

RG
061.3: 621.039
In8
1982

05.83.05

C.N.E. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
NO 1	AÑO 1983

Reprint from

"NUCLEAR POWER EXPERIENCE"

VOL. 3

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
VIENNA, 1983

DESARROLLO Y PRODUCCION DE MATERIAS PRIMAS NUCLEARES EN LA ARGENTINA

R.E. COSTARELLI, A.E. BELLUCO,
R.C. COPPA
Comisión Nacional de Energía Atómica,
Buenos Aires,
Argentina

Abstract—Resumen

DEVELOPMENT AND PRODUCTION OF NUCLEAR RAW MATERIALS IN ARGENTINA.

Since 1952, the Argentine National Atomic Energy Commission has taken a number of progressive steps towards the development of uranium prospecting, exploration and production technology in Argentina. The results obtained may be summarized by saying that a high level of capability has been achieved in the methods applied at various stages, good use being made of human, technical and infrastructural resources; this has made it possible to establish that Argentina has almost 1 000 000 km² of terrain geologically favourable for the occurrence of uranium. Prospecting has covered only a limited part of this area. Nevertheless, the uranium resources determined so far are sufficient to meet the requirements of the Argentine Nuclear Plan for supplying the nuclear power plants foreseen under that Plan. At the same time technologies have been developed for application to underground and open-face mining and to the construction and operation of uranium concentrate (yellow cake) production plants, of which two are in operation, two temporarily out of service, two under construction and one in the planning and bidding stage. It should be noted that so far 80% of the installed production capacity has been based on the application of the pile leaching technique. In addition to this raw materials mining phase, advances have been made towards acquiring technologies for the nuclear purification of concentrates and their conversion into ceramic-grade uranium dioxide, including establishment of a suitable industrial production complex which will meet the UO₂ needs of the first nuclear power plants. At the same time, specifically Argentine technologies have been developed for nuclear purification and ceramic-grade UO₂ production from ammonium uranyl tricarbonate; this has reached the demonstration plant stage.

DESARROLLO Y PRODUCCION DE MATERIAS PRIMAS NUCLEARES EN LA ARGENTINA.

La Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) de la Argentina ha cubierto desde 1952 hasta la fecha, una serie de definidas etapas evolutivas en el desarrollo de tecnologías aplicadas a la prospección, exploración y producción de uranio en el país. Los resultados obtenidos pueden sintetizarse consignando que se ha logrado un elevado nivel de capacitación en las metodologías aplicadas en las diversas etapas con una buena implementación de recursos humanos, técnicos y de infraestructura, lo que ha permitido establecer que el país posee un importante grado de favorabilidad geológico-uranífera sobre casi 1 000 000 de km². Solamente se ha cubierto con prospección un limitado ámbito de dicha superficie. No obstante, los recursos de uranio cubiertos a la fecha cubren los requerimientos del Plan Nuclear Argentino para el abastecimiento

de las centrales nucleares previstas en el mismo. Paralelamente se han desarrollado las tecnologías de aplicación a la explotación minera subterránea y a cielo abierto como asimismo a la construcción y operación de plantas de producción de concentrados de uranio ("yellow cake") que suman 2 en operación, 2 temporalmente fuera de servicio, 2 en construcción y otra en etapa de proyecto y licitación. Se destaca que, hasta la fecha, el 80% de la capacidad de producción instalada está basada en la aplicación de la técnica de lixiviación en pilas. Completando esta fase de elaboración de materias primas, se ha avanzado en la obtención de tecnologías para la purificación nuclear de los concentrados y la conversión a dióxido de uranio grado cerámico, disponiéndose del correspondiente complejo industrial de producción, que atenderá los requerimientos de UO_2 de las primeras centrales. Simultáneamente, se han desarrollado tecnologías propias de purificación nuclear y obtención de UO_2 grado cerámico a partir de uranil tricarbonato de amonio, con desarrollo al estado de planta de demostración.

1. DESARROLLO GEOLOGICO-MINERO DE LOS RECURSOS URANIFEROS ARGENTINOS

1.1. Favorabilidad geológico-uranífera

Las etapas de investigación geológica y las tareas de prospección, exploración y evaluación, desarrolladas por la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) desde 1952, permiten clasificar a la Argentina como uno de los países del mundo que posee un elevado Índice de Favorabilidad Geológico-Uranífera (IFGU).

