

03.59.02

- 18 -

COLABORACIONES

PRODUCCION Y REPROCESAMIENTO DE COMBUSTIBLES NUCLEARES:

DOS TECNOLOGIAS EN TRANSFORMACION

Por Hugo P. Moruzzi

Las industrias asociadas a la obtención, refinamiento y reprocesamiento de uranio nacieron y se desarrollaron a la sombra de los esfuerzos bélicos de los países llamados "grandes". No son esas las condiciones más propicias para crear una industria con bases económicas sanas ya que los precios de los productos involucrados -desde los minerales hasta los productos finales- son fijados más o menos arbitrariamente. En los EE.UU. -como en casi todas partes- los precios de los minerales y concentrados fueron en un principio altos para alentar la intervención de la industria privada, pilar indiscutido de la economía estadounidense; hoy, si bien esos precios han sido reducidos, permiten aún obtener muy buenas ganancias. La refinación de esos concentrados y la posterior obtención de metal u óxidos se lleva a cabo en plantas pertenecientes a la U.S.A.E.C. (Comisión Atómica America) administradas por compañías particulares; éstas trabajan sobre la base de un porcentaje fijo sobre los costos de producción. En situación similar se encuentran las plantas de reprocesamiento de combustibles irradiados. Esta fuerte participación del gobierno federal norteamericano hace que los precios de todos los materiales uraníferos guarden sólo una distante relación con los costos reales de producción.

Por lo dicho, no ha habido en este campo de la tecnología una urgente necesidad ni tampoco el tipo de competencia que producen drásticas disminuciones de costos de producción mediante el desarrollo de técnicas más económicas. Sirva como ejemplo de lo que puede significar la competencia económica en este campo el siguiente hecho: la fabricación de elementos combustibles fué abierta a la industria privada norteamericana el año pasado; la empresa que convirtió el hexafluoruro de uranio en óxido para el R.A.1 en 1957 ha pasado recientemente un presupuesto para realizar la misma operación -con la misma cantidad y calidad de hexafluoruro- a un precio tres veces menor que el fijado a la CNEA. Razones: Ahora hay tres o cuatro compañías que están en condiciones de realizar el mismo trabajo mientras que el año pasado había una sola.

La utilización pacífica de la energía de fisión -o al menos, la posibilidad de dicha utilización- dió lugar no sólo a la creación de Comisiones de Energía Atómica en casi todos los países del mundo, sino también a la aparición de detallados cálculos de costos en los que se demostraba como la "nueva" energía era competitiva con la energía obtenida por medio de combustibles fósiles; simultáneamente los estudios que mostraban la rápida extinción de los combustibles fósiles tuvieron su momento de notoriedad. Hoy, pasada la primera impresión, podemos decir que aquellos cálculos pecaban de optimistas. No podía ser de otra manera: sólo un milagro hubiera permitido que una industria basada sobre métodos de producción y separación de plutonio -sin parar en costos- pudiera, de la noche a la

COLABORACIONES (Cont.)

mañana, competir con una de las industrias más desarrolladas del mundo como es la producción de energía por métodos convencionales. La mejor crítica a estos trabajos puede encontrarse en un artículo del almirante H.G. Rickover (x) en el que después de analizar estadísticamente 57 cálculos de costos de producción de energía atómica que cubren prácticamente todo tipo de reactores, llega a la conclusión de que la única variable que puede correlacionarse con el costo de la energía de fisión no es, como pudiera suponerse, el costo de los materiales fisionables sino el precio de los combustibles fósiles involucrados en la producción convencional de energía: carbón para las usinas terrestres, petróleo para las aplicaciones náuticas.

