y/o torio como constituyente principal; además hay un cierto número de minerales que contienen estos elementos en pequeñas proporciones.

El conocimiento de la mineralogía del uranio y del torio es relativamente muy reciente y ello es consecuencia del interés que presentan estos minerales como fuente de materia prima, en la energía nuclear.

Antes de 1800 solamente se conocían dos especies minerales de uranio: uraninita y torbernita y en 1850 ese número se había incrementado en 5 especies más. Hasta 1910, solamente un tercio del número total de las especies conocidas actualmente había sido identificado. A partir del descubrimiento de los grandes yacimientos del ex Congo Belga en Africa(1915) y posteriormente, a partir de la década del 40, con la aplicación de la energía atómica, el número de especies aumenta notablemente y comienza entonces a conocerse mejor sus características y propiedades.

La identificación de los minerales de uranio y torio presenta dificultades como veremos en el capítulo correspondiente, debido sobre todo a la forma de presentarse de los mismos y a ciertas propiedades debidas a la desintegración radiactiva, como ser metamictización, cambio de estado de hidratación, etc.

Sistemática de los minerales de uranio y torio

Dado que intentar reveer todos los minerales de uranio y torio llevaría un tiempo muy grande y por otra parte haría algo tediosa esta clase, se ha confeccionado una tabla

en la cual se agrupan de acuerdo a su composición química los minerales de estos elementos, conocidos hasta fines del año 1968. La misma quizás no es completa, pero se ha tratado en todos los casos de que los minerales estén agrupados en una cierta forma lógica. Por lo expuesto anteriormente, haremos una breve reseña de los principales grupos y sólomente diremos breves palabras sobre las especies más comunes de cada uno. Una mayor información sobre los minerales radiactivos podrá hallarse en la bibliografía que se adjunta al final.

De acuerdo con la tabla, podemos dividir a estos minerales en dos grandes grupos: I- Minerales con U^{4+} y/o Th, II) Minerales con U^{6+} .

I. Minerales con U^{4+} y/o Th

Entran dentro del término general de "minerales negros", dado que la mayoría de ellos poseen color dentro de la gama del negro. Si bien la mayoría de ellos pueden originarse como consecuencia de los procesos primarios de formación de un yacimiento, el hecho de que algunos de ellos también son consecuencia de procesos secundarios, hace que no se los denomine "minerales primarios", como se hizo en un principio.

Dentro de este grupo se encuentran cuatro subgrupos principales: a- óxidos simples; b-óxidos múltiples; c-silicatos; y d-fosfatos.

Oxidos simples. Son el resultado de la combinación de los elementos U y Th con el oxígeno. Por un lado se tiene la uraninita (UO_2) y en el otro extremo la torianita (ThO_2). Estos dos minerales forman entre si una serie isomorfa por reemplazo mutuo de U por Th y de acuerdo al contenido de U o de Th se los denomina. Son minerales frecuentes en los yacimientos de uranio y torio respectivamente. Ambos se presentan en depósitos pegmatíticos y venas hidrotermales.

Una variedad de la uraninita, la pechblenda, es muy común también en los yacimientos de uranio en vetas hidrotermales de baja temperatura y es el mineral de mayor interés económico en casi todos los yacimientos de uranio en sedimentos. Por lo general la pechblenda aparece formando masas reniformes o pequeños gránulos esféricos, lo que la permite diferenciar de la uraninita que se presenta con forma cristalina.

b- Oxidos multiples. Dentro de este grupo se encuentran aquellos minerales constituídos por las combinaciones de óxidos de columbio, tantalio, y titanio principalmente y en menor proporción de circonio, estaño y wolframio. Son por lo general minerales de composición química muy compleja y salvo algunos casos, en la gran mayoría el U y/o torio aparecen reemplazando a otros elementos.

De ellos los más importantes son: samarskita, microli_{ta}-pyrocloro, euxenita, betafita y davidita.

Generalmente son minerales pegmatíticos y raramente se presentan en vetas hidrotermales. Su valor económico, salvo raras excepciones, es escaso como mena de uranio y/o torio.

c- Silicatos En este grupo se tiene la coffinita silicato hidratado de uranio y la torita y torogummite, silicatos de torio, como los minerales más ricos en estos elementos.