Dentro de los 2 795 700 km² de superficie que cubre su territorio continental e insular, se ha delimitado un ámbito de 1 000 000 km², que constituye una de las más importantes unidades metalogénicas dentro de la provincia uranífera sudamericana.

Integran esa unidad dos ámbitos geológicos generalizados:

- Las áreas cratonizadas de las Sierras Pampeanas y de la Plataforma Patagónica, caracterizadas por su estabilidad tectónica y la presencia de una variada secuencia litoestratigráfica que cubre desde el Precámbrico al Cuaternario.
- El orógeno de la Cadena de Los Andes, donde se desarrollan fajas móviles que afectaron las secuencias fanerozoicas con diastrofismos en el Paleozoico, Mesozoico y Terciario.

La favorabilidad uranífera de esas regiones se estableció mediante la aplicación de metodologías de investigación propias (Fig. 1) y la extrapolación a sus cuadros geológicos de los parámetros que rigen las distintas fases del ciclo geoquímico del uranio y los factores geológicos que controlan la yacencia de sus modelos metalogénicos mundiales.

Con la aplicación de esos parámetros se buscó definir la presencia por la cupla básica que rige la existencia de todo yacimiento uranífero según: "áreas de aporte fértiles en uranio" y "áreas de recepción favorables a la precipitación del ión uranilo".

Esos objetivos se alcanzaron mediante la delimitación de entidades donde predominaban determinadas unidades líticas.

- *Rocas sedimentarias*. Con discriminación de su origen: continentales, marinas; y condiciones de formación: clásticas, químicas, etc.
- *Rocas ígneas*. Con definición de su condición de emplazamiento: efusivas, intrusivas, etc., y de su quimismo: ácidas, mesosilíceas y básicas.
- *Rocas metamórficas*. Con definiciones sobre grado y características de su metamorfismo: térmico, tectónico, anatético, etc.

Con estos antecedentes se logró delimitar 21 “Ambientes regionales”, cuantificar sus respectivos IFGU y ordenar sus importancias y prioridades, a los fines de la planificación de su prospección.

Surgió de esta delimitación que el país posee:

- Unidades litoestratigráficas favorables para la presencia de definidos modelos metalogénicos uraníferos que van desde el Proterozoico al Cuaternario. Dentro de esos modelos predominan los de “uranio en areniscas”, “uranio diseminado intramagmático, etc.” y “uranio de hábito filoniano”.
- Una evolución geotectónica que incluye varias épocas metalogénicas fértiles en uranio, especialmente las ligadas a los ciclos orogénicos: Caledónico, Hercínico, Cimérico Superior y Andino.

1.2. Prospección

Entre 1952 y 1959, la CNEA se ocupó de equipar sus distintos laboratorios y secciones operativas, mientras organizaba y capacitaba sus cuadros profesionales hasta integrar una estructura científico-tecnológica adecuada para desarrollar los recursos uraníferos nacionales.

A partir de 1960 se inicia la ejecución de programas sistemáticos de prospección aplicando las siguientes técnicas:

- *Radimetría*. Gamma total y luego espectrometría, en programas de prospección aérea, autoportada y pedestre.
- *Geoquímica*. En programas sistemáticos de muestreos de agua, sedimentos, suelos y rocas.
- *Geofísica*. Con relevamientos y emanometría; resistividad; perfilaje gamma, potencial espontáneo, etc.
- *Geología*. Levantamientos regionales y detallados de litoestratigrafía; geotectónica, metalogénesis, etc., apoyados con estudios especiales de petrografía, mineralogía, sedimentología, etc.