El artículo del almirante Rickover fué escrito en 1957 y no ha perdido actualidad; sirvan los siguientes datos para confirmar este aserto:

- i) Pese a que existen varias plantas destinadas al reprocesamiento de combustibles nucleares irradiados no existe hasta el presente en los Estados Unidos (y posiblemente en el mundo) un reactor de potencia que funcione realizando el ciclo completo del combustible; es decir, que vuelva a utilizar los materiales fisionables recuperados. No hay pues, costo "real" de operación para un reactor de potencia que no incluya algún valor subvencionado como es el del plutonio, por ejemplo. Aún así, los costos reales de producción son superiores a cualquiera de los valores calculados.
- ii) En 1956 la U.S.A.E.C. puso a disposición de la industria privada americana el "know-how" necesario para construir plantas de reprocesamiento y hasta ofreció enviar combustible irradiado en sus reactores hasta tanto los reactores privados crearan un mercado importante; esta oferta no fué aceptada por ninguna compañía; en cambio, la U.S.A.E.C. se ha visto comprometida a reprocesar combustible de los reactores que entren en operación en los EE.UU. y en los países del EURATOM; los precios que se cargarán por estos servicios serán más bajos que los que la U.S.A.E.C. reconocería como "justos" si fueran aplicados por la industria privada.

De lo visto anteriormente pueden desprenderse las siguientes conclusiones:

- i) Los precios y costos de materiales y servicios relacionados con la producción, refinamiento y reprocesamiento de materiales fisionables no son calculados sobre bases comerciales sanas.
- ii) Para que la energía de fisión sea competitiva, los costos actuales de producción (de los cuales aproximadamente 40% son costos de reprocesamiento) deben ser disminuídos.

(x) H.G. RICKOVER, Editorial: The cost of atomic power. Nuclear Science and Technology; Vol 2, N° 3, pp 231-36, 1957.

COLABORACIONES (Cont.)

iii) Cambios fundamentales en la tecnología del reprocesamiento son previsibles en un futuro próximo lo que hace retraer la participación de la industria privada.

Si bien lo anterior se refiere a la situación en los EE.UU. puede decirse que las consideraciones fundamentales son válidas para los otros países que son líderes en el desarrollo de la tecnología nuclear.

Es objeto principal de este sumario rever a grandes rasgos cuáles son las líneas de trabajo más promisorias y las realizaciones logradas hasta el presente en materia de obtención y reprocesamiento de uranio sobre bases comerciales sanas. Reseñaremos por separado los métodos empleados en la producción y en el reprocesamiento.

A. Recuperación y Purificación de Minerales Uraníferos.

La figura 1b muestra un gráfico que va desde el mineral al combustible y que puede considerarse representativo de lo que en estos últimos años se estima como un método eficiente para producir uranio de pureza nuclear. Puede decirse que la casi totalidad del uranio que se produce actualmente en los EE.UU. ha sufrido un proceso similar al descrito. Este proceso puede mejorarse desde el punto de vista económico de dos formas: i) introduciendo equipo más eficiente o ii) obviando etapas.

En ambas direcciones se ha investigado durante los últimos cinco años en los laboratorios y plantas pilotos. Sólo algunos de los muchos caminos explorados mostraron ser promisorios y están hoy en etapas adelantadas de su desarrollo; algunos ya en la etapa definitiva de producción industrial. En lo que sigue haremos una revisión de esos resultados.

Veamos primero las modificaciones tendientes a mejorar el equipo; para tener idea de lo que había que mejorar daremos los siguientes datos: La U.S.A.E.C. posee dos grandes plantas (costo: 1,5 a 2,0 . 10^8 dólares; personal: 3.000 personas) en donde se produce en la actualidad la casi totalidad del uranio usado como combustible o para fines bélicos. La cantidad total producida anualmente en dichas plantas se mantiene en secreto, pero el orden de magnitud puede estimarse en los miles de toneladas. En ambas plantas se sigue el esquema de la figura 1b a partir de concentrados de diversos orígenes. Si bien las plantas no son viejas (2 a 3 años) fueron planeadas cuando aún no se sabía cuáles de las innovaciones que se estaban experimentando darían buen resultado. Las instalaciones son eficientes en cuanto producen "mucho material en poco tiempo" pero el equipo usado en algunas de las etapas, especialmente Denitración, Reducción e Hidrofluorinación, dejan mucho que desear desde el punto de vista de su adecuación a la operación fundamental (transferencia de masa, transferencia de calor) que se lleva a

COLABORACIONES (Cont.)

cabo en ellos. Baste decir que la denitración se lleva a cabo en recipientes cuyo nombre en inglés, "pot" describen exactamente lo que son: "tachos"; eficientes sin pérdidas, con agitadores mecánicos con motores de 20 HP c/u, pero tachos al fin, con todos los inconvenientes originados en una deficiente transferencia de calor, con la imposibilidad de adaptarlos a métodos de producción continua, etc.

