

05.57.01

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1957

REPUBLICA ARGENTINA

PUBLICACIONES

DE LA

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

SERIE GEOLOGIA

VOL. I — Nº 1

CONTRIBUCION AL CONOCIMIENTO

DE

ALGUNAS URANINITAS Y PEBLENDAS

DE LA REPUBLICA ARGENTINA

POR

C. E. GORDILLO, E. LINARES Y R. J. POLJAK



BUENOS AIRES

1957

REPUBLICA ARGENTINA

PUBLICACIONES
DE LA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
SERIE GEOLOGIA
VOL. I — N° 1

CONTRIBUCION AL CONOCIMIENTO
DE
ALGUNAS URANITITAS Y PECHBLENDAS
DE LA REPUBLICA ARGENTINA

POR
C. E. GORDILLO, E. LINARES y R. J. POLJAK



BUENOS AIRES

1957

CONTRIBUCION AL CONOCIMIENTO
DE
ALGUNAS URANINITAS Y PEBBLENDAS
DE LA REPUBLICA ARGENTINA ¹

POR C. E. GORDILLO, E. LINARES Y R. J. POLJAK

SUMMARY

In this paper some uraninites and pitchblendes from the Argentine Republic, are studied.

First, the mineralogical and geological characters of this minerals and its known deposits in the Argentine are given. Microscopical studies, chemical analysis, X-Ray diffraction investigation, are included and finally age calculation are discussed.

PARTE I

1. INTRODUCCIÓN

Si bien la existencia de minerales de uranio es conocida en nuestro país desde 1874, cuando Ave Lallemand (25) citó la presencia de los mismos en vetas de cuarzo aurífero de Las Peñas, Saladillo (San Luis), los estudios realizados sobre estos minerales han sido esporádicos.

Recién en los últimos años al crearse la Comisión Nacional de Energía Atómica, se intensifican los trabajos de exploración en búsqueda de esta importante fuente de materia prima para la energía atómica y nuevos descubrimientos de yacimientos de minerales radioactivos se agregan a los ya conocidos en la Argentina.

¹ Trabajo presentado para su publicación el 2-7-57.

Es por ello que este trabajo, cuya finalidad es el conocimiento mineralógico, roentgenográfico y químico de algunas uraninitas y pechblendas, es uno de los primeros dedicados al estudio de los minerales de uranio en nuestro medio, y sus autores, esperan que sea el comienzo de una serie de investigaciones sobre los mismos.

Deseamos hacer llegar nuestro agradecimiento a las autoridades de la Comisión Nacional de Energía Atómica, cuyo apoyo ha hecho posible la ejecución de este trabajo; al Ing. Victorio Angelelli, Jefe del Servicio Geológico-Minero, por las muestras y datos que nos facilitara y al señor Carlos Kiss, por su colaboración en trabajos de laboratorio.

2. PECHBLENDA Y URANINITA, CONCEPTOS Y DEFINICIÓN

La uraninita y la pechblenda son esencialmente una mezcla de los óxidos uranoso (UO_2) y uránico (UO_3), en proporciones que dependen de la edad del mineral y de su grado de oxidación. Se acepta sin embargo, que el mineral posee originalmente un alto predominio de UO_2 . De allí que se designe a veces a ambas variedades con el nombre genérico de « minerales primarios de uranio », denominación esta que también se hace extensiva — por algunos autores — a otras especies mineralógicas constituidas por óxidos y radicales complejos y en cuya composición toma intervención el uranio (columbatos, tantalatos, titanatos, etc.).

Debemos aclarar ahora el uso de los términos uraninita y pechblenda, utilizados para denominar — a veces en forma ambigua — al dióxido de uranio (UO_2), dado que dichos nombres han sido considerados en algunos casos como sinónimos y en otros fueron empleados indistintamente.

En la edición correspondiente al año 1932 del « Dana's Textbook of Mineralogy », Ford (15) distingue entre uraninita cristalizada y masiva, pero incluye a ambas variedades bajo el nombre común de uraninita y lo mismo hacen posteriormente Palache, Berman y Frondel (30).

Kerr (1950) puntualiza que no es necesario efectuar una distinción entre estas dos variedades y Davidson y Bowie (1951) usan el término uraninita en forma amplia, incluyendo en él a la forma macroscópicamente amorfa o sea a la pechblenda. En cambio, mineralogistas como Rogers, Yagoda, Ellsworth, Cohen y otros, las distinguen apoyándose en ciertas características propias de cada una.

Así, Rogers (34) dice que la uraninita es la forma cristalina del UO_2 , con un peso específico de 8.10 y con un bajo contenido en agua, mientras que la pechblenda es la forma masiva o amorfa, coliforme, de peso específico entre 6,8-8,5 y con un contenido en agua de 2 a 5 por ciento. Debemos aclarar aquí, que el contenido de agua no es un carácter distintivo entre estos dos minerales, como lo sugiere Rogers, por cuanto el mismo está relacionado, como se verá más adelante, con el grado de alteración del mineral.

Ellsworth (12) establece la diferencia en su composición química, pues afirma que la uraninita invariablemente contiene torio y tierras raras, mientras que la pechblenda carece de estos elementos o si ellos están presentes, sólo se hallan como trazas. Esta distinción tampoco parece ser exacta y recientemente, George (17) y otros autores opinan que desde el punto de vista químico, se puede establecer que la pechblenda nunca contiene más del 1,5 % de los óxidos de torio y de tierras raras combinados. La uraninita, en cambio, puede contener cantidades altas de estos elementos (pueden llegar al 15 %), o cantidades muy pequeñas (menores del 1 %). De modo que una distinción entre ambas variedades en base a su composición química, sólo se puede hacer en el caso de que dichos elementos estén presentes en cantidades superiores al 1,5 %.

Yagoda (38) las distingue basándose en la actividad alfa que emiten, ya que mientras para la uraninita el valor P_z (número de rayos alfa que escapan por cm^2), varía entre 338 y 271, para la pechblenda ese valor oscila entre 246 y 278.

Otra diferencia entre estas dos variedades, es la que se hace teniendo en cuenta el origen. Se afirma que la uraninita es de origen pegmatítico, mientras que la pechblenda es típica de vetas hidrotermales. Esta distinción tampoco parece ser definitiva, pues en yacimientos de origen hidrotermal se ha registrado la presencia de uraninita y porque además hay que tener en cuenta que la depositación de uno u otro mineral a partir de soluciones portadoras de uranio, depende de las condiciones de cristalización, que como sabemos son muy variables.

Ultimamente en 1953, Cohen (9) propone distinguirlas en base a que teniendo la uraninita y la pechblenda la misma estructura, la primera es cristalina macroscópicamente, en tanto que la segunda está constituida por cristales muy pequeños (de dimensiones menores de 10^{-3} cm aproximadamente), dispuestos sin ninguna orientación preferencial. De este modo según dicho autor, la única manera

de diferenciar estas dos variedades del UO_2 , es recurriendo a un diagrama de rayos-X sobre una astilla estacionaria del mineral. La pechblenda debido a su carácter de agregado policristalino, forma anillos continuos de Deybe-Scherrer, mientras que la uraninita origina espectros discontinuos de Laue sobre el diagrama.

Este último criterio es el que se ha seguido a grandes rasgos en este trabajo para diferenciar los minerales estudiados, pero al tratar cada uno en particular haremos referencia a las ideas expuestas anteriormente y que puedan aplicarse en cada caso.

Para finalizar diremos que Kidd y Haycock (17) han mostrado que el carácter responsable de la resistencia al ataque por los agentes corrosivos en secciones pulidas de estos minerales, es la relación $UO_3 : UO_2$. Así, dicen que la pechblenda en donde $UO_3 > UO_2$, es más blanda y más fácilmente atacable que aquella en donde la relación de dichos óxidos sea la inversa. De acuerdo con esto, distinguen tres tipos de pechblenda :

- a) *Tipo I* : $UO_2 : UO_3 = 5 : 1$, es de color gris claro, dura, densa, da un polvo negro y representa a la pechblenda en su estado original de depositación.
- b) *Tipo II* : $UO_3 : UO_2 = 10 : 1$, es gris oscura a negra, blanda, de polvo gris verdoso y es más fácilmente atacable que la I y representa la alteración por oxidación del tipo anterior.
- c) *Tipo III* : se presume que es idéntica al tipo I por sus propiedades físicas y resistencia al ataque ; aparece como finas bandas bordeando fracturas y aparentemente representa la alteración bajo condiciones reductoras del tipo I.

En cuanto a la uraninita, Palache, Berman y Frondel (30), distinguen algunas variedades como ser : *broggerita*, con ThO_2 en sustitución de UO_2 hasta un máximo de 15 % y con enriquecimiento en óxidos de tierras raras y Fe_2O_3 ; *cleveita* y *nivenita*, con óxidos de tierras raras (en el primer caso Ce_2O_3 , en el segundo Y_2O_3) y enriquecimientos en UO_3 , en sustitución del UO_2 .

3. LOS MINERALES PRIMARIOS DE URANIO EN LA REPÚBLICA ARGENTINA

La primera cita sobre la existencia de minerales primarios de uranio en la Argentina, se debe a Rigal (31) quien en 1935 los descubre

en la Cañada de Alvarez en la provincia de Córdoba, al estudiar las minas de columbita-tantalita de ese lugar. Ese mismo año Catalano (8) menciona en una muestra proveniente de San Javier de Córdoba, la presencia de pechblenda.

Diez años más tarde durante la exploración geológico-minera realizada por Fabricaciones Militares (4) en las pegmatitas de la Sierra de los Comechingones de Córdoba y San Luis, estos minerales se ponen de manifiesto en distintos lugares de dicha unidad orográfica, como ser en las minas « Chiquita », « Cerro Blanco », « Angel », « Al Fin Hallada », « Beatriz », « La Lagunita », « El Comedero », « Lourdes », cateo « Viejo Despeñado » y en la zona de la quebrada del Tigre.

En 1947, Pagés cita su existencia (1) en la mina de berilo « Santa Ana » (San Luis) y en 1949, Devito (1) hace lo mismo en la mina de niquelina « San Santiago » en La Rioja.