La coffinita es bastante común en yacimientos de uranio en sedimentos y también ha sido encontrada últimamente en algunas vetas hidrotermales. De todos los minerales de este sub-grupo es posiblemente el que representan mayor valor económico.

Los otros silicatos son raros y llevan U y/o Th en pequeñas proporciones, junto con tierras raras. Salvo en algunos sitios aislados sus valores económicos son escasos.

d- Fosfatos. En este sub-grupo tenemos nynghoyta, fosfato de calcio y uranio muy escaso, y los fosfatos de tierras raras

monacita y xenotima, que llevan accesoriamente torio y en menor cantidad uranio. Ambos son refractarios, por lo cual aparecen en placeres como los de Brasil y la India, constituyendo la fuente principal de torio.

II- Minerales con U^{6+}

Este grupo es denominado generalmente como "minerales amarillos" y comprende todas las combinaciones del ión uranilo UO_2^{2+} con diversos aniones. Se subdivide en los siguientes grupos:

a- Óxidos. Los óxidos hidratados de uranio hexavalente constituyen un grupo importante, siendo sus integrantes bastante comunes. Dada la forma en que se presentan generalmente mezcla de varias especies en forma de agregados pulverulentos de grano fino- es muy difícil diferenciarlos entre sí, por lo que hasta hace poco tiempo se los incluía bajo el término genérico de "gummita". El avance registrado en los métodos de identificación, permitió determinar que la "gummita" no es solo mineral, sino la mezcla de varios, por lo cual actualmente se lo utiliza como nombre general, comparable al de limonita o wad.

Estos óxidos se forman en el primer estadio de la alteración de la uraninita y se presentan rodeando a núcleos de ella. Sus colores son generalmente rojo, rojo-naranja, naranja y más raramente amarillos, y aparte de uranio, entran en su composición otros cationes como calcio, bario, bismuto, cobre y plomo, siendo éste último en la mayoría de los casos de origen radiogénico.

Los principales minerales de este sub-grupo son: becquerelita, masuyita, fourmarierita, curita y clarkcita.

b- Silicatos. Los silicatos hidratados de uranilo constituyen un grupo de minerales que además de uranio poseen otros cationes como calcio, potasio, magnesio, cobre y plomo. Por lo general se encuentran asociados a los óxidos hidratados.

formando masas o agregados pulverulentos de grano muy fino o asociaciones de fibras muy delgadas, de colores amarillos, amarillo verdoso o verde.

Los más comunes minerales de este sub-grupo son uranofano, betauranofano y sklodowskita, de los cuales el primero es un componente común en la zona de oxidación de la mayoría de los depósitos.

c- Vanadatos. Se encuentran aquí los vanadatos de uranilo, que además llevan otros cationes como calcio, potasio o cobre. En general aparecen como masas pulverulentas de colores amarillo, amarillo verdoso a verde, siendo muy comunes en los yacimientos de uranio en sedimentos, en especial en aquellos donde el uranio está asociado a materia orgánica o a bancos limo-arcillosos. Los minerales más importantes son carnotita, tyuyamunita y sengierita.

d- Fosfatos. Generalmente son fosfatos de uranilo, asociados o cationes como calcio, cobre y plomo y menos frecuentemente hierro, magnesio, hidrógeno y amonio. Por lo general son de hábito micáceo, color verde a verde azulado, siendo muchos de ellos fluorescentes, destacándose principalmente por la fluorescencia color verde intenso que dan los del grupo de la autunita y del grupo de la torbenita. Además deben citarse los del grupo fosfuranilita-renardita. Tanto la autunita como su forma menos hidratada metautunita, son minerales muy comunes en las menas de uranio.

e- Arseniatos. De propiedades químicas muy similares a las del sub-grupo anterior. Además del ión uranilo, se asocian cationes como calcio, cobre, bario y potasio y menos frecuentemente hierro, amonio e hidrógeno. Muchas veces forman series isomorfas con los fosfatos, como en el caso torbernita-zeunerita o meta-torbernita-meta-zeunerita, siendo en este caso muy difíciles de diferenciar entre sí. Los más comunes son zeunerita,

novacekita y uranospinita.