Hoy, después de haber experimentado satisfactoriamente en plantas pilotos, se va a reemplazar el equipo utilizado en las plantas de la USAEC para realizar las etapas señaladas en el parágrafo anterior. El equipo a utilizarse empleará la técnica denominada de "lecho fluido" que consiste esencialmente en llevar a cabo reacciones en el seno de un lecho de partículas sólidas mantenidas en suspensión por el pasaje de gases a suficiente velocidad; este tipo de equipo permite una producción continua y asegura el logro de una temperatura uniforme en todos los puntos del reactor; esto último es de suma importancia dado que las reacciones que se llevan a cabo son fuertemente endo o exotérmicas y, además, las propiedades finales (reactividad y/o sinterabilidad) de los óxidos y fluoruros dependen en alto grado de las temperaturas a las que fueron obtenidos. Las ventajas de este tipo de equipo sobre los otros utilizados anteriormente son, pues, enormes. Con la introducción del lecho fluido (la planta de St. Louis, Mo. operada por Mallinckrodt, está instalando un equipo industrial de un par de pies de diámetro) las plantas podrán operar en forma continua -hasta la etapa de producción de tetrafluoruro de uranio, inclusive- produciendo un producto de calidad homogénea.

Antes de seguir adelante, digamos aquí que los ingleses llegaron a la misma solución -lecho fluido- trabajando independientemente de sus colegas americanos.

En cuanto a los esfuerzos en el sentido de obviar pasos, algunos fueron con secuencia de la actividad creadora de la gente que trabajaba con lechos fluidos. El método a que me referiré de inmediato fué desarrollado en el Departamento de Ingeniería Química de Argonne y está siendo llevado a la etapa de producción por la compañía americana General Chemistry Division, subsidiaria de Allied Chemical & Dye Corporation; la planta que entrará en funcionamiento próximamente (Metropolis, Ill.) seguirá el esquema de la figura 1c. En todas las etapas siguientes a la aglomeración se usarán lechos fluidos. Como se ve el producto final será hexafluoruro de uranio que alimentará, seguramente, las plantas de difusión para obtener U-235. El camino se ha acortado ahora notablemente; este esquema, tan sencillo en el papel, ha sido el resultado del esfuerzo conjunto de químicos e ingenieros químicos. La etapa final involucra una rectificación (destilación) de tres fluoruros de elementos pesados cuyos puntos de ebullición están separados, en un caso al menos, por menos de 10°C.; además cuando se comenzó a trabajar en este proyecto los puntos de ebullición de algunos de los fluoruros estaban mal determinados; los químicos de Argonne sintetizaron tales compuestos y obtuvieron nuevos valores para esos datos.

COLABORACIONES (Cont.)

Otro de los esfuerzos en el sentido de obviar pasos fué desarrollado en Oak Ridge; se basa en el uso de resinas de intercambio y la mejora consiste aquí en hacer posible la aplicación industrial de un método de purificación mediante el desarrollo de equipo eficiente y sin mayores problemas operativos. El esquema de la figura 1a muestra las distintas etapas del proceso EXCER, que es el nombre dado a este proceso. El mismo ha sido descrito recientemente en la literatura (x). Equipo de tres pies de diámetro, que puede considerarse casi industrial, está ya en etapa adelantada de construcción.

Con lo anterior terminamos la revisión de las novedades en el campo de la metalurgia de los minerales de uranio, pasemos ahora al reprocesamiento.

B. Reprocesamiento de elementos combustibles irradiados.

Es aquí donde pueden esperarse los mayores cambios con respecto a los métodos actualmente en uso en las plantas de reprocesamiento. La filosofía fundamental del reprocesamiento depende de las respuestas que se den a las siguientes preguntas: Con qué objeto se reprocesa? y es necesario reprocesar?.