Al intensificarse los estudios en busca de minerales de uranio, se efectuaron nuevos hallazgos y en la actualidad se conoce la existencia de minerales primarios en distintos lugares de nuestro país, cuya ubicación puede verse en mapa adjunto

En Salta, se halla pechblenda asociada a niquelina y a piritita en la mina « La Niquelina », departamento Santa Victoria, además de uraninita en las pegmatitas de « El Quemado », « Tres Tetras » y « San Miguel Abad », del departamento La Poma. Ultimamente se ha encontrado estos minerales en dos nuevos afloramientos situados en la Serranía de Santa Victoria.

En La Rioja, se hallan presentes en las minas « San Santiago », departamento General Sarmiento; « San Victorio » y « Santa Brígida », Sañogasta, departamento Chilecito; « San Roque », departamento Independencia; en el cateo « Don Michel », Guanchín, departamento Chilecito; en las minas « Aurelia » y « Santa Teresita », departamento General Lavalle y recientemente se los ha hallado en la mina « Sonia », al NW de Guandacol.

En Mendoza se los conoce en los yacimientos « Cerro Huemul », departamento Malargüe y « Papagayos », departamento General Las Heras; en un afloramiento ubicado en la Cuesta de los Terneros, cerca de San Rafael; mientras que en San Juan se los ha localizado en la zona de Agua Hedionda.

En Córdoba y San Luis, además de los lugares ya citados, se conoce su presencia en la mina « La Estela » (ex « La Marquesa »), Villa Larca, San Luis, como asimismo en « Las Tapias », « El Criollo », « El Gaucho », « La Elsa » y otras de Córdoba.



Ubicación de los depósitos con minerales primarios de uranio

4. YACIMIENTOS ESTUDIADOS

En el presente trabajo, como se ha dicho, se encara el estudio de algunas uraninitas y pechblendas de los yacimientos citados, siendo las mismas las de las minas: «Las Tapias», «Angel», «Cerro Blanco», «La Elsa» y «Santa Ana», pertenecientes a cerros pegmatíticos; «La Estela», «San Santiago», «San Victorio», «La Niquelina», cateo «Don Michel» y en capítulo aparte el material asfáltico-uranífero del yacimiento «Cerro Huemul» portador de pechblenda. Todos estos últimos depósitos, corresponden a cuerpos mineralizados de origen hidrotermal.

Por lo tanto, previamente, daremos una breve reseña geológica de los yacimientos, cuyo mineral primario ha sido estudiado.

«*Las Tapias*»: Esta mina se ubica 2 km al NNW de la localidad homónima, en la pedanía Las Rosas, departamento San Javier, Córdoba. Se halla en una potente pegmatita rica en microclino y plagioclasa (oligoclasa), alojada en una ortoanfibolita, de rumbo general E-W e inclinación de $18^{\circ}30'$ S (4). Sus minerales principales son berilo y bismutita, habiéndose además citado la presencia de mica, espodumeno, turmalina, columbita-tantalita, calcopirita y magnetita.

«*Angel*»: En la Sierra de los Comechingones, pedanía Cañada de Alvarez, Calamuchita, Córdoba, unos 20 km al E de Merlo, se ubican los cuerpos pegmatíticos donde se asienta este pedimento minero. Los mismos son de notables dimensiones y se destacan sobre las micacitas y esquistos de la zona. El cuerpo pegmatítico (4) explorado tiene un rumbo general N-S e inclinación de 45° - 50° W y está constituido por feldespatos potásico, plagioclasa, cuarzo, escasa mica, además de granate, berilo, triplita, etc. Allí se encontraron nódulos de uraninita, con «gummita», uranofano y autunita, algunos de los cuales llegaron a pesar 4 kg.

«*Cerro Blanco*»: También se ubica en la Sierra de los Comechingones, en la pedanía Santa Rosa, departamento Calamuchita, Córdoba. En la zona afloran micacitas y algunas anfibolitas, cruzadas por distintas pegmatitas. La de esta mina (4) posee feldespatos, cuarzo, mica, con berilo, granate, columbita-tantalita, triplita, etc., y en ella se descubrieron nódulos de uraninita, junto a distintos minerales de alteración de la misma.

« *La Elsa* » : Se ubica dentro de los límites del cateo « Viejo Despeñado », en la cumbre de la Sierra de los Comechingones, departamento San Javier, Córdoba y unos 15 km al E de la población de San Javier. El ambiente geológico está constituido por micacitas y pegmatitas, siendo estas últimas variadas en forma y dimensiones (4). Están compuestas de cuarzo, feldespato, mica y como minerales accesorios llevan berilo, granate, triplita y minerales de uranio.

« *Santa Ana* » : Se ubica 45 km al NE de La Toma, departamento Pringles (San Luis). Se halla en un cuerpo pegmatítico, lenticular, cuya mineralización principal consiste en cuarzo, microclino, oligoclasa, muscovita y berilo, además de granate, triplita y litioflita.

« *La Estela* » : Se encuentra este yacimiento, actualmente en explotación, en la quebrada del río Seco, 5 km en línea recta al NE de Villa Larca, departamento Chacabuco (San Luis). En un granito rosado, algo porfirico, en el que se distinguen una serie de fallas, aparecen vetas de fluorita de color azul oscuro a negro violáceo (variedad fétida), portadoras de minerales de uranio. Entre éstos se conocía la existencia de uranofano y autunita, pero en 1955, Belluco y Parera (5) descubren la presencia de pechblenda en una de las labores del yacimiento, lo que abre promisorias perspectivas al mismo.

« *San Santiago* » : Esta mina, actualmente abandonada, se halla 42 km al E de Jagüe, La Rioja. Consiste en una veta de estructura brechosa, alojada en los esquistos cristalinos del Precámbrico, de rumbo 74° con buzamientos de 40° - 50° NW. Su mineralización está representada por abundante calcita, escasa niquelina, blenda, galena y calcopirita, además de pechblenda, la que aparece como delgadas capas de color negro oscuro, que preferentemente envuelven a la niquelina.

« *San Victorio* » : Este yacimiento, uno de los más ricos de nuestro país, se sitúa cercano al poblado de Sañogasta, 13 km al W de Nonogasta, departamento Chalecito, en la provincia de La Rioja. Está constituido por varias vetas que cortan a pizarras y esquistos del Paleozoico inferior, de rumbos generales NW-SE y NNE-SSW, de buzamiento casi vertical. La mineralización está compuesta por calcita a la que se asocian guías de fluorita violeta oscuro y minerales de uranio, entre los que se distinguen uranofano, tyuyamunita y

pechblenda, acompañados en general por minerales de cobre (sulfuros y carbonatos).

« *La Niquelina* » : Se halla 73 km al SE de La Quiaca, en la Sierra de Santa Victoria, departamento homónimo, Salta. Está constituida por un sistema de vetas alojadas dentro de cuarcitas precámbricas, de rumbo general N 30°-40° W, con buzamiento de 70° NE y guías orientadas de E-W de inclinación vertical. La mineralización consiste en niquelina, galena, blenda, pirita, calcopirita y pechblenda, esta última en delgadas capas de color negro.

Cateo « Don Michel » : Se sitúa este yacimiento en la quebrada de La Zanja, cercano a Guanchín, departamento Chilecito, La Rioja. En la zona (36) afloran sedimentos eopaleozoicos intruídos por granitos, pórfiros y lamprófiros mesopaleozoicos muy fracturados. La mineralización rellena delgadas guías conteniendo calcita, sulfuros de cobre y de hierro, yeso y minerales de uranio, entre los que se citan carnotita, uranofano y pechblenda.

« *Cerro Huemul* » : Este yacimiento actualmente en explotación, se ubica 46 km al SW de Malargüe, en la provincia de Mendoza. En areniscas y conglomerados del Diamantiano (Cretácico superior) de rumbo general N-S y buzamientos comprendidos entre 25° a 30° al W (25), se ubican cuerpos mineralizados de forma lenticular. Allí además de los minerales supergénicos determinados como uranofano, carnotita, tyuyamunita, autunita, fosfuranilita, asociados a carbonatos de cobre (malaquita y azurita), aparece en los niveles más inferiores del banco mineralizado, un material asfáltico uranífero, portador de pechblenda, que se halla asociada a calcopirita, bornita, calcosina, galena y pirita.

PARTE II

1. CARACTERÍSTICAS MACRO Y MICROSCÓPICAS

Algunas de las muestras fueron estudiadas por medio del microscopio calcográfico, con el fin de observar sus caracteres ópticos como asimismo la forma de presentarse, textura, minerales acompañantes y productos de alteración. A continuación se da una breve descripción de cada una de las muestras investigadas.

« *Las Tapias* » : La uraninita, en este caso, aparece formando pequeños nódulos de no más de 15 mm, de color negro azabache, muy frescos y que sólo presentan alteración en sus bordes y a lo largo de pequeñas fracturas. Los productos de alteración más comunes son « gummita » y uranofano. Al molerla da un polvo negro verdoso. Su dureza es 4,5-5 y su peso específico es 5,69.

Al microscopio aparece en secciones límpidas y frescas, algo fracturadas, observándose a lo largo de esas líneas de fractura una incipiente alteración. Su color de reflexión es gris castaño, de bajo poder reflectivo e isótropa y no presenta reflejos internos.

« *La Elsa* » : Se presenta como nódulos redondeados a oblongos de 2-3 cm de dimensiones máximas, bastante alterados en su periferia, pero con núcleo fresco. Al molerla da un polvo de color negro verdoso, su dureza es 5 y los productos de alteración observados en ella son « gummita » y uranofano.

Al microscopio presenta similares características que la muestra anterior (fig. 1).

« *La Estela* » : Aparece como nódulos de distinto tamaño y forma, algunos de 2-3 cm, otros mayores de hasta 6-7 cm, a veces redondeados, otras alargados e incluidos dentro de una veta de fluorita azul oscuro (fétida). Estos nódulos por lo general se encuentran alterados y cubiertos por una capa de material limonítico, pardo amarillento. Entre los minerales de uranio secundarios se determinaron « gummita », uranofano y escasa autunita. Al romperlos aparece en su interior la pechblenda que se halla bastante fracturada ; es de color negro grisáceo, polvo negro oscuro, dureza 4,5-5 y de peso específico 5,53.

Al microscopio presenta un color de reflexión gris castaño claro, es de bajo poder reflectivo e isótropa ; además se observa que la superficie no aparece límpida como en los casos anteriores, sino que salvo sus partes más internas bien frescas, va perdiendo gradualmente esa característica, apareciendo en partes moteada y pasando lentamente a sus productos de alteración ya citados. También en otros sectores se nota que su dureza es menor y que su color de reflexión es más oscuro, lo que puede deberse a una reprecipitación del UO_3 , proveniente de la pechblenda misma (fig. 2).