f- Carbonatos. Los carbonatos de uranilo, generalmente están combinados con calcio, magnesio y sodio; algunos de ellos son muy fluorescentes, con colores dentro del tono verde muy intenso y generalmente solubles en agua. Los más comunes en los yacimientos son schroeckingerita, bayleyita y liebigita.

g- Sulfatos. Dentro de este grupo se encuentran zippeita, johannita y uranopilita. No son muy comunes, pero pueden encontrarse asociados a otros minerales amarillos, principalmente en la parte inferior de la zona de oxidación.

h- Molibdatos. Este sub-grupo es muy escaso y los minerales que lo componen son poco conocidos. Los más abundantes son umohita y moluranita.

i- Sileniatos. Grupo recientemente descubierto y del cual el más conocido es el mineral denominado guilleminita.

METODOS DE IDENTIFICACION

Dada la forma de presentarse de los minerales radiactivos, como así también algunas de sus propiedades físicas, la identificación de los mismos presenta ciertas dificultades.

Para el caso de los minerales del primer grupo, denominado "minerales negros", si los mismos no se encuentran isotropizados, la identificación es relativamente sencilla por medio de rayos-X; no sucede lo mismo cuando estos minerales han sufrido los procesos que producen la destrucción de su estructura cristalina y que citaremos más adelante. En general puede decirse que megascópicamente puede determinarse aproximadamente el grupo al cual estos minerales pertenecen, pues por lo general son de colores negro, alto peso específico, brillo mate a vítreo (este último en general en los isotropizados) y fractura concoide.

Para el caso de que los minerales se presenten formando asociaciones pulverulentas, las cuales están consti-

tuídas en general por mezclas de minerales de grano muy fino, como sucede para los del grupo portador de uranio hexavalente el primer paso necesario para la identificación de la o las especies presentes, es la separación de los mismos. Para ello puede apelarse a la propiedad de que la mayoría de estos minerales de uranio son de peso específico elevado, por lo cual con líquidos pesados como bromoformo ($d = 2,8$) o yoduro de metileno ($d = 3,2$), pueden ser separados del resto de los componentes livianos de las rocas como ser cuarzo, feldespato, etc. Otras veces, si el mineral es fluorescente, esta propiedad permite una fácil separación del mismo.

La separación de minerales es una operación larga y tediosa pero que facilita en grado sumo la posterior identificación.

En general la identificación de los minerales transparentes por microscopía óptica es muy difícil. Salvo en aquellos casos en que éstos minerales presentan hábito micáceo, como por ejemplo autunita, torbernita, etc., la determinación de las propiedades ópticas es virtualmente imposible, pues aparecen como pequeños granos o fibras. Además, el hecho de que el estado de hidratación cambia el valor de los índices de refracción de estos minerales, es otra causa que provoca incertidumbre en la correcta identificación de los mismos.

Por lo tanto, la identificación de los minerales transparentes de uranio por medio del microscopio polarizante no es un método práctico de clasificación en un laboratorio de rutina y solo sirve, en algunos casos, como una ayuda en la identificación del mineral en estudio.

Para el caso de los minerales opacos, como ser uraninita, torianita, etc., el microscopio puede ser de ayuda principalmente para la determinación del modo de presentarse, tamaño y asociación paragenética de la mena. La ayuda como

método de identificación es algo restringido, aunque es de mayor valor que para el caso de los minerales transparentes.

La fluorescencia de algunos minerales de uranio, solo es útil en algunos casos. Esta propiedad permite en ciertas ocasiones eliminar un gran número de minerales que no son fluorescentes, pero es necesario recordar que ciertas especies pueden o no ser fluorescentes, como en el caso del uranofano.

El método de identificación por medio de la autorradiografía, presenta sus mejores posibilidades en la ubicación dentro de la muestra en estudio del mineral responsable de la radiactividad. El método propuesto por algunos autores, de medir la cantidad de radiación emitida sobre una placa fotográfica, para en base a dicha medición identificar el mineral, no es práctico y requiere una serie de técnicas muy especializadas.