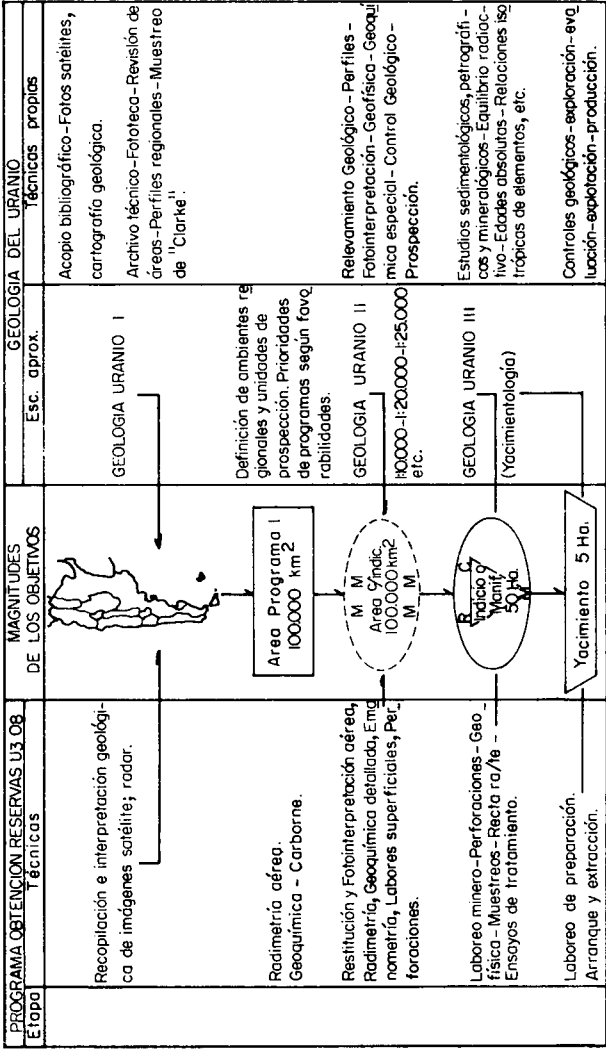


FIG.1. Cronograma de la CNEA para el desarrollo de los recursos uraníferos de la Argentina.

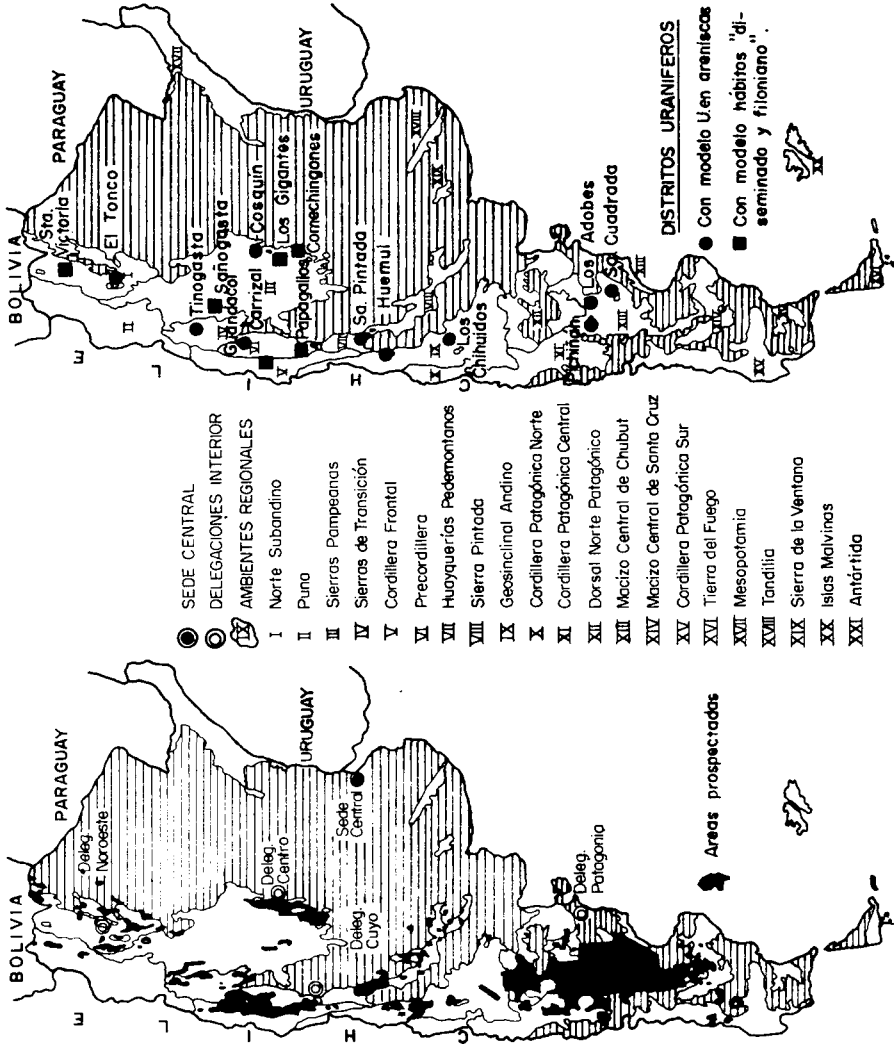


FIG. 3. Distritos uraníferos.