Cateo « Don Michel » : La pechblenda en este yacimiento aparece en delgadas venillas de 3-5 mm de ancho, o como pequeñas masas

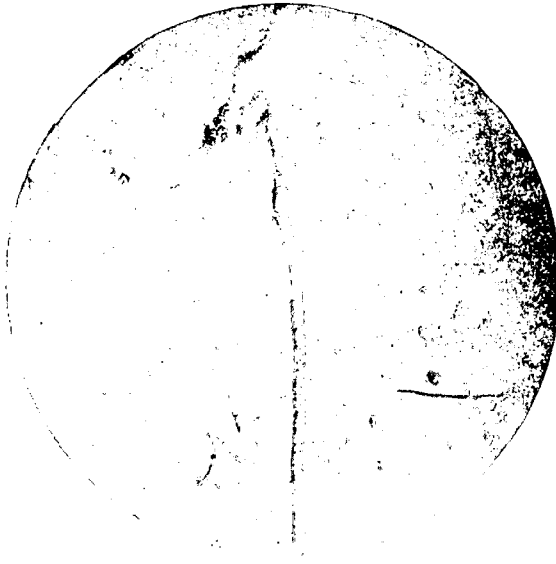


Fig. 1. — « La Elsa ». Uraninita. La alteración sólo se observa a lo largo de pequeñas fracturas. $\times 120$. N. P.

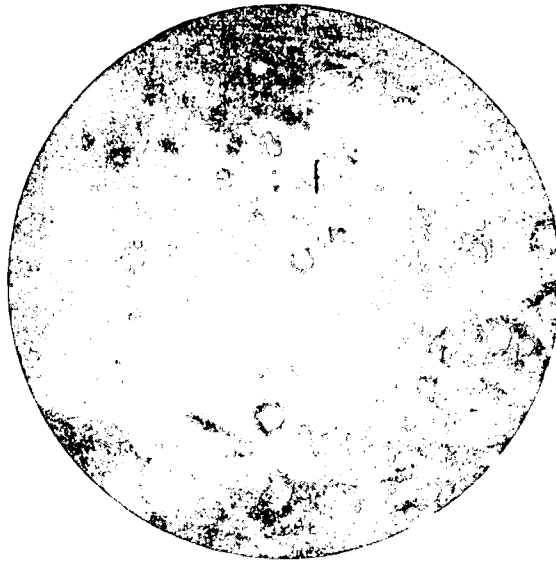


Fig. 2. — « La Estela ». Pechblende. En partes se observa moteada debido a la alteración ; asimismo se nota la presencia de fluorita (f). $\times 120$. N. P.

irregulares, a veces algo alargadas, en vetas rellenas por calcita y minerales de cobre que cortan a esquistos cuarzo micáceos. En general se halla fracturada, presentando bordes irregulares, botroidales, siendo su color negro castaño. Es blanda y mancha los dedos.

Al microscopio tiene color de reflexión gris castaño, bajo poder reflectivo. Pertenece probablemente al tipo II donde la relación $UO_3 : UO_2$ es aproximadamente 10 : 1. Se encuentra alterada y entre los minerales secundarios de uranio, se conocen carnotita y uranofano. También se encuentran asociados a ellos, minerales de cobre como malaquita, azurita y calcopirita, esta última relleno las fracturas que presenta la pechblenda (fig. 3).

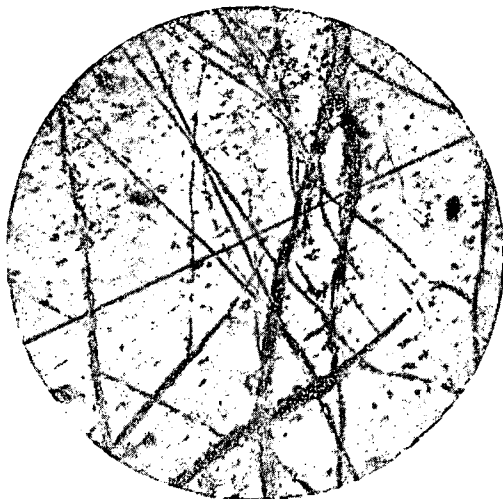


Fig. 3. — Cateo « Don Michel ». Pechblenda. Las fracturas que se observan están rellenas por minerales supergénicos de uranio. $\times 120$. N. P.

« *San Victorio* » : Se presenta relleno de delgadas vetas de no más de 1-2 cm de ancho, que cortan a pizarras de color castaño rojizo. Su color es negro oscuro, brillante, de polvo grisáceo, dureza 5 y su peso específico varía según las muestras, dando valores oscilantes entre 4,95 y 5,20. Se halla bastante alterada dando origen a uranofano y autunita y en niveles más inferiores se encuentra asociada a cuprita y cobre nativo.

Al microscopio aparece formando vetas de textura botroidal, reniformes, de color de reflexión gris castaño claro, reflejos internos color castaño y bajo poder reflectivo. Es isótropa en partes, pues debido a

la intensa alteración que presenta, se observa una leve anisotropía en otras.

Su superficie se encuentra muy moteada y sólo en pequeños sectores se la observa límpida; ello indica su grado de alteración (figs. 4 y 5).

« *San Santiago* » : Aparece aquí la pechblenda como finas películas botroidales o reniformes, de color negro oscuro que cubren por lo general a la niquelina, mineral común en este yacimiento. En otros casos forma nódulos redondeados de 1-1,5 cm de diámetro, cuyo interior está constituido por niquelina y que exteriormente se hallan recubiertos por una delgada cutícula oscura de este mineral primario de uranio. Al molerla da polvo negro oscuro y su dureza es aproximadamente 5.

Al microscopio aparece formando finas guías de color gris castaño, que bordean las secciones de niquelina, es isótropa, siendo su poder de reflexión bajo.

« *La Niquelina* » : En una roca cuarcítica con abundante pirita y guías de niquelina, se observan delgadas fisuras de hasta 3-4 mm de ancho, rellenas por una pechblenda de color negro oscuro grisáceo brillante, que al molerla da un polvo negro oscuro.

Observando al microscopio distintos cortes de este material, se ve que la misma aparece formando masas botroidales, reniformes, muy fracturadas, estando dispuestas las fracturas radialmente, dando una textura muy típica de este mineral (figs. 6 y 7). Los bordes de esas masas son redondeados y las fracturas parten desde su centro y llegan radialmente a la periferia, estando rellenas en este caso por pirita.

Su color de reflexión es gris castaño claro, mediano a bajo poder reflectivo y su superficie al igual que el caso de « *San Santiago* » y de las uraninitas de « *Las Tapias* » y « *La Elsa* », aparece muy límpida y fresca, indicando que no está muy oxidada ni alterada.

Ello se halla corroborado con los resultados de los análisis químicos (ver cuadro n° 1), que dan para esta muestra un contenido de UO_2 de 45,40 %, mientras que UO_3 sólo se halla presente en 21,52 %. Estos resultados pueden ser comparados con los obtenidos para otras pechblendas (« *San Victorio* » y « *La Estela* ») donde la relación entre dichos óxidos es la inversa. Otro factor digno de tenerse en cuenta es el bajo contenido de agua de ella, al igual que en el caso de « *San*

CUADRO N° 1. Análisis químicos

Análisis	1	2	3	4	5a	5b	5	6a	6b	6c	6	7	8
PbO.....	5.12 (4.75)	5.02 (4.66)	4.66 (4.33)	4.86 (4.51)	0.18 (0.17)	0.10 (0.09)	0.14 (0.13)	2.17 (2.01)	2.42 (2.25)	2.20 (2.04)	2.26 (2.10)	0.65 (0.60)	1.39 (1.29)
(Pb).....	51.80	16.38	26.51	22.70	23.84	26.30	25.07	11.66	14.87	17.95	14.83	53.46	45.40
UO ₃	35.87	62.90	58.69	64.35	53.08	58.53	55.80	55.12	53.27	50.78	53.06	19.79	21.52
(U ₂ O ₇).....	75.51 (89.05)	(66.78) (78.75)	(72.21) (85.15)	(73.56) (86.75)	(65.19) (76.87)	(71.89) (84.78)	(68.54) (80.82)	(56.15) (66.21)	(57.43) (67.73)	(58.08) (68.49)	(57.23) (67.49)	(63.59) (74.99)	(57.93) (68.31)
TiO ₂	0.51	7.50	0.10	0.15	tr.	0.01	—	tr.	0.02	0.03	0.02	tr.	tr.
T. Raras.....	0.21	0.42	0.10	0.68	0.34	0.80	0.57	0.52	0.64	0.94	0.70	0.91	0.73
(CeO ₂).....	no det.	(0.07)	no det.	(0.02)	(0.05)	(0.08)	(0.06)	(0.08)	(0.11)	(0.10)	(0.10)	(0.21)	(0.05)
ZrO ₂	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.15	0.08	0.13	0.50	0.95
CaO.....	0.20	0.74	0.54	0.43	6.00	4.43	5.21	3.76	3.89	7.00	4.88	5.20	1.40
MgO.....	0.00	0.00	0.20	tr.	0.08	tr.	—	0.10	0.08	0.52	0.23	no det.	0.78
SiO ₂	2.69	0.55	3.89	0.71	3.00	2.08	2.54	5.52	5.34	5.89	5.58	4.05	3.06
TiO ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.09	0.08	0.09	0.57	0.12
Fe ₂ O ₃	0.70	0.13	0.85	0.17	1.31	1.27	1.28	3.41	3.10	1.39	2.63	3.06	8.90
MnO.....	0.12	no det.	0.08	0.00	0.02	no det.	—	0.00	0.00	no det.	—	no det.	no det.
P ₂ O ₅	0.14	0.00	no det.	no det.	0.24	0.27	0.25	0.20	no det.	0.33	0.26	no det.	no det.
V ₂ O ₅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.03	0.04	0.19	0.23	0.19	0.20	0.00	0.00
SO ₃	0.00	0.00	tr.	0.02	2.18	0.25	1.21	1.80	2.21	0.84	1.62	1.04	10.40
H ₂ O+.....	1.61	5.21	3.50	5.20	6.47	5.12	5.79	8.97	7.81	4.52	7.10	2.94	2.72
Total.....	99.57	98.85	99.02	99.27	18.87	99.19	—	99.38	97.07	98.38	—	99.55	100.78
Pb ₂ UO ₃ Th	0.0628	0.0674	0.0600	0.0613	0.0026	0.0012	0.0019	0.0358	0.0392	0.0351	0.0367	0.0094	0.0223
Peso especif.	—	5.69	7.24	6.30	5.53	—	—	4.91	5.17	—	—	—	—