Desde el punto de vista práctico, el método que más rápidamente y con mayor eficiencia permite identificar las especies radiactivas, es el de difracción por rayos-X. En este caso la gran mayoría de los minerales de uranio, el 90% o más, son identificados recurriendo al método denominado de polvo o de Debye-Scherrer.

Cada substancia cristalina reacciona frente a los rayos-X en una forma particular; el espectro obtenido de cada una de ellas podemos compararlo a las impresiones digitales. Por lo tanto cada mineral, salvo ciertos casos particulares, dará un diagrama de rayos-X propio del mismo, lo que facilita su identificación.

En el método mencionado pueden aplicarse dos técnicas las que dependen de la cantidad de mineral separado. Para muy pequeñas cantidades, se recurre al método fotográfico, mientras que para cantidades discretas se utiliza el método

gráfico que es mucho más rápido.

Este método solamente se encuentra limitado por el hecho de que los minerales que forman series isomorfas (igual estructura cristalina pero diferente composición química) como por ejemplo hematita-ilmenita, zeunerita-torbernita, etc, dan diagramas iguales o muy semejantes, lo que hace imposible su diferenciación. En este caso, la ayuda de algunos de los métodos de reacciones químicas sencillas, que figuran en el follete adjunto o bien el análisis químico de alguno de los cationes presentes en el mineral en estudio, facilita su identificación.

Un caso muy especial de estudio es el de los minerales metamícticos. Estos minerales se producen debido a que las radiaciones emitidas por el uranio y/o torio, provocan daños en la estructura cristalina del mineral. Este daño puede ser parcial o total y cuando el mismo llega a ser total, el mineral pierde sus propiedades cristalinas, o sea se metamictiza, y se comporta con una sustancia amorfa.

En este caso el mineral es isótropo tanto para las propiedades ópticas como para la difracción de rayos-X y su identificación por medios físicos es imposible.

Es posible en algunas ocasiones, obtener por calentamiento a temperaturas elevadas, la constitución de una estructura cristalina y luego proceder a su identificación por medio de la difracción de rayos-X.

Por suerte la metamictización se presenta en el grupo de minerales radiactivos que posiblemente representa el menor interés económico, dado que la mayoría de los minerales metamícticos corresponden a los minerales del grupo de los óxidos múltiples, como columbatos-tantalatos, columbo-titanatos, etc., y del grupo de los silicatos como uranio tetravalente y torio.

B I B L I O G R A F I A

- /1/ BUTSCKOWSKYJ, M., 1958. Minerales radiactivos. Rev. Mus. Arg. Cienc. Natur. B. Rivadavia. IV, 3. Buenos Aires
- /2/ FRONDEL, C. et al., 1956. -ray powder data for uranium and thorium minerals. U.S. Geol. Surv. Bull. 1036-G. Washington D.C.
- /3/ FRONDEL, C., 1958. Systematic mineralogy of uranium and thorium U.S. Geol. Surv. Bull. 1064. Washington D.C.
- /4/ FRONDEL, J. et al., 1967. Glossary of uranium and thorium bearing minerals. U.S. Geol. Surv. Bull. 1250 (4 ed.) Washington D.C.
- /5/ GEORGE, D., 1949. Mineralogy of Uranium and thorium-bearing minerals. U.S. Atom. Energ. Comm., RMO-563. Washington D.C.
- /6/ GEFFROY, J. et al., 1960. Les minerais uraniferes francais. Inst. Nac. Scienc. Nuclear., Saclay, Francia
- /7/ LINARES, E., y TOUBES, R.O. 1960. Los minerales radiactivos de la República Argentina. I. Jorn. Geol. Argen. (San Juan) T. II. Buenos Aires.