FIG. 2. Ambientes regionales.

La CNEA mantiene una permanente adecuación de estos métodos y del instrumental correspondiente, acorde con el avance y evolución de estas tecnologías en el ámbito mundial.

Hasta 1979, la CNEA desarrolló la mayor parte de los programas de prospección por su propia cuenta y reguló su ejecución en función principal de la demanda interna de uranio. A partir de ese año, nuevas legislaciones prevén junto al accionar de la CNEA, la participación de terceros nacionales y extranjeros para abastecer el Plan Nuclear Argentino (6 centrales con 3445 MW(e) en 1997) y desarrollar recursos uraníferos comerciales no comprometidos.

Estas condiciones hicieron que a la fecha se hayan cumplido tareas de prospección sistemática en un número limitado de los ambientes de elevada favorabilidad del país, no superándose con esas actividades la cobertura de 250 000 km² (Fig. 2).

Como resultado de las tareas de prospección se logró el descubrimiento de unas tres mil anomalías que fueron integradas en un Registro Nacional de Indicios, Yacimientos y Distritos uraníferos del país, en base a un sistema normalizado de archivo de datos técnicos.

La revisión preliminar de esas anomalías, en base a estrictas normas evaluativas, permitieron identificar sus modelos metalogénicos y el interés individual de cada indicio, el de sus agrupamientos y el de sus entornos geológicos, estableciendo una clasificación de sus importancias a los fines de su exploración (Fig. 3).

De ese ordenamiento surge el interés prioritario de 500 indicios, reunidos luego en aproximadamente 50 distritos uraníferos.

1.3. Exploración – evaluación

Estas tareas se concentraron en una docena de los principales distritos uraníferos del país, y en sus ámbitos se desarrollaron estudios geológicos integrales para lograr la mejor planificación de sus exploraciones.

Esos programas totalizaron 360 000 m de perforación y 30 000 m de labores mineras subterráneas, que permitieron conocer los factores geológicos que rigen la yacencia del uranio, las posiciones especiales de sus cuerpos y sus parámetros físicos para evaluar sus reservas y economicidad.

Los programas de sondeo se ejecutan con tecnologías de avanzada utilizando modernos métodos de perforación a percusión con aire, espuma, etc., y perfilajes múltiples con sondas ajustadas en centrales propias de calibración.

A su vez, los clásicos métodos evaluativos se complementan con estudios estadísticos y geoestadísticos y se apoyan en programas de computación que permiten optimizar la preparación de los planes de exploración y la elaboración de sus resultados.

Las tareas de evaluación han permitido estimar la presencia de 30 000 t U₃O₈ como recursos razonablemente asegurados.

Los más importantes distritos uraníferos argentinos se ubican principalmente en las regiones cratonizadas y accesoriamente en las áreas orogénicas andinas.

En las regiones estabilizadas los distritos se asocian a:

- Los granitos eopaleozoicos (100 000 km²) y las cubetas intermontáneas terciarias donde se ubican los distritos: “Los Gigantes”, con uranio en modelo diseminado (4000 t U₃O₈); “Cosquín”, con uranio en “paleocalcretes” (3000 t U₃O₈), etc.
- Las cubetas continentales molásicas del Carbónico y Pérmico Paganzo (100 000 km²); “Sierra Pintada” (10 000 km²), etc., donde se emplazan los distritos: “Los Colorados” (500 t U₃O₈); “Sierra Pintada” (20 000 t U₃O₈), etc., con mineralización restringida al modelo metalogénico uranio en areniscas.
- Las cubetas continentales molásicas del Cretácico en la región extrandina de Mendoza-Neuquén y de la Patagonia con los distritos de “Malargue” (1000 t U₃O₈); “Los Chihuidos”; “Sierra Pichiñan” (5000 t U₃O₈), donde la mineralización yace en el modelo uranio en areniscas.