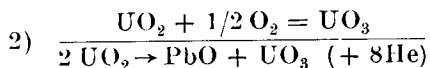
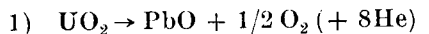
1. « Cerro Blanco » (u).
2. « Las Tapias » (u).
3. « Santa Ana » (u).
4. « La Elsa » (u).
- 5a. « La Estela » (p). Contiene además : CO₂ 1.03 ; F 0.93 ; MoO₃ 0.04 ; Se 0.07 ; CuO 0.00.
- 5b. « La Estela » (p). Muestra distinta ; contiene además : Se 0.04 ; MoO₃ 0.06 ; CuO 0.00.
5. « La Estela ». Promedio de 5a y 5b.
- 6a. « San Victorio » (p). Contiene además : CuO 3.50 Al₂O₃ 0.45 ; CO₂ 0.58 ; K₂O 0.89 ; Na₂O 0.26.
- 6b. « San Victorio » (p). Muestra distinta ; contiene además : CuO 2.95.
- 6c. « San Victorio » (p). Muestra distinta menos alterada ; contiene además : CO₂ 2.35 ; CuO 1.87 ; Al₂O₃ 1.37 ; F 0.35.
6. « San Victorio ». Promedio de 6a, 6b y 6c.
7. « San Santiago » (p). Contiene además : NiO 1.48 ; As₂O₃ 1.96 ; Cr₂O₃ 3.94.
8. « La Niquelina » (p). Contiene además : CuO 0.45 ; NiO 1.02 ; As₂O₃ 1.57 ; MoO₃ 1.27. La mayor parte del Fe está como Fe (II) y el S como sulfuro.

Santiago». En cambio en «San Victorio», una de las muestras analizadas registra un tenor cercano al 9 %. Nos encontraríamos entonces que las muestras de estos dos últimos yacimientos, son las más frescas de todas las investigadas y ellas corresponderían al tipo I de Kidd y Haycock (17).

2. INVESTIGACIÓN QUÍMICA

a) *Composición química.* — Tanto la uraninita como la pechblenda son mezclas, en proporciones variables de óxido uranoso (UO_2) y óxido uránico (UO_3). Si el material no sufrió oxidación meteórica hay generalmente un predominio del primero sobre el segundo.

La relación UO_2/UO_3 depende en el material fresco de la edad del mineral, ya que se considera que la uraninita (18) y también la pechblenda (10), (20) fueron originariamente UO_2 , el cual con el tiempo sufrió un proceso de «auto-oxidación» (12) a partir del oxígeno producido por la transformación radioactiva del uranio en plomo y helio de acuerdo a las igualdades 1 y 2.



Como se ve el contenido de UO_2 de estos minerales disminuye con el tiempo aunque estén completamente protegidos de la oxidación meteórica. La transformación completa del UO_2 a UO_3 por auto-oxidación se llevará a cabo por lo tanto al finalizar la primera vida media del uranio (4, 5 . 10^9 años). Sin embargo no es posible el empleo de la relación UO_2/UO_3 para la determinación de la edad absoluta debido a que la oxidación meteórica del UO_2 es muy activa.

Los principales iones que entran en la composición de la uraninita son probablemente, según S. I. Tomkeieff (35) los siguientes: catión uranoso (U^{+4}), catión uranilo (UO_2)⁺⁺ y anión uranato (UO_4)⁼.

La uraninita está probablemente caracterizada por un equilibrio dinámico entre los cationes uranoso y uranilo, que representan los miembros finales de la transformación U (IV) en U (VI).

La uraninita y la pechblenda contienen normalmente muchos elementos asociados. Algunos de ellos como las tierras raras y el torio forman mezclas isomorfas con el UO_2 ; otros como el Pb y el

He son productos finales de la desintegración del uranio y una gran mayoría son impurezas mecánicas. La presencia frecuente de los gases argón y nitrógeno se considera debida a la absorción de los mismos de la atmósfera (30).

Los elementos asociados nos permiten conocer las condiciones genéticas del mineral. Así por ejemplo la uraninita generalmente asociada a procesos de alta temperatura — facies pegmatítica — contiene a menudo tierras raras, Th, Cb, Ta, Ti, y Zr; mientras que la pechblenda asociada a procesos de baja temperatura — facies hidrotermales — contiene V, Se, Mo, S, Co, Ni, Bi, As, OH, etc.

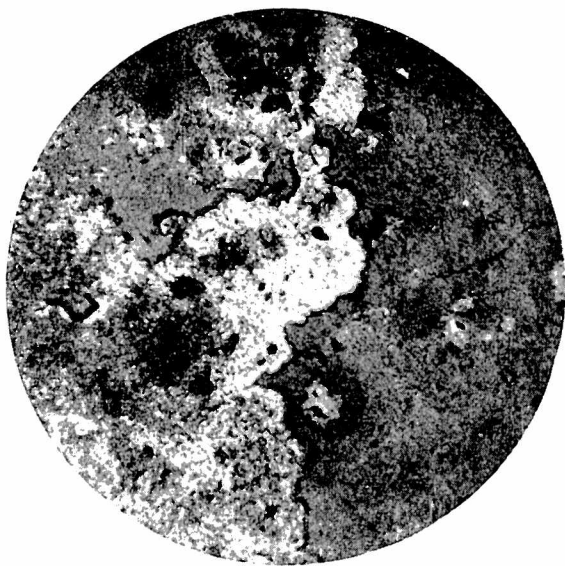
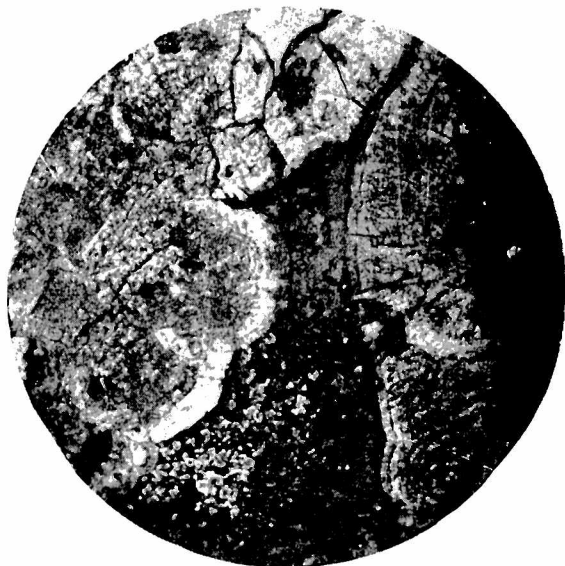
b) Alteración. — Es importante conocer cómo afecta la meteorización a los distintos elementos de estos minerales ya que generalmente se producen variaciones importantes en la composición original. Se ha podido establecer (30,11) que el porcentaje de tierras raras Th, y UO_2 decrece rápidamente con la meteorización. Este proceso se puede apreciar muy bien en las dos muestras del mineral de «La Estela» (5a y 5b) y en las tres muestras del mineral de «San Victorio» (6a, 6b y 6c) en los cuales hay distintos grados de oxidación.

La lixiviación de tierras raras y Th en la pechblenda de «San Victorio», ha producido un enriquecimiento notable de estos elementos en sus productos secundarios como puede apreciarse en el análisis de un uranofano del mismo yacimiento que se da a continuación :

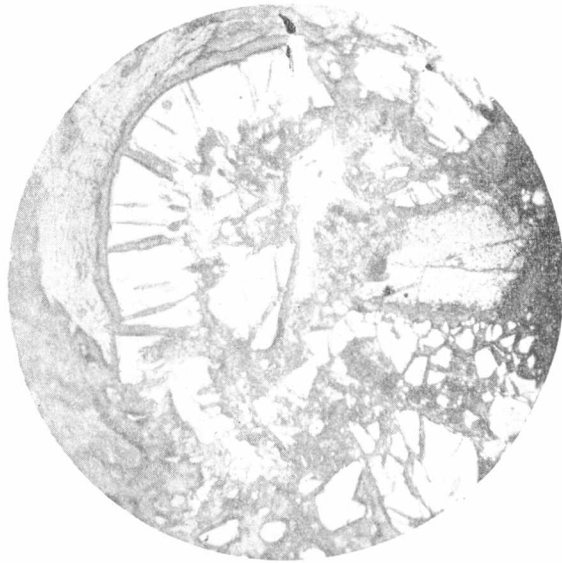
SiO_2	13.25 %
H_2O	13.85 »
Al_2O_3	3.05 »
Fe_2O_3	0.05 »
CaO.....	5.00 »
MgO.....	0.08 »
PbO.....	3.00 »
CuO.....	0.48 »
V_2O_5	0.86 »
Tierras raras.....	2.90 »
ThO_2	0.30 »
UO_3	56.01 »
Total.....	98.83 %

En general el contenido de H_2O y UO_3 aumenta con la meteorización y el uranio total tiende a disminuir.

Con respecto al plomo los datos bibliográficos (30,11) no son concordantes, debido posiblemente a su fácil fijación por otros iones (sulfato, carbonato, fluoruro, etc.).



Figuras 4 y 5 «San Victorio». Pechblenda. Obsérvese el moteado del la superficie, lo que nos indica el intenso estado de alteración de las muestras.
× 120. N. P.



Figuras 6 y 7 « La Niquelina ». Pechblenda. Típica estructura botroidal de este mineral en una cuarcita ; las fracturas entre los granos de pechblenda están rellenos por pirita. $\times 120$. N. P.

Sin embargo la relación $Pb/U + 0,36 Th$ no es muy afectada si el mineral permanece aún negro debido a un apreciable contenido de UO_2 (11).

c) Propiedades químicas. — La uraninita y la pechblenda son siempre fácilmente solubles en ácido nítrico diluído ($\pm 1:4$)¹⁹⁾.