MINERALES DE URANIO Y TORIO

URANIO U⁴⁺

TORIO

URANIO U⁶⁺

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

OXIDOS
SIMPLES

URANINITA C UO_2
PECHBLENDITA C (Variedad con cristales menores de 10^{-3} cm)
Braggerita (más del 10% ThO_2)
Clevelandita, Nivenita (ricas en tierras raras)

THORIANITA C ThO_2
(más del 10% UO_2) Uranothorianita, Aldonita

THUCHOLITA Sustancia asfáltica compuesta de hidrocarburos, U^{++} ,
Carboceros, Carburon

Th, SiO_2 y H_2O THUCHOLITA

MICROLITA C $(Na, Ca)_2 Ta_2 O_6 (OH, F)$
PYROCHLORO C $Na_2 Co_2 O_6 F$
Hatchelita (15% UO_2); Koppita (con Fe y T.R.); Pyrrhita (con Fe)
Morignacita (con Ce); Ellsworthita

FERGUSONITA (=RUTHERFORDITA = KOCHLITA) Ti $(Y, Er, Ce, Fe)(Cb, Ta, Ti)_4 O_4$
FORMANITA Ti $(Y, Er, Ce, Fe)(Ta, Cb, Ti)_4 O_4$
Braggita (con $Er_2 O_3$); Risorita (con mucho TiO_2); Tyrilla-Sipyla (con Ce, La, O, Ti, O_2)

YTTROTANTALITA R $(Fe, Y, U, Co)(Ta, Cb, Zr, Sn)_4 O_4$
YTTROCOLUMBITA R $(Fe, Y, Mn, UO_2)(Cb, Ta)_4 O_4$

FERGUSONITA
FORMANITA

SAMARSKITA R $(Y, Er, Ce, Pb, U, Th)(Cb, Ta, Ti, Sn)_2 O_4$
Ishikawaita (rica en U); Rogersita (rica en T.R.); Plumbonitrita (rica en Pb);
Vietingshofita (con FeO); Annerodita; Nualaita; Nahlita

SAMARSKITA

HJELMITA R $(Y, Fe, U, Ce, Mn)(Cb, Ta, Ti, Sn)_2 O_4$

OBRUCHEVITA $3Na_2 O, 4(Ca, Fe)O, 3Y_2 O_3, (U, Th)O_2, 5(Cb, Ta)_2 O_3, 20H_2 O$

COLUMBITA R $(Fe, Mn)O, Cb_2 O_5$
TANTALITA R $(Fe, Mn)O, Ta_2 O_5$

OBRUCHEVITA

BETAFITA C $(U, Ca)(Cb, Ta, Ti)_2 O_4 \cdot H_2 O$
Samiresita (2% PbO); Blomstrandita (rica en ThO_2); Mendelyevita (con CaO)

POLIMIGNITA R $(Ce, Fe, Y, Zr, Th)(Cb, Ti, Ta)_4 O_4$
Loransita

DJALMITA C $(U, Ca, Pb, Bi, Fe)(Cb, Ta, Ti, Zr)_2 O_4 \cdot nH_2 O$

IRINITA C $(In, Ce, Th)_{1-x}(Ti, Cb)_{3-x} OH_x$

EUXENITA R $(Y, Ca, Ce, U, Th)(Cb, Ta, Ti)_2 O_4$
POLYCRASA R $(Y, Ca, Ce, U, Th)(Ti, Cb, Ta)_2 O_4$
Klopinita; Eschwegita; Kobeita

EUXENITA
POLYCRASA
Lyndochita (poco U)

PRIORITA R $(Ca, Fe, Y, U)(Ti, Cb)_2 O_4$

(AESCHYNITA =) AESCHYNITA R $(Ca, Fe, Ce, Y, Th)(Ti, Cb)_2 O_4$

AMPANGABEITA $R(?)$ $(U, Er, Ca, Th)_2 (Cb, Ta, Ti, Fe)_2 O_4$

(HIDROEUXENITA =) AMPANGABEITA

KOBEITA $(Y, U, Th)(Ti, Fe, Nb, Ta)_2 (O, OH)_4$

KOBEITA

BRANNERITA M $(U, Ca, Fe, Y)_3 Ti_3 O_{16}$
Absita (con Th)