En las áreas orogénicas los distritos uraníferos son menos importantes y sus hábitos de yacencia se corresponden con:

- Modelos filonianos con rocas de caja ígneas, metamórficas y sedimentarias fanerozoicas. Distritos: “Sta. Victoria”, “Carrizal” “Talampayá”, “Sañogasta”, etc.
- Modelo uranio en areniscas en cuencas molásicas carbónicas y pérmicas muy deformadas tectónicamente. Distritos: “Guandacol”, “Tinogasta”, “Jachal”, etc.
- Modelo peneconcordante en cuenca marina cretácica con sedimentos marginales. Distrito “Tonco – Amblayo” (4000 t de U₃O₈).

2. PRODUCCION DE MATERIAS PRIMAS NUCLEARES: CONCENTRADOS DE URANIO

2.1. Antecedentes

Los primeros intentos exploratorios en el campo de la producción de concentrados de uranio en el país se remontan al año 1952, procesando minerales de la provincia de Mendoza en una planta piloto ubicada en Córdoba. Con el correr del tiempo, y a fin de cubrir los requerimientos de CNEA y merced al desarrollo de tecnologías adecuadas se fueron construyendo plantas industriales de mayor capacidad, siendo la primera la de Malargue, provincia de Mendoza. Con posterioridad, se instalaron otras plantas, gracias a la disponibilidad de nuevos yacimientos

CUADRO I. RECURSOS URANIFEROS DE LA ARGENTINA

Categoría	Costos dóls./kg U_3O_8	t U_3O_8
Recursos razonablemente asegurados }	hasta 100	30 050
	100–150	6 200
	>150	3 100
Recursos adicionales estimados }	hasta 100	4 500
	100–150	11 350
	>150	8 500
Totales		63 600

tales como “Huemul”, “Cerro Mirano” en Mendoza, “Don Otto” y “Los Berthos” en Salta y “Los Adobes” y “Cerro Cóndor” en Chubut. De explotación más reciente son los cuerpos “Tigre III”, “Tigre I” y “Los Gauchos”, del distrito Sierra Pintada en Mendoza.

La explotación minera de este yacimiento fue efectuada inicialmente por la propia CNEA, derivándose luego a la actividad privada por contratos, aplicándose técnicas de explotación subterránea (“Don Otto” y “Huemul”) y a cielo abierto (“Los Adobes”, “Cerro Cóndor”, “Tigre III”, “Tigre I” y “Los Gauchos”).

En lo referente a las tecnologías de beneficio de minerales, las mismas han sufrido la evolución acorde con el grado de conocimiento y el incremento de la producción. El desarrollo de su aplicación ha sido realizado sin recurrir a la utilización de patentes ni al pago de regalías de origen foráneo.

2.2. Recursos uraníferos

En el Cuadro I se han clasificado los recursos según las categorías del Organismo Internacional de Energía Atómica.

En la categoría “recursos razonablemente asegurados” (RRA), considerando un costo de producción de hasta dóls. 100/kg U_3O_8 , se registran 30 050 t U_3O_8 , suficientes para sostener la demanda del Plan Nuclear Argentino por varios lustros.

Adicionando los recursos RRA disponibles a mayores costos y los recursos adicionales posibles (RAP) se totalizan 63 600 t U_3O_8 .

2.3. Requerimientos del Plan Nuclear Argentino

En el Cuadro II se resumen las necesidades estimadas de uranio de la Argentina hasta 1992, destinadas fundamentalmente a la producción de combustible nuclear para sus centrales nucleoelectricas de acuerdo al Plan Nuclear Argentino.

CUADRO II. REQUERIMIENTOS DEL PLAN NUCLEAR ARGENTINO
EN t DE U_3O_8

Año	1981	1982	1983	1984	1985	1986
Anual	150	184	184	186	335	250
Acumulado	150	336	518	702	1037	1287
Año	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Anual	284	284	436	350	384	535
Acumulado	1571	1855	2291	2641	3025	3560

2.4. Producción de concentrados

La CNEA dispone actualmente de cuatro complejos minero fabriles de su propiedad y que operan por su cuenta:

- Complejo minero fabril “San Rafael”,
- Complejo fabril “Malargue”,
- Complejo minero fabril “Don Otto”,
- Complejo minero fabril “Pichiñan”.

Los dos citados en último término se encuentran paralizados en razón de la no rentabilidad de la explotación (“Don Otto”) y de haberse agotado las reservas de mineral (“Pichiñan”).