La solubilidad en H_2SO_4 depende del grado de alteración. Minerales como « San Victorio », « La Estela », « Las Tapias », « Santa Ana » y « La Elsa », se disuelven en H_2SO_4 1:4 a ebullición; en cambio las muestras de « Cerro Blanco », « La Niquelina » y « San Santiago », se disuelven lentamente y con mucha dificultad. Calentados en tubo cerrado siempre producen cantidades variables de agua y si el mineral contiene selenio, aún en pequeñas cantidades como el de « La Estela », se producen anillos rojos de selenio metálico.

d) Análisis químico. — Estos minerales son de composición química compleja y su análisis ha sido resuelto con distintos procedimientos. Una recopilación bastante completa de marchas analíticas se encuentra en la obra de Doelter y Leitmeier (10) y otros trabajos que citamos en la bibliografía. Como sería sumamente extenso dar un detalle de las marchas analíticas seguidas en nuestro trabajo, sólo nos limitaremos a citar los métodos seguidos para los principales elementos. En general casi todos los elementos importantes se han verificado con análisis por duplicado y con métodos distintos.

Determinación de UO_2 : *a)* Disolución con H_2SO_4 1:6 en tubo cerrado a 150-175 °C — según Hillebrand (21) — y determinación volumétrica con $KMnO_4$ o separación como cupferrato de U (IV) impuro; purificación del uranio con cupferrón (método A. E. C., N° 2), reducción en Jones, precipitación final como cupferrato de U (IV) puro y calcinación a U_3O_8 ; *b)* disolución con H_2SO_4 1:4 a ebullición y pasaje de CO_2 — según Gleditsch y Bakken (20) — y luego como en *a)*; *c)* Disolución con HF y separación como UF_4 — según Hillebrand (21) — y luego determinación gravimétrica como en *a)*.

Determinación de plomo: *a)* Separación como sulfuro en medio nítrico no mayor de 0,3 N — eventualmente con agregado de sales de cobre como colector — y determinación final como $PbSO_4$; *b)* Determinación en muestra aparte; separación inicial como $PbSO_4$ impuro, seguido por extracción con acetado de amonio, precipitación como

sulfuro en presencia de sales de cobre y conversión a PbSO_4 puro; Eventualmente con disolución posterior en acetato de amonio y precipitación como PbCrO_4 .

Determinación de torio y tierras raras: Separación como fluoruros en HNO_3 débil, conversión de los fluoruros en nitratos y separación del calcio con amoníaco. Precipitación de tierras raras y torio como oxalatos (7,33) y separación del torio con hexamina (33). Determinación en muestra aparte de trazas de torio por el método de Grimaldi y Fairchild (19).

Determinación del uranio total: Precipitación final como cupferrato de U (IV) o $\text{NH}_2\text{U}_2\text{O}_7$ y calcinación a U_3O_8 .

En el cuadro N° I se dan los datos obtenidos.

3. ROENTGENOGRAFÍA

a) *Textura de las uraninitas y pechblendas.* — El criterio propuesto por Cohen (9) para la distinción entre uraninita y pechblenda en base a la textura¹ cristalina, lleva a asignar el nombre de uraninita al mineral cuyos cristales individuales exceden de las dimensiones necesarias para dar arcos Deybe-Scherrer continuos cuando se examinan con un haz de rayos-X, que incide sobre una astilla o grano estacionario del mineral. Cuando en vez de los espectros discontinuos, más o menos puntuales de un diagrama de Laue, se obtienen líneas de diagrama de polvo (con el fragmento del material examinado siempre estacionario), entonces el mineral se llamará pechblenda. Queda sobrentendido que la estructura cristalina de una y otra son idénticas, cúbica de caras centradas, tipo fluorita.

Ahora bien, es evidente que no sólo el tamaño medio de los cristales individuales es factor del resultado obtenido en la investigación de la textura por rayos-X, sino que también lo es la orientación de los cristales. Por ese motivo, existen varias posibilidades de las cuales examinaremos algunos, en términos de sus efectos sobre los diagramas de rayos-X.

Si el tamaño medio de los cristales individuales es macroscópico o

¹ Designamos con la palabra « textura » al tamaño relativo y a la orientación general de los granos en un agregado policristalino. En metalografía en cambio « textura » implica orientación preferencial, según la acepción más difundida.

está por arriba de aproximadamente 10^{-3} cm, siguiendo la técnica expuesta anteriormente se obtendrá un diagrama del tipo Lane.

Si el tamaño medio de los cristales individuales fuera menor que 10^{-3} cm aproximadamente, pero la orientación general fuera la misma en todos ellos, el diagrama resultaría similar. A medida que difiera la orientación pasando de «cristal mosaico» a agregado policristalino, los espectros se alargarán en arcos.

La posibilidad de estos casos transicionales atenúa apreciablemente la distinción entre uraninita y pechblenda. A más de esto, debe tenerse en cuenta que la alteración del mineral tiende a producir nuevas estructuras cuya orientación difiere de la original y es en general, la de un agregado policristalino. El efecto producido sobre el correspondiente diagrama sería análogo al obtenido cuando por ejemplo, en la astilla del mineral que se examina, hubiera otros minerales presentes con distinta orientación. Estos últimos casos son harto frecuentes y hacen que el criterio y procedimiento propuestos por Cohen deban ser aplicados cuidadosamente, y que, para tales casos, inclusive, la distinción entre uraninita y pechblenda, resulte difícil a más de superflua.

La aplicación de dicho criterio ha permitido en nuestro caso, la observación de los siguientes resultados y singularidades.

El mineral procedente de «San Victorio», «La Estela» y «Angel», indica claramente textura de agregado policristalino, tipo pechblenda. La misma textura se adjudica al mineral de «San Santiago» y de «La Niquelina», que no han sido examinados para ello por rayos-X, en razón de su modo de presentarse.

En el caso de la mina «Angel», debemos aclarar que por su modo de presentarse, origen y además por la similitud con otros minerales de iguales características (caso del mineral de las minas «La Elsa», «Santa Ana» y «Cerro Blanco»), los autores lo consideran como uraninita, a pesar del resultado obtenido, el que como se explica más arriba puede deberse a la alteración del mineral, que en este caso particular es notoria.

Las muestras de «Cerro Blanco» y «Santa Ana», corresponder a uraninita y con toda posibilidad lo sea también la de «La Elsa», en tanto que el diagrama del mineral de «Las Tapias», presenta un aspecto transicional. La reproducción de algunos de estos diagramas puede verse en la figura 8 (pág. 35), todos ellos se han tomado sobre una pequeña astilla estacionaria, en el centro de una cámara de Deybe-Scherrer de 57,3 mm de diámetro, con radiación de anticátodo de Fe, sin filtrar.

Llama la atención el hecho de que las muestras que por su aspecto y génesis, y por la aplicación de este criterio indican ser uraninitas o un término transicional, poseen un contenido en ThO_2 , que si bien es pequeño, es mayor que el de las pechblendas. El contenido en ThO_2 se ha usado repetidamente como criterio distintivo entre ambas variedades del dióxido de uranio, como ya se ha explicado anteriormente.

b) *Diagramas de polvo.* — Con el objeto de el valor de la constante reticular (a_0) para cada una de las muestras en estudio, se tomaron diagramas de ellas en una cámara de 10 cm de diámetro con radiación de Fe sin filtrar. El material se expuso en cilindros de polvo aglutinado con un cemento común sobre un delgado hilo de vidrio, que fué girado constantemente durante la exposición. El diámetro total del cilindro no excedió en ningún caso de 0,2 mm y los tiempos de exposición resultaron por consiguiente elevados.

A fin de obtener valores precisos se recurrió a las siguientes condiciones experimentales: centrado riguroso (microscopio), montaje asimétrico del film (Straumannis) para eliminar errores por contracción de película y radio incorrecto de la cámara. Los valores de a_0 fueron obtenidos la interpolación de Nelson y Niley, que fué previamente verificada para el foco de rayos X utilizado (exponencial), con una sustancia de referencia (Al, $a_0 = 4,409$) (23).

Los valores así obtenidos y dispuestos en orden decreciente, se consignan en el cuadro N° 2 (pág. 22).

CUADRO N° 2. — Valor de la constante reticular a_0 .

Localidad	a_0 (Å°)	ThO_2 %	U _e /U total
« Las Tapias »	5.469	7.50	77.00
« La Estela »	5.463	tr.	67.80
« Cerro Blanco »	5.456	0.51	39.55
« La Niquelina »	5.438	tr.	30.85
« La Elsa »	5.434	0.15	72.80
« Santa Ana »	5.431	0.10	67.60
« Angel »	5.424	no analizada	
« San Victorio »	5.415	0.02	79.55
« San Santiago »	5.403	tr.	25.90

Ninguno de ellos alcanza el valor $a_0 = 5,47$ lo que concuerda con lo observado por Sabina y Robinson (32), quienes dividen en tres gru-

pos los UO_2 que han estudiado, y agrupan en el primero de ellos, a los que poseen menos de un 10 % de ThO_2 y cuya constante reticular, se mantiene por debajo del valor 5.47 \AA° .

La correlación entre el tamaño de la malla elemental y el porcentaje en ThO_2 sólo puede intentarse para las muestras de « Cerro Blanco », « Las Tapias », « Santa Ana », « La Elsa » y eventualmente « San Victorio ». Excluyendo « Las Tapias » se observa una linealidad aceptable para el reducidísimo intervalo que va entre 0,10 y 0,51 % de ThO_2 de las uraninitas restantes. Debe tenerse en cuenta el efecto del Pb presente en la malla elemental que tiende a alterar el comportamiento más o menos lineal de un sistema simple de dos cationes.

La correlación entre la razón U_6/U total y el tamaño de la malla elemental resulta errática. Lo es también la relación entre dicha razón, índice de la alteración del mineral y la nitidez de los diagramas. Alguna de las muestras da diagrama débil y difuso, por ejemplo « San Victorio », comportamiento que permite asegurar que se trata de una pechblenda. En general las relaciones de intensidad entre las líneas son similares para todas las muestras examinadas, salvo para la de « La Estela », en la que la intensidad relativa de las líneas de espaciados $d_{(A_2)}$: 1,35; 1,24 y 1,21, se halla alterada respecto de las restantes.

Del ensanchamiento de las líneas de los diagramas sería difícil obtener alguna conclusión, porque dicho efecto, aún bajo las mismas condiciones experimentales, es computable a varias causas. No obstante, una de las más probables es el pequeño tamaño medio de los cristales individuales.