ZIRKELITA H $(Ca, Fe, Th, U)_2 (Ti, Zr)_2 O_4$
Zirconolita

DAVIDITA H o R $(Fe, Ce, La, Y, U, Ca, Zr)(Ti, Y, Fe, Cr)_3 (O, OH)_7$

YTTROCRASITA R $(Y, Th, U, Co)(Ti, Fe, W)_4 O_{11}$

DELORENZITA R $UO_2 \cdot Y_2 O_3 \cdot 2Fe_2 O_3 \cdot 24TiO_2$

LODOCHNIKITA $2(U, Th)_2 O_3 \cdot 3UO_3 \cdot 14TiO_2$

COFFINITA II $U(SiO_4)_{1-x}(OH)_x$

THORITA II $ThSiO_4$
(rica en U) Uranothorita; Hyblita; Eucrasita (con $Ce_2 O_3$); Auerita; Enalita;
Freyita; Pilbarita; Wisacksonita; Smirnovskita

HEXADKEVITA $(U, Y, Ce)U(Ca, Mg, Pb)(SiO_4)_2 (OH)_4 \cdot nH_2 O$

HUTTONITA M $ThSiO_4$
THOROGUMMITA II $Th(SiO_4)_{1-x}(OH)_x$
Gummilita-lítica (rica en U); Mackintoshita; Mailandita; Nicolaita; Hydrothorita

ZIRCON II $ZrSiO_4$
Cyrtolita (con U y Th); Matocón (con poca U y Th); Naegita (con U, Th, T.R., Ta, Cb, Yb)

ZIRCON
Yamaguchilita (con U, Th y Ce); Ribeirita; Alvita; Azorrita

THALENITA M $(Y, Er)_2 O_3 \cdot 2SiO_2$
Ytttrialita (rica en Th); Rowlandita

THORTVEITA M $Sc_2 O_3 \cdot 2SiO_2$
Befanilita (sin Y ni Ce; con Zr)

GADOLINITA M $2BeO \cdot FeO_2 (Y, Er)_2 O_3 \cdot 2SiO_2$

ALLANITA M $(Ca, Ce, La, Na)_2 (Al, Fe, Be, Mg, Mn)_3 (OH)(SiO_4)_3$
Orlita; Uranothorita; Bagrationita; Bucklandita; Wasita; Xanthorita;
Bodenita (con Y); Nagatellita (con $P_2 O_5$); Jittrothorita

PERRIERITA $(Ca, Th, Ca, Na)(Fe, Ga)(Ti, Fe, Mg)(SiO_4)_2$

PERRIERITA

TSCHEFFKINITA (= CHEVKINITE) $(Ca, Ce, U)O(Tl, Al, Fe, Sn)_2 O_3 \cdot 3(Si, Ti)O_2$

TSCHEFFKINITA M

ABUKUMALITA $CaY(Si, P)_2 O_6$

TRITOMITA H $2(H_2, Na)_2 Ca(SiO_3)(Ce, La, Dy)BO_3 H_2 (Ce, Th, Zr)_2 O_4 F_2$

MELANOCERITA $12(H_2, Ca)_2 SiO_3 \cdot 3(Ce, Dy)BO_3 \cdot 2H_2 (Th, Ce)_2 O_4 F_2 \cdot 8(Ce, La)_2 O_4$

CARIOCERITA H $6(H_2, Ca)_2 SiO_3 \cdot 2(Ce, Dy)BO_3 \cdot 3H_2 (Ce, Th)_2 O_4 F_2 \cdot 2LaOF$

STEENSTRUPINA $Na_2 Ce(Mn, Ta, Fe)H_2 (Si, P)O_4$

CHERALITA M $(Th, U, Ca, Ce, La, Pb)(PO_4, SiO_4)$

YTTRIALITA C $(Y, Ce, Fe, Th)_2 Si_2 O_7$

CERFOSFORHUTTONITA $ThCeSiPO_4 \cdot 3H_2 O$

SARYARKITA $(Ca, Y, Th)_2 Al_4 (SiO_4)_2 (PO_4)_2 \cdot 9H_2 O$

MONACITA M $(Ce, La, Nd)(PO_4)$
Turnerita; Cryptalita; Edworsita; Urdita; Kararveita