Proximamente entrará en operación el complejo minero fabril “Los Gigantes”, operado por una empresa privada.

2.4.1. Distrito “Sierra Pintada”

Se encuentra ubicado a 35 km de la ciudad de San Rafael, en la provincia de Mendoza, y formado por dos depósitos principales: “Dr. Baulies” y “Los Reyunos”. En el primero de éstos se destacan los cuerpos “Tigre II” y “Tigre III”, “Los Gauchos”, “Los Chañares” y “Tigre I”. Este último cuerpo, junto con el denominado “La Terraza” (de “Los Reyunos”), conforman las reservas destinadas al futuro complejo, en etapa de licitación para ser explotado por la actividad privada. Todo este distrito dispone de una reserva superior a 20 000 t U_3O_8 en la categoría RRA, a un costo por debajo de dóls. 100/kg U_3O_8 .

Se trata de un yacimiento sedimentario donde se han identificado los siguientes minerales: uraninita, coffinita, uranofano, brannerita y liebigita. El

contenido en uranio varía entre el 0,8 y el 2,5‰ U_3O_8 en los niveles ricos, en tanto que, considerando el total, la ley media se encuentra en el orden del 1‰ U_3O_8 .

La producción minera se clasifica en dos categorías según su ley en U_3O_8 , de tal manera que la fracción de ley mayor (media del 1,2‰ U_3O_8) es transportada al complejo fabril Malargue, en tanto que la fracción de menor ley (media del 0,7‰ U_3O_8) es beneficiada en el mismo lugar en la planta San Rafael.

En esta última planta, la lixiviación del mineral se efectúa por el sistema de lixiviación en pilas ("heap leaching"), que opera con un conjunto de varias pilas que trabajan según una secuencia preestablecida, manteniéndose en operación un volumen del orden de 180 000 t de mineral, lo que dado el tiempo de tratamiento equivale a unas 500 t mineral por día. Se utiliza ácido sulfúrico a pH 1,2, siendo el consumo promedio del orden de 85 kg/t mineral. La ley media del mineral es del orden del 0,7‰ U_3O_8 , en tanto que el contenido final de los residuos se ubica en un 0,12‰ U_3O_8 . La concentración media de las soluciones oscila entre 0,3 y 0,5 g U_3O_8 /L, las cuales son tratadas en una planta de intercambio iónico, obteniéndose finalmente un concentrado de diuranato de amonio con un contenido superior al 75% U_3O_8 .

La capacidad nominal de esta planta es del orden de 100 t U_3O_8 /año, en función de la ley de mineral.

La fracción de mineral de mayor ley de este yacimiento es remitido al complejo fabril Malargue, ubicado a 180 km al suroeste.

Esta planta opera con el sistema de lixiviación convencional, con una capacidad de 250 t mineral/día. El mineral se muele a <20 M. Tyler, se lixivia con ácido sulfúrico en tanques con agitación mecánica, separación sólido/líquido por espesamiento (CCD), recuperación por dos líneas paralelas: solventes aminados y resina de intercambio iónico, obteniéndose un concentrado de ley superior al 76% U_3O_8 al estado de diuranato de amonio. La capacidad nominal es del orden de 85 t U_3O_8 /a.

2.4.2. Distrito "Los Gigantes" (Pcia. de Córdoba) – Complejo minero fabril "Los Gigantes"

Este distrito se caracteriza por ser su basamento granítico-metamórfico paleozoico, con un sistema regional de fallas longitudinales con fracturas transversales, siendo sus depósitos principales "Schlagintweit", "Don Goyo" y "Dr. Olscher". Las reservas se han estimado en 1600 t U_3O_8 con ley media del orden del 0,3‰ U_3O_8 . Es explotado por contrato por una empresa privada, con una capacidad de 100 t U_3O_8 /año, produciendo un concentrado (diuranato de amonio) con una ley superior al 70% U_3O_8 .

2.4.3. Yacimiento "La Estela" – Pcia. de San Luis

Se está construyendo un complejo minero fabril por cuenta y propiedad de una empresa privada de una capacidad de 30 t U_3O_8 /a.

2.4.4. Proyecto "Sierra Pintada"

Está en curso de licitación la construcción de un complejo con una capacidad de 470 t U_3O_8 /a, cuya puesta en marcha se prevé para 1985.