Todas las muestras han dado diagrama de UO_2 ; puede verse por los resultados del análisis químico que la proporción de átomos de oxígeno con respecto a los de uranio llega como valor mínimo a 2,29 ($\text{UO}_{2,2}$; « San Santiago »).

c) *Comportamiento térmico.* — Calentadas a temperaturas entre 950°C y 1.000°C , durante media hora al aire (mufla de cuarzo), las muestras examinadas por rayos-X (« Cerro Blanco », « La Elsa », « La Niquelina », « Las Tapias », « Angel », « La Estela ») dan diagramas similares entre sí y diferentes del de UO_2 , lo que, de acuerdo a Wasserstein (37) permite clasificarlas como « uraninitas α ». Sin embargo no se obtiene de ellas un diagrama de U_3O_8 ; tampoco el del « compuesto X » de Brooker y Nuffield (9).

4. EL MINERAL DEL YACIMIENTO « CERRO HUEMUL »

La existencia de pechblenda entre los minerales de la zona primaria de este yacimiento fué citada por primera vez por Angelelli (2) y confirmada posteriormente por uno de nosotros (25).

La investigación química de estos minerales no se ha hecho aún debido a que en general los sedimentos areniscos asfálticos portadores de uranio son de baja ley, y a las dificultades para separar la pechblenda de la materia orgánica uranífera que la acompaña. Nosotros hemos tenido la suerte de encontrar en la zona primaria del yacimiento trozos aislados de una arenisca notablemente enriquecida en uranio, que ha permitido iniciar una investigación química preliminar de la especie y algunos elementos asociados de importancia en la geoquímica del uranio.

A continuación se da un análisis completo de esta arenisca enriquecida. El análisis corresponde al producto natural sin ningún tratamiento previo. (Ver pág. 24).

La presencia de tierras raras confirma la adsorción de estos elementos por la materia asfáltica, como ya ha sido demostrado por H. Masursky (27).

El torio se encuentra sólo en trazas y por lo tanto debemos descartar en el material estudiado la presencia de thucholita — material carbonoso complejo cuyo nombre alude a su composición (Th, U, C, H, O) — que había sido supuesta en trabajos anteriores.

Análisis de la arenisca mineralizada. — Nivel O.

U ₃ O ₈	24.66	°/o
(U. total).....	(20.91)	»
PbO.....	0.0861	»
(Pb).....	(0.0799)	»
Tierras raras.....	0.255	»
(CeO ₂).....	(0.045)	»
ThO ₂	0.01	»
V ₂ O ₅	1.52	»
CuO.....	1.14	»
NiO.....	0.0012	»
S.....	2.68	»
Pérdida por calcinación.....	15.75	»
SiO ₂	43.80	»
Al ₂ O ₃	5.59	»
Fe ₂ O ₃	1.65	»
TiO ₂	0.16	»

ZrO ₂	0.00	°/o
CaO.....	0.31	»
Na ₂ O.....	1.37	»
K ₂ O.....	1.11	»
P ₂ O ₅	0.20	»
CO ₂	0.00	»
Total.....	100.29	°/o

Pb · U + 0.36 Th : 0.0038

La presencia de vanadio — posiblemente de baja valencia — y cobre, no requiere comentarios, ya que son asociaciones típicas en este tipo de material. El azufre se encuentra totalmente como sulfuro y una muy pequeña parte (0,30 °/o) como azufre libre (14).

La pérdida por calcinación comprende en su mayor parte la materia orgánica y también al azufre volátil.

Debe hacerse notar que existe en este material un residuo uranífero ácido-insoluble, de más o menos el 1 °/o de U₃O₈. Es imposible disolver esta fracción aún con tratamientos intensos con H₂SO₄ + HNO₃, HClO₄ o calcinando previamente la muestra. Sólo mediante un ataque HF + H₂SO₄ o disgregando con Na₂CO₃ se puede poner todo el uranio en solución. Este hecho fué observado anteriormente en un material parecido de ley alta (17 °/o U₃O₈) (25). Debe suponerse la presencia de algún silicato de uranio o bien adsorción de uranio por sílice coloidal.

Una fracción del material estudiado se sometió a un proceso de concentración física del uranio. Para ello se frotó una buena parte de la materia orgánica por agitación con hidróxido de sodio 0,1 N y benzol y luego previa levigación de la suspensión fina, se separó la fracción pesada con bromoformo. Se obtuvo así un concentrado con casi el doble de la ley de uranio inicial, pero conteniendo siempre materia orgánica. El análisis de este producto confirmó la presencia de U (IV). Recalculado el análisis a 100, menos las impurezas, se obtiene: UO₃ = 66.92 °/o; UO₂ = 33.08 °/o.

Debemos suponer que este UO₂ está formando parte de la molécula de pechblenda pues además de la confirmación roentgenográfica y de los numerosos antecedentes bibliográficos en materiales similares (29), la formación de otros compuestos como sulfosales es bastante improbable.

Por medio de rayos-X, ya había sido confirmada la presencia de pechblenda (25) en otra muestra proveniente de este yacimiento, por lo que para evaluar el valor de la constante reticular a₀, el concen-

trado fué estudiado roentgenográficamente, lo que se hizo bajo las mismas condiciones experimentales que en los casos anteriores. El valor obtenido fué: $a_0 = 5.407 \text{ \AA}^\circ$.

Sobre este material no se realizó investigación de «textura», ya que luego de la concentración se presentaba como un polvo bastante fino. Al diagrama típico de UO_2 , se agregan dos líneas débiles de espaciados $d: 4.21$ y $d: 3.32 (\text{ \AA}^\circ)$, que pueden interpretarse como originadas por el cuarzo, de acuerdo a los resultados del análisis químico del concentrado.

Análisis químico del concentrado

UO_3	27.84 °.
UO_2	13.76 »
(U_3O_8)	(41.62) »
(U. total).....	(35.29) »
Pérdida por calcinación.....	18.65 »
SiO_2	22.78 »
CuO	1.04 »
V_2O_5	0.85 »
$\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3$	12.02 »
(S volátil).....	(2.02) »

La investigación de la materia orgánica que acompaña al uranio, fué realizada por el doctor G. Fester y J. Retamar (14). Para ello se utilizó una fracción de la misma arenisca analizada por nosotros.

Para enriquecer la materia orgánica estos autores sometieron el material finamente pulverizado a una especie de «flotación» por agitación en embudo separador con agua destilada (o hidróxido de sodio 0,1 N) y benzol, dejando en reposo una noche y separando luego el flotado carbonoso. El enriquecimiento de materia orgánica en el flotado es de 3-4 : 1. La flotación de nuestro material dió un 8.16 % de concentrado orgánico y uno 91.84 % de fracción pesada.

El concentrado orgánico dió la siguiente composición:

Carbono.....	36.47 °.
Hidrógeno.....	3.34 »
Nitrógeno.....	7.49 »
Azufre (volátil).....	6.13 »
Cenizas.....	46.67 »
(U_3O_8)	(14.22) »
$(\text{U}_3\text{O}_8 \text{ en cenizas})$	(30.46) »
(P_2O_5)	(0.16) »
Total.....	100.10 %.

Para la materia orgánica se puede calcular la siguiente composición:

Carbono.....	77.10 %
Hidrógeno.....	7.06 »
Nitrógeno.....	15.83 »

La fracción pesada dió el siguiente análisis :

Carbono.....	8.06 %
Hidrógeno.....	1.39 »
Nitrógeno.....	0.66 »
Azufre (volátil).....	2.50 »
Cenizas total.....	87.70 »
(U ₃ O ₈).....	(25.59) »

La ley de uranio en el producto orgánico es siempre más baja que en el mineral primitivo, pero resulta muy alta cuando se la calcula sobre las cenizas del producto orgánico. El análisis de los componentes inorgánicos de la materia orgánica, en un ensayo hecho por nosotros dió los siguientes resultados :

Pérdida por calcinación.....	50.40 %
U ₃ O ₈	17.20 »
SiO ₂	16.50 »
CuO.....	2.13 »
V ₂ O ₅	0.99 »
Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃	7.60 »

Tratando la fracción orgánica con Na₂CO₃ 10 % a ebullición, durante 24 hs., se puede extraer más o menos el 65 por ciento del uranio. El complejo de uranio y sodio acidificado con HNO₃ no precipita el compuesto organo-uranífero, amarillo y fluorescente, señalado por T. D. O'Brien (29). No sabemos por el momento, si parte del uranio forma un compuesto organo-uranífero o si simplemente está adsorbido.

En las zonas de meteorización del yacimiento «Cerro Huemul» se han formado por oxidación y alteración del mineral primario dos especies uraníferas dominantes: carnotita y tyuyamunita, asociadas con carbonatos básicos de cobre —especialmente malaquita—. A continuación damos un análisis químico completo de las tres especies mencionadas.

Análisis	1*	2*	3*
	(%)	(%)	(%)
UO ₃	49.20	41.24	5.20
V ₂ O ₅	15.80	13.60	0.005
H ₂ O	5.95	12.73	16.32
K ₂ O	6.42	0.48	no det.
Na ₂ O	0.55	0.17	no det.
CaO	1.10	3.72	0.24
MgO	no det.	tr.	tr.
SiO ₂ + insoluble	16.45	19.93	10.99
Al ₂ O ₃	3.25	no det.	0.05
Fe ₂ O ₃	0.50	1.37	0.27
CuO	0.12	4.03	54.50
SO ₃	no det.	no det.	6.22
CO ₂	0.17	tr.	6.65
Totales	99.51	97.21	100.44

1. Carnotita, zanja I; 2. Tyuyamunita, zanja III; 3. Malaquita, zanja III.
(Los datos roentgenográficos de 1 y 2 pueden verse en (25).

* Sobre sustancia secadas en higrostató a 14 mm de tensión de vapor.

Con los datos de los análisis 1 y 2 podemos recalcular a 100, eliminando las impurezas, obteniéndose entonces los siguientes resultados:

Análisis	UO ₃	V ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	H ₂ O
1. Carnotita.	62.3	20.0	8.1	0.7	1.4	7.5
2. Tyuyamunita.	57.3	18.9	0.7	0.2	5.2	17.7

Resumiendo, podemos decir que el material asfáltico uranífero del yacimiento «Cerro Huemul», está constituido por una arenisca impregnada por un pirobitumen asfáltico, el cual en la muestra analizada por nosotros, está caracterizado por la falta de oxígeno y el tenor elevado de nitrógeno. El uranio está presente en dos formas: a) como pechblenda, lo que se ha comprobado por la existencia de UO₂ en los análisis químicos y verificado por medio de rayos X; b) posiblemente formando un compuesto organo-uranífero o sino simplemente absorbido por la materia orgánica.