XENOTIMA II $(Y, Er)_2 O_3 \cdot P_2 O_5$
Castelnauita; Ytterbopah

BROCKITA $(Ca, Th) PO_4 \cdot H_2 O$

NINGOYTA Fosfato de UO_2 , Ce y $H_2 O$

TURNERITA; Cryptalita; Edworsita; Urdita; Kararveita

XENOTIMA II $(Y, Er)_2 O_3 \cdot P_2 O_5$
Castelnauita; Ytterbopah

BROCKITA $(Ca, Th) PO_4 \cdot H_2 O$

TURNERITA; Cryptalita; Edworsita; Urdita; Kararveita

BROCKITA $(Ca, Th) PO_4 \cdot H_2 O$

TURNERITA; Cryptalita; Edworsita; Urdita; Kararveita

BROCKITA $(Ca, Th) PO_4 \cdot H_2 O$

TURNERITA; Cryptalita; Edworsita; Urdita; Kararveita

BROCKITA $(Ca, Th) PO_4 \cdot H_2 O$

TURNERITA; Cryptalita; Edworsita; Urdita; Kararveita

BROCKITA $(Ca, Th) PO_4 \cdot H_2 O$

TURNERITA; Cryptalita; Edworsita; Urdita; Kararveita

BROCKITA $(Ca, Th) PO_4 \cdot H_2 O$

TURNERITA; Cryptalita; Edworsita; Urdita; Kararveita

BROCKITA $(Ca, Th) PO_4 \cdot H_2 O$

TURNERITA; Cryptalita; Edworsita; Urdita; Kararveita

BROCKITA $(Ca, Th) PO_4 \cdot H_2 O$

TURNERITA; Cryptalita; Edworsita; Urdita; Kararveita

BROCKITA $(Ca, Th) PO_4 \cdot H_2 O$

TURNERITA; Cryptalita; Edworsita; Urdita; Kararveita

BROCKITA $(Ca, Th) PO_4 \cdot H_2 O$

TURNERITA; Cryptalita; Edworsita; Urdita; Kararveita

BROCKITA $(Ca, Th) PO_4 \cdot H_2 O$

TURNERITA; Cryptalita; Edworsita; Urdita; Kararveita

BROCKITA $(Ca, Th) PO_4 \cdot H_2 O$

TURNERITA; Cryptalita; Edworsita; Urdita; Kararveita

BROCKITA $(Ca, Th) PO_4 \cdot H_2 O$

TURNERITA; Cryptalita; Edworsita; Urdita; Kararveita

BROCKITA $(Ca, Th) PO_4 \cdot H_2 O$

"GUMMITA" (Término general) $UO_3 \cdot nH_2 O$

IANTHINITA R $2UO_2 \cdot 7H_2 O$

EPI-IANTHINITA $Oxido hidratado de U$

BECQUERELITA R $7UO_3 \cdot 11H_2 O$

BILLIETITA R $8UO_3 \cdot 6UO_2 \cdot 11H_2 O$

SCHOEPITA (= PARA-SCHOEPITA) R $2UO_3 \cdot 5H_2 O$

MASUYITA R $UO_3 \cdot 2H_2 O$

VANDENDRIESSCHITA (= Mineral "X" de Palache) R $PbO \cdot 7UO_3 \cdot 12H_2 O$

FOURMARIERITA R $PbO \cdot 4UO_3 \cdot 5H_2 O$

RICHETITA M $2PbO \cdot 5UO_3 \cdot 3H_2 O$

CURITA R $PbO \cdot 8UO_3 \cdot 4H_2 O$

CLARKEITA R $(No, K, Ca, Pb)U_2 O_7 \cdot nH_2 O$

VANDENBRANDEITA (=URANOLEPIDITA) Tr $CuO \cdot UO_3 \cdot 2H_2 O$

HIDRONASTURAN $UO_3 \cdot nUO_3 \cdot nH_2 O$

URGITA

WOLSENDORFITA $(Pb, Co)U_2 O_7 \cdot 10H_2 O$

URANOSFERITA $(BiO)(UO_2)(OH)_3$

COMPREGNACITA $K_2 O \cdot 6UO_3 \cdot 11H_2 O$

MOCTEZUMITA $PbO \cdot UO_3 \cdot 2TeO_2$

BETA-URANOFANO (= BETA-URANOTILO) M $Ca(UO_2)_2 \cdot (SiO_3)_2 \cdot (OH)_2 \cdot 5H_2 O$