2.5. Consideraciones sobre la lixiviación en pilas

El 80% de la capacidad de producción de concentrados instalada en el país está basada en este sistema de lixiviación en pilas. Ello ha permitido alcanzar un excelente grado de optimización de todas las operaciones y materiales utilizados, lográndose un proceso bien controlado y pudiéndose afirmar que, para el caso de ciertos minerales, este sistema es competitivo con el de lixiviación por agitación (convencional).

Efectivamente, para el mismo mineral de San Rafael, el consumo de ácido es similar en las plantas de lixiviación en pilas y en Malargue (convencional). El contenido final de los residuos, si bien es ligeramente superior en la primera, la diferencia (50 ppm U_3O_8) está compensada con la simplicidad del proceso, que reduce la inversión inicial, como lo demuestra el hecho que toda la instalación de lixiviación en pilas, hasta obtener las soluciones de alimentación a planta de IX, representa el 13% de la inversión total. En cuanto a los gastos operativos de esta sección, sólo basta decir que la mayor incidencia corresponde al ácido sulfúrico, a sea un 73%, siguiendo luego el personal con un 13% del gasto total.

3. PURIFICACION NUCLEAR DE CONCENTRADOS Y CONVERSION A UO_2

A partir de un concentrado standard de uranio se llega a obtener combustible nuclear, identificado como polvo de UO_2 de grado cerámico, es decir apto para ser compactado en forma de pastillas y sinterizado por tratamiento térmico bajo atmósfera controlada, mediante dos etapas: a) purificación nuclear, y b) conversión a UO_2 .

Desde el año 1960 se introduce el uranil carbonato de amonio como producto intermedio y apto para conversión directa a UO_2 , de calidad elevada, consistente en su aptitud para el compactado directo del polvo y obtención de "pellets" sinterizados de elevada densidad, sin acondicionamiento previo.

El uranil carbonato de amonio (AUC) es susceptible de ser obtenido a partir de dos materias primas definidas, siguiendo dos caminos bien diferenciados:

- 1) a partir de solución de nitrato de uranio (UNH), con una concentración de 400 g U/L, aplicando un método de precipitación química convencional con CO_2 y NH_3 ;
- 2) A partir de un medio orgánico (amina terciaria en "white spirit"), con uranio hexavalente fijado en forma de complejo sulfatado, utilizando un procedimiento simultáneo de cambio de fase y precipitación (elución precipitante).

La CNEA ha elegido ambas líneas, enlazada la primera con un procedimiento del conversión del AUC a UO_2 en un horno vertical según el principio de lecho fluidificado, con hidrógeno como agente reductor; sobre la segunda existe la opción de utilizar hornos de lecho fijo (estáticos) u hornos de lecho móvil.

Asímismo es posible una combinación de líneas empleando el AUC "ex-orgánico" como material de alimentación en la operación con lecho fluidificado.

3.1. Purificación nuclear

3.1.1. Línea de extracción con tributil fosfato

El ataque del concentrado de uranio, titulando aproximadamente un 65% de U, se lleva a cabo con ácido nítrico concentrado. La solución obtenida permanece en "standing" hasta maduración de la sílice; parcialmente diluida, se separan los coágulos de sílice en filtro rotativo a "pre-capa" de tierra de diatomeas, resultando después del lavado una solución con una concentración de 300 g U/L.

El solvente, que actúa como "fase orgánica" en la etapa de extracción, está constituido por una solución de tributilfosfato (TBP) en "white-spirit". A la etapa de extracción sigue un lavado de fase orgánica con escasa agua acidulada a fin de evitar el arrastre de gotas de la solución inicial impura. Finalmente, la etapa de reextracción se lleva a cabo con agua desmineralizada, alcalinizada débilmente con amoníaco. Para ambos casos, extracción y reextracción, se opera en contracorriente y en sistema continuo.

El resultado de este proceso es una solución de UNH con una concentración de 100 g U/L y pureza de grado nuclear. Para estar en condiciones de obtener cristales de AUC, es preciso elevar esta concentración hasta 400 g U/L, para lo cual se intercala una etapa de evaporación de la solución diluida.

El AUC es precipitado a partir de la solución concentrada como partículas monocristalinas perfectamente estequiométricas, con una geometría modificada más o menos esférica.