Además en base a los datos analíticos, se descarta la presencia de thucholita, debido al bajo tenor de ThO₂ (0.01 %, que debía ser mucho mayor si este mineral estuviera formando parte de la mena metalífera.

5. SOBRE LA EDAD DE LAS MUESTRAS ESTUDIADAS

Utilizando la relación Pb : U, en la siguiente fórmula que da la edad aproximada (30):
$$\text{Edad} = \frac{\text{Pb}}{\text{U} - 0.36 \text{Th}} \cdot 7.600 \cdot 10^6 \text{ años}$$
, se puede calcular la edad.

Los errores de las edades calculadas según la fórmula dada, residen principalmente en los cambios de la relación Pb : U, que introduce la alteración del mineral, y en la cantidad de Pb presente en él, que no se deba al progreso de escisión de los átomos de U. Si el mineral poseía en el momento de su formación, Pb en una u otra forma, éste se sumará al isótopo proveniente del proceso radioactivo, y los resultados que se obtengan para la edad serán erróneos, por exceso.

La alteración del mineral no introduce un cambio previsible en la relación Pb : U. Parece haber, sin embargo, una disminución en dicha relación, desde las zonas menos alteradas, a los que lo están más (ver por ejemplo *Dana's System*, pág. 616). Si bien una variación resulta a veces errática, su disminución puede atribuirse al hecho de que el Pb es lavado más fácilmente que el U. Esto tendría por resultado que la edad calculada sería menor que la real. Como el Th es más fácilmente lavado que el Pb y el U, el efecto se atenúa en pequeña parte. Análisis hechos por Chaudet (1) de una uraninita de la Quebrada del Tigre y de sus productos de alteración « gummita anaranjada », « gummita amarillenta » y « ocre », indican que la relación Pb/U va aumentando, desde el mineral primario hasta sus productos de alteración (hasta aquellos que no han alcanzado la zona de los silicatos, al menos), tal como sí el Pb permaneciera « in situ » y el U fuera disuelto y transportado.

Asimismo, Frondel (16), en su reciente trabajo sobre « gummitas », al discutir la alteración de la uraninita, dice (en traducción libre): « En el segundo estado de alteración, la uraninita es destruída y sus constituyentes son reorganizados en minerales hidratados de plomo y uranio de la zona rojizo-naranja de la gummita. El cambio implica oxidación completa del uranio hasta U^{+6} , e hidratación sin ganancia de otro material que agua, pero, posiblemente, con lavado de uranio en parte, respecto del plomo ». En contraposición, pues, al hecho de que el Pb sea más fácilmente soluble que el U, cuando la alteración conduce a la formación de los minerales de la « gummita », parecería que el Pb es retenido, y por lo tanto la relación Pb/U, llevará a calcular, debido a la alteración, una edad más elevada que la real.

Además para que el método citado dé resultados correctos, es necesario contar con muestras lo más frescas posibles.

Los inconvenientes esbozados tienden a eliminarse con la aplicación de las relaciones entre isótopos, cuya determinación implica la utilización de métodos especializados, como la espectroscopia de masas, etc. No obstante la edad calculada a partir de los datos del análisis químico, aplicando la fórmula anterior, o una versión corregida (logarítmica) de la misma, llevan a resultados fidedignos, si la alteración del mineral no es muy pronunciada (Ver Dana's System, pág. 618).

En nuestro caso, al no contar con muestras que reúnan las condiciones deseables explicadas anteriormente, no se ha intentado efectuar el cálculo de la edad. Creemos de todas maneras que el problema de la edad de estos minerales, necesita de la aplicación de métodos más exactos y modernos, que los del simple análisis químico.

6. CONCLUSIONES

En base a las investigaciones llevadas a cabo y reseñadas en páginas anteriores, podemos decir que el mineral de las minas « Las Tapias », « Angel », « Cerro Blanco », « La Elsa » y « Santa Ana », es uraninita, basándonos no sólo en las determinaciones de rayos-X, sino también en los resultados de los análisis químicos, pues en ellas es donde se registra el mayor contenido de torio y de tierras raras, de todas las muestras analizadas (aún cuando el mismo no es elevado, salvo el caso del primero de los yacimientos citados). Además su origen pegmatítico es otro punto de vista que nos permite aseróverar tal clasificación.

En cuanto a los yacimientos « La Estela », « San Victorio », « Don Michel », « San Santiago », « La Niquelina » y « Cerro Huemul », el mineral primario es pechblenda, como lo certifican los diagramas de rayos-X (casos de « La Estela », « San Victorio » y « Cerro Huemul ») y los análisis químicos que muestran la asociación característica de este mineral con ciertos elementos químicos, como ser el Se y Mo en « La Estela », el V y S en todas ellas, etc. Asimismo las condiciones geológicas permiten asegurar el origen hidrotermal de estos depósitos.

Es de destacar en estas muestras el bajo contenido de torio y de tierras raras, en contraste con lo observado en las uraninitas.

Con respecto al contenido de agua, el mismo es variable, depen-

diendo del grado de alteración del mineral. De este modo queda demostrado que el contenido de agua no es un criterio distintivo entre estas dos variedades, pues como se observa en los análisis (ver

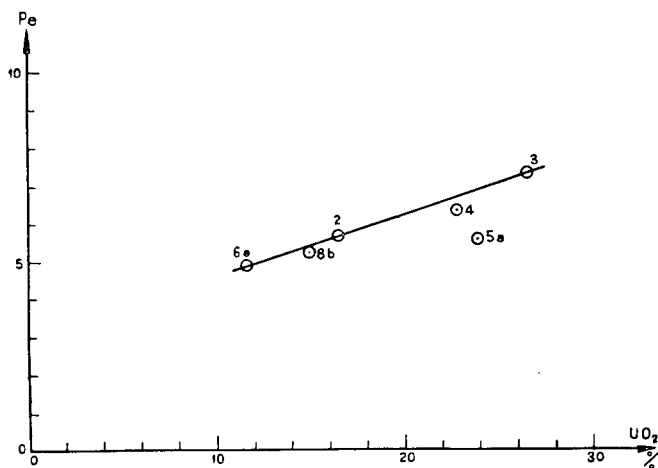


Gráfico N° 1. — Relación entre peso específico y UO₂

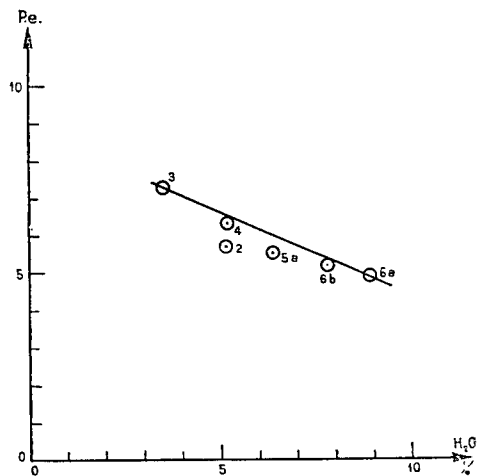


Gráfico N° 2. — Relación entre peso específico y agua

Cuadro n° 1), tanto una como otra tienen cantidades variables de agua.

Además se observa que las muestras con menores indicios de alteración, son las de las minas « Cerro Blanco », « San Santiago » y « La Niquelina », donde al bajo contenido de agua se asocia el alto contenido de UO₂. En los gráficos n° 1 y 2, podemos observar la

relación entre el contenido de agua y el peso específico y el de éste último y el contenido de UO_2 , notándose que a medida que disminuye el contenido de agua y aumenta el de UO_2 , el peso específico es cada vez mayor.

De la confrontación de los distintos criterios expuestos en la Parte I, 2, se observa que existe acuerdo entre las determinaciones efectuadas por el criterio de Cohen (9) y las que se desprenden del análisis químico y de la génesis de los yacimientos en que se encuentran los minerales, motivo de este estudio.

LISTA DE LOS TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

1. ANGELLELLI, V. 1950. *Recursos minerales de la República Argentina. I Yacimientos metalíferos*. Rev. Mus. Arg. Cs. Nat. B. Rivadavia, Ss. Geol. 11. Buenos Aires.
2. — 1955. *Yacimientos de minerales de uranio en la Argentina*. Rev. Mundo Atómico, VI, 20, Buenos Aires.
3. — 1955. *Distribución y características de los yacimientos y manifestaciones uraníferas de la República Argentina*. Int. Conf. Peac. Uses of Atom. Energy. A/CONF. 8/P1999. Ginebra.
4. ANGELLELLI, V. y VARESE, F. J. 1947. *Exploración geológico-minera de las pegmatitas uraníferas de la Sierra de Comechingones. Córdoba y San Luis*. Dir. Gral. Fab. Mil. (inéd.) Buenos Aires.
5. BELLUCO, A. E. y PARRERA C. A. 1955. *Informe preliminar geológico-minero acerca de las posibilidades del yacimiento « La Marquesa »*. C. N. E. A., Sec. Cuyo (inéd.) Mendoza.
6. BROOKER, E. J. y NUFFIELD, E. W. 1952. *Studies of radioactive compounds : IV. Pitchblende from Lake Athabaska*. Amer. Miner., XXXVII, págs. 363-385.
7. CARRON, M. K. y otros. 1955. *Determination of Thorium and of Rarer Earth elements in Cerium Earth minerals and ores*. Anal. Chem., XXVII, 7.
8. CATALANO, L. 1940. *Los radio elementos y la constitución-atómico-corpúscular de la materia y energía. Yacimientos argentinos de uranio, radio, vanadio, niobio y tantalio*. Ed. El Ateneo. Buenos Aires.
9. COHEN, W. J. 1953. *A note on Pitchblende and Uraninite*. U. S. Atom. Energ. Comm. Ann. Rep. RME, 3045.
10. DORLTER, C. y LEITMEIER, H. 1929. *Handbuch der Mineralchemie*. IV, 2. Dresden y Leipzig.
11. ELLSWORTH, H. V. 1930. *Four stages in the alteration of Villeneuve Uraninite*. Amer. Miner. XV, 10.
12. — 1932. *Rare-elements minerals of Canada*. Canada dpt. of Mines Geol. Surv. Ec. Serie 11, pág. 45.
13. FENNER, C. W. 1928. *Determination of U, Th and Pb as a basis for age calculation*. Amer. Journ. Sc. XVI.