SKLODOWSKITA (= SHINKOLOBWITA) M $Mg(UO_2)_2 \cdot (SiO_3)_2 \cdot (OH)_2 \cdot 6H_2 O$

CUPROSKLODOWSKITA (= JACHIMOVITA) $M(?)$ $Cu(UO_2)_2 \cdot (SiO_3)_2 \cdot (OH)_2 \cdot 5H_2 O$

BOLTWOODITA $K_2 (UO_2)_2 \cdot (SiO_3)_2 \cdot (OH)_2 \cdot 5H_2 O$

URANOFANO (=URANOTILO = LAMBERTITA) M $Ca(UO_2)_2 \cdot (SiO_3)_2 \cdot (OH)_2 \cdot 5H_2 O$

KASOLITA M $Pb(UO_2)_2 \cdot (SiO_3)_2 \cdot (OH)_2$

SODDYITA R $(UO_2)_2 \cdot (SiO_3)_2 \cdot (OH)_2 \cdot 5H_2 O$

GASTUNITA Silicato de $(UO_2)^{++}$ y Ca

ORLITA RoM $3PbO \cdot 3UO_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 6H_2 O$

RANQUILITA $1,5CaO \cdot 2UO_3 \cdot 5SiO_2 \cdot 12H_2 O$

URSILITA $CaO \cdot 2UO_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 5H_2 O$

HALWEEITA $K_2 (UO_2)_2 \cdot (VO_4)_2 \cdot nH_2 O$

CARNOTITA R $Ca(UO_2)_2 \cdot (VO_4)_2 \cdot 5-6H_2 O$

TYUYAMUNITA R $Ca(UO_2)_2 \cdot (VO_4)_2 \cdot 3-5H_2 O$

META-TYUYAMUNITA R $Cu(UO_2)_2 \cdot (VO_4)_2 \cdot 8-10H_2 O$

SENGIERITA R $(UO_2)_2 \cdot (VO_4)_2 \cdot 6H_2 O$

FERGHANITA R $(Ba, Pb)(UO_2)_2 \cdot (VO_4)_2 \cdot 5H_2 O$

FRANCEVILLITA $CaO \cdot 2UO_3 \cdot 5V_2 O_5 \cdot 16H_2 O$

RAUVITA $U_2 V_6 O_{21} \cdot 15H_2 O$

UVANITA $(UO_2)_2 \cdot Al(VO_4)_2 \cdot (OH) \cdot 8H_2 O$

VANURALITA $(H_2 O)(Ba, Ca, K, Pb)(UO_2)_2 \cdot (VO_4)_2 \cdot 4H_2 O$

VANURANYLITA $2UO_3 \cdot SO_3 \cdot 5H_2 O$

ZIPPEITA $(UO_2)_2 \cdot SO_4 \cdot (OH)_{10} \cdot 12H_2 O$

URANOPILITA (= URANOCONITA) $M(?)$ $(UO_2)_2 \cdot SO_4 \cdot (OH)_{10} \cdot 5H_2 O$

META-URANOPILITA (= META-URANOCONITA) R $Cu(UO_2)_2 \cdot (SO_4)_2 \cdot (OH)_2 \cdot 6H_2 O$

JOHANNITA (= GILPINITA = URANOVITRIOL) Tr $CuO \cdot 2UO_3 \cdot 2SO_3 \cdot 3H_2 O$

PELIGOTITA $AutUNITA (= CALCOURANITA) II$ $Ca(UO_2)_2 \cdot (PO_4)_2 \cdot 12H_2 O$

META-AUTUNITA (= META-CALCOURANITA) II $Ca(UO_2)_2 \cdot (PO_4)_2 \cdot 2-6H_2 O$

SALEEITA II $Mg(UO_2)_2 \cdot (PO_4)_2 \cdot 8-10H_2 O$

URANOCIRCA II $Ba(UO_2)_2 \cdot (PO_4)_2 \cdot 12H_2 O$

META-URANOCIRCA II $Ba(UO_2)_2 \cdot (PO_4)_2 \cdot 8H_$