3.1.2. Línea de extracción con amina terciaria

El concentrado standard de uranio es disuelto mediante ataque con ácido sulfúrico diluído, obteniéndose una solución impura que titula 100 g U/L. Es preciso asegurar que todo el uranio se encuentre en forma oxidada U^6 .

Prevía filtración, la solución anterior es diluída hasta 20 g U/L y calentada hasta 40°C. En estas condiciones entra a una batería de extracción, puesta en contacto con una fase orgánica constituida por solución de amina terciaria en "white-spirit"; el uranio presente es fijado como complejo-sulfato.

Se debe intercalar una etapa de saturación de fase orgánica, en forma independiente, mediante el contacto con solución de sulfato de uranio puro, para asegurar la presencia de un complejo "amina-uranio-sulfato" con una concentración siempre constante en uranio, fundamental para mantener estables los parámetros de la etapa siguiente.

La "elución precipitante" es un proceso mixto que involucra un cambio de fase y precipitación simultáneos bajo forma de AUC; constituye además una etapa de purificación química adicional, en la que son disminuídas en forma drástica todas las impurezas presentes, incluso el sulfato. Al mismo tiempo deben controlarse las propiedades físicas del AUC: forma (policristales o cristales simples), tamaño de partículas y distribución de las mismas, parámetros geométricos (relación base-altura), densidad aparente y resistencia mecánica de los cristales.

La masa cristalina es separada por filtración al vacío, lavada y secada con metanol.

3.2. Conversión a UO_2

3.2.1. Por horno a lecho fluidificado

El AUC es reducido a UO_2 al reaccionar con hidrógeno en un horno de lecho fluidificado. En esta etapa el complejo AUC es descompuesto y el uranio U^6 es reducido a U^4 al estado de UO_2 .

La estequiometría del polvo es levemente reoxidada, sin destruir la red cúbica cristalina del UO_2 . La reacción es cumplida con vapor sobrecalentado como medio de sostén, al que se agrega hidrógeno como agente reductor. Completada la reducción, se detiene la admisión de hidrógeno y la temperatura se incrementa desde 550°C a 650°C; el flúor residual se elimina por pirohidrólisis.

Durante las etapas de descomposición y reducción de AUC a UO_2 se genera un amplio margen de porosidad abierta en el polvo con la formación de canales a través de los cuales los productos gaseosos de la reacción son desalojados.

El polvo de UO_2 es descargado en recipientes enfriados. Mediante inyección controlada de aire, la estequiometría del polvo es oxidada parcialmente, estabilizándolo en atmósfera de CO_2 , cesando de ser pirofórico.

Una destacable característica de este polvo es la “fluidez libre”, propiedad muy importante para la posterior fabricación de pellets, compactados directamente.

Las características físicas del polvo de UO_2 son:

Uranio contenido	$>87\% \text{ U}$
Relación O:U	2,07 a 2,17
Contenido de humedad	0,1 a 0,5% H_2O
Densidad aparente (bulk density)	1,8 a 2,6 g/cm^3
Superficie específica (BET)	4,5 a 7,0 m^2/g
Fluidez	$<3 \text{ s}/20 \text{ g}$
Tamaño de partícula	$<100 \mu\text{m}$

3.2.2. Por horno a lecho fijo o a lecho móvil

Con la incorporación de tecnología propia para obtención de AUC “ex-orgánico”, la CNEA pretende continuar la etapa de conversión mediante equipamiento de orden convencional (hornos estáticos o rotativos).

La conversión puede ser efectuada en una o dos etapas: en el primer caso, descomposición y reducción directa del AUC y, en el segundo, calcinación previa del AUC a UO_3 a baja temperatura, para mejor control de la exagerada generación de gases (CO_2 , NH_3 y vapor de agua) en la descomposición térmica del AUC.

Los resultados obtenidos hasta la fecha son altamente positivos y alientan a la CNEA a continuar con el afinamiento de los procedimientos tendientes a asimilar las características del polvo de UO_2 a la del obtenido por vía de lecho fluidificado; el parámetro final a dominar es la densidad final del “pellet” sinterizado (entre 10,40 y 10,60 g/cm^3) utilizando presiones más bajas en el compactado del “green pellet”, comparables a las empleadas para el procedimiento señalado en la Sección 2.1.

Printed by the IAEA in Austria