14. FESTER, G. y RETAMAR, F. 1957. *Examen del material primario de la mina « Cerro Huemul »*, Mendoza. Univ. Nac. Lit. (inéd.). Santa Fe.
15. FORD, W. E. 1932. *A Textbook of Mineralogy by E. S. Dana*. 4th. ed. Wiley and Sons. N. York.
16. FRONDEL, C. 1956. *Mineral composition of gummite*. Amer. Miner. XLI, págs. 539-568.
17. GEORGE, D. 1949. *Mineralogy of Uranium and Thorium bearing minerals*. U. S. Atom. Energ. Comm. RMO-563.
18. GOLDSCHMIDT, V. M. y THOMASSEN, L. 1932. *Videnskapsselskapets-Skrifter I. Mat. naturv. Klasse Kristiana*, 2, 12.
19. GRIMALDI, F. S., MAY, I., FLETCHER, M. y TITCOMB, J. 1954. *Collected papers on Methods of Analysis for Uranium and Thorium*. Geol. Surv. Bull. 1006.
20. HECHT, F., KRAFFT-EBBING, H. 1936. *Ueber einen neuen Weg zur gravimetrischen Trennung von vier und sechswertigen Uran*. Z. anal. Chem. 106, págs. 321-330.
21. HILLEBRAND, W. F. *On the occurrences of nitrogen in Uraninite and on the composition of Uraninite in general*. U. S. Geol. Sur. Bull. 7.
22. KERR, P. F. 1955. *The Natural Occurrence of Uranium and Thorium*. Int. Conf. Peac. Uses of Atom. Energy. A/CONF. 8/P 1114. Ginebra.
23. KLUG, H. P. y ALEXANDER, L. E. 1954. *X-Ray diffraction procedures*. Wiley and Sons. N. York.
24. HORNER, E. HECHT, F. 1928. *Berträge zur Methodik der chemischen Analysen der Uranpechblenden. Sitzungsberichte Wirt. Akad.* 137, II b.
25. LINARES, E., *El yacimiento « Cerro Huemul », Malargüe, provincia de Mendoza*. Tesis Fac. Cs. Exac. y Nat. Buenos Aires.
26. MANESCHI, E. y GORDILLO, C. E. 1954. *Informe sobre la existencia de un residuo uranífero ácido-insoluble en el mineral primario del yacimiento « Cerro Huemul »*. C. N. E. A. (inéd.), Córdoba.
27. MASURSKY, H. 1955. *Trace elements in coal in the Red Desert, Wyoming*. Int. Conf. Peac. Uses of Atom. Energy. A/CONF. 8/P/56. Ginebra.
28. MUENCH, O. B. 1937. *The determination of Uranium, Thorium and Lead in Thucholite*. Journ. Amer. Chem. Soc. 59, págs. 2269-70.
29. O'BRIEN, T. D. *Uranium occurrence in Asphaltites*. U. S. Atom. Energ. Comm. Techn. Rep. RME, 3040.
30. PALACHE, C., BERMAN, H. y FRONDEL, C. 1944. *The System of Mineralogy of J. D. and E. S. Dana*. 7th. ed. Wiley and Sons. N. York.
31. RIGAL, R. 1935. *Las minas de columbita y tantalita y el descubrimiento de los minerales de uranio radioactivos, en la Cañada de Álvarez, departamento Calamuchita, Córdoba*. Min. Agric. Nac. Dir. Min. y Geol. Bol. 45. Buenos Aires.
32. ROBINSON, S. C. y SABINA, A. P. 1955. *Uraninite and Thorianite from Ontario and Quebec*. Amer. Miner. XL, pág. 624.
33. RODDEN, C. J. 1950. *Analytical chemistry of the Manhattan project*. Div. VIII, I, McGraw Hill.
34. ROGERS, A. F. 1947. *Uraninite and Pitchblende*. Amer. Miner. XXXII, pág. 90.
35. TOMKEIEFF, S. I. 1946. *The geochemistry of Uranium*. Science Progress, XXXVII, págs. 696-712.

36. TOUBES, R. O. 1957. *Contribución al conocimiento del yacimiento uranífero de Guanchín, departamento Chilecito, provincia de La Rioja*. C. N. E. A. (inéd.), Chilecito.
37. WASSERSTEIN, B., *Ages of Uraninite by a new method*. Nature 174.
38. YAGODA, H. 1946. *The localization of Uranium and Thorium minerals in polished section. The alpha ray emission pattern*. Amer. Miner. XXXI, 3-4 y 5-6.

Comisión Nacional de Energía Atómica.
Servicio Geológico-Minero.
Abril de 1957.

REFERENCIAS AL MAPA DE UBICACIÓN DE LOS DEPÓSITOS CON MINERALES PRIMARIOS DE URANIO

1. Quebrada de Quirusillal, depto. Santa Victoria. Salta.
2. « La Niquelina », depto. Santa Victoria. Salta.
3. « El Quemado » y « Tres Tetos », depto. La Poma. Salta.
4. « San Miguel Abad », depto. La Poma. Salta.
5. « San Santiago », depto. Gral. Sarmiento. La Rioja.
6. « San Victorio » y « Santa Brígida », depto. Chilecito. La Rioja.
7. Cateo « Don Michel », depto. Chilecito. La Rioja.
8. « Sonia », depto. Gral. Lavalle. La Rioja.
9. « Santa Teresita » y « Aurelia », depto. Gral. Lavalle. La Rioja.
10. « San Roque », depto. Independencia. La Rioja.
11. « El Gaucho » y « El Criollo », depto. Punilla. Córdoba.
12. « Las Tapias », depto. San Javier. Córdoba.
13. Quebrada del Tigre y « La Chiquita », depto. San Javier. Córdoba.
14. « Cerro Blanco » y « Al Fin Hallada », depto. Calamuchita. Córdoba.
15. « Angel », depto. Calamuchita. Córdoba.
16. « Beatriz », depto. Junín. San Luis.
17. « Irma », depto. San Javier. Córdoba.
18. « La Estela » (Ex « La Marquesa »), depto. Chacabuco. San Luis.
19. « Santa Ana », depto. Pringles. San Luis.
20. « Papagayos », depto. Gral. Las Heras. Mendoza.
21. Cateo « Los Chañares », depto. San Rafael. Mendoza.
22. « Cerro Huemul » y « Agua Botada », depto. Malargüe, Mendoza.

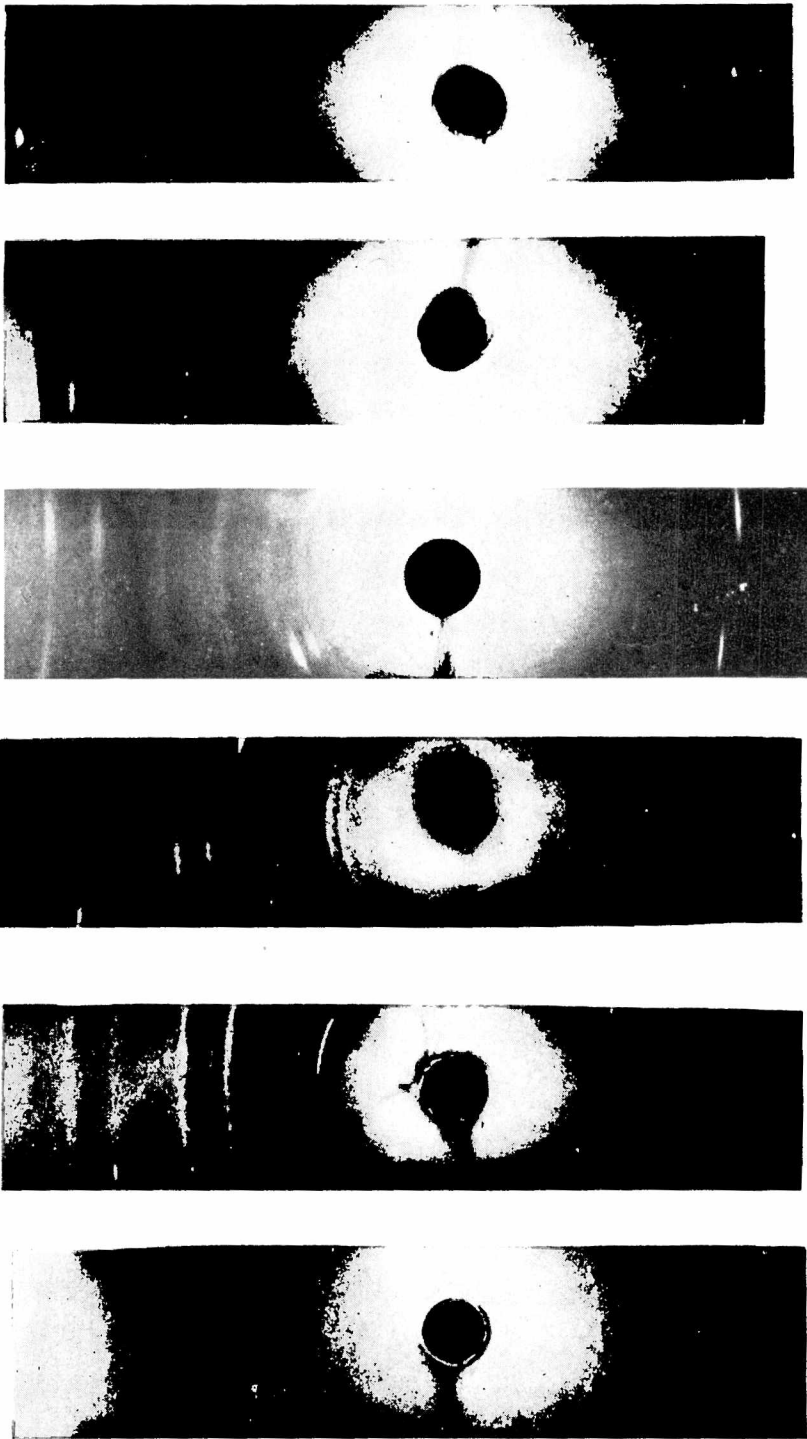


Fig. 8.—Diagramas de rayos-X según el método propuesto por Cohen. Obsérvense las transiciones desde uraninita a pechblenda: *a*, «Cerro Blanco» (u); *b*, «Santa Ana» (u); *c*, «La Elsa» (u); *d*, «Las Tapias» (u); *e*, «San Victorio» (p); *f*, «La Estela» (p).