Las plantas actualmente en funcionamiento fueron creadas de acuerdo a una sola respuesta: "Es necesario reprocesar para separar y purificar los materiales fisiónables a fin de hacerlos potencialmente utilizables para fines bélicos". Posteriormente se introdujeron algunas modificaciones, especialmente en las etapas preparatorias, a fin de adecuar las plantas al reprocesamiento de distintos tipos de elementos combustibles pero, decididamente, no podrán ser nunca la solución integral y económica del problema.

Si en cambio se ensaya responder a las mismas preguntas olvidando por un momento las potencialidades bélicas de los productos fisiónables producidos en el reactor, podrían surgir otras respuestas:

- i) Se reprocesa para separar los productos de fisión formados y mejorar la economía de neutrones del reactor y/o para reparar el daño sufrido por los elementos combustibles debido a la radiación.
- ii) El reprocesamiento podría evitarse si se consiguiese obtener elementos combustibles y una economía de neutrones que permitieran alcanzar valores muy altos de energía producida por unidad de masa de elemento combustible.

Estas respuestas abren nuevos caminos a la investigación; en ambas direcciones se está trabajando. Baste decir que la U.S.A.E.C. ha adjudicado 30 millones de dólares para la construcción de un reactor (tipo Agua Hirviente) en Idaho Falls que tendrá una planta de reprocesamiento integrada al reactor que usará métodos pirometalúrgicos y control remoto para realizar las operaciones. En vez de los acostumbrados factores de decontaminación del orden de 10^7 a 10^8 (necesarios pa-

(x) The Excer Process: Preparing UF_4 by ion exchange and Electrolysis. I. R. HIGGINS et al. Ind & Eng Chem 50, pp 285-92 (1958).

COLABORACIONES (Cont.)

ra poder manipular directamente los productos obtenidos) se obtendrán valores cercanos a 10^2 que son suficientes para devolver al reactor su economía de neutrones original. Como no será necesario "enfriar" los elementos combustibles antes del reprocesamiento, la cantidad total de elementos combustibles necesarios para mantener en operación al reactor será unas tres veces inferior a la necesaria para un reactor de la misma potencia que utilice el método convencional de reprocesamiento. Todas las etapas del nuevo método han sido probadas en Argonne.

Asimismo, el gobierno americano ha dispuesto destinar 50 millones de dólares que con igual suma que aportará Euratom constituirá un fondo para "investigación y desarrollo de métodos para disminuir el costo del reciclado de elementos combustibles y mejorar la tecnología de los reactores de potencia".

No cabe duda que alguno de los métodos que emplean la vía seca (pirometalurgia, volatilidad de fluoruros, extracción por metales fundidos) serán desarrollados eficazmente. Los problemas estrictamente químicos (equilibrios, cinética, etc.) han sido ya estudiados; queda por encontrar los materiales de construcción que resistan las condiciones extremas de corrosión y temperatura que presentan algunos de los métodos ensayados. Aún los elementos combustibles cerámicos (óxidos sinterizados) podrán ser procesados por vía seca; ya se han obtenido resultados promisorios en escala de laboratorio mediante el uso de atmósferas de cloro a moderada presión y 1600°C . de temperatura.

En cuanto a las posibilidades de no hacer ningún reprocesamiento surgen de la notable resistencia a la radiación que presentan los elementos cerámicos. Parece ser que un elemento combustible ligeramente enriquecido (1,5 - 2 % de U 235) que pudiera resistir sin mayores daños mecánicos una radiación equivalente a 10.000 MW-día por Ton podría resultar económico sin tener en cuenta en el balance el material fisiónable que se descartaría en el material irradiado. Muestras -no cargas enteras- de elementos cerámicos han sido irradiadas recientemente hasta 25.000 MW-día por Ton.

Consideraciones finales

Es indudable que existe una firme intención -apoyada por una ayuda económica internacional- de investigar los problemas asociados a la producción y reprocesamiento de elementos fisiónables desvinculando esos problemas de aquellos de carácter bélico. Es una empresa comenzada hace unos 5 años y que ya ha completado, en promedio, la etapa de planta piloto. Otros cinco años nos permitirán ver plantas funcionando con la mira puesta exclusivamente en los reactores de potencia instalados para esa época.

Extracción por Solventes, Resinas de Intercambio Iónico y Lechos Fluidos son

COLABORACIONES (Cont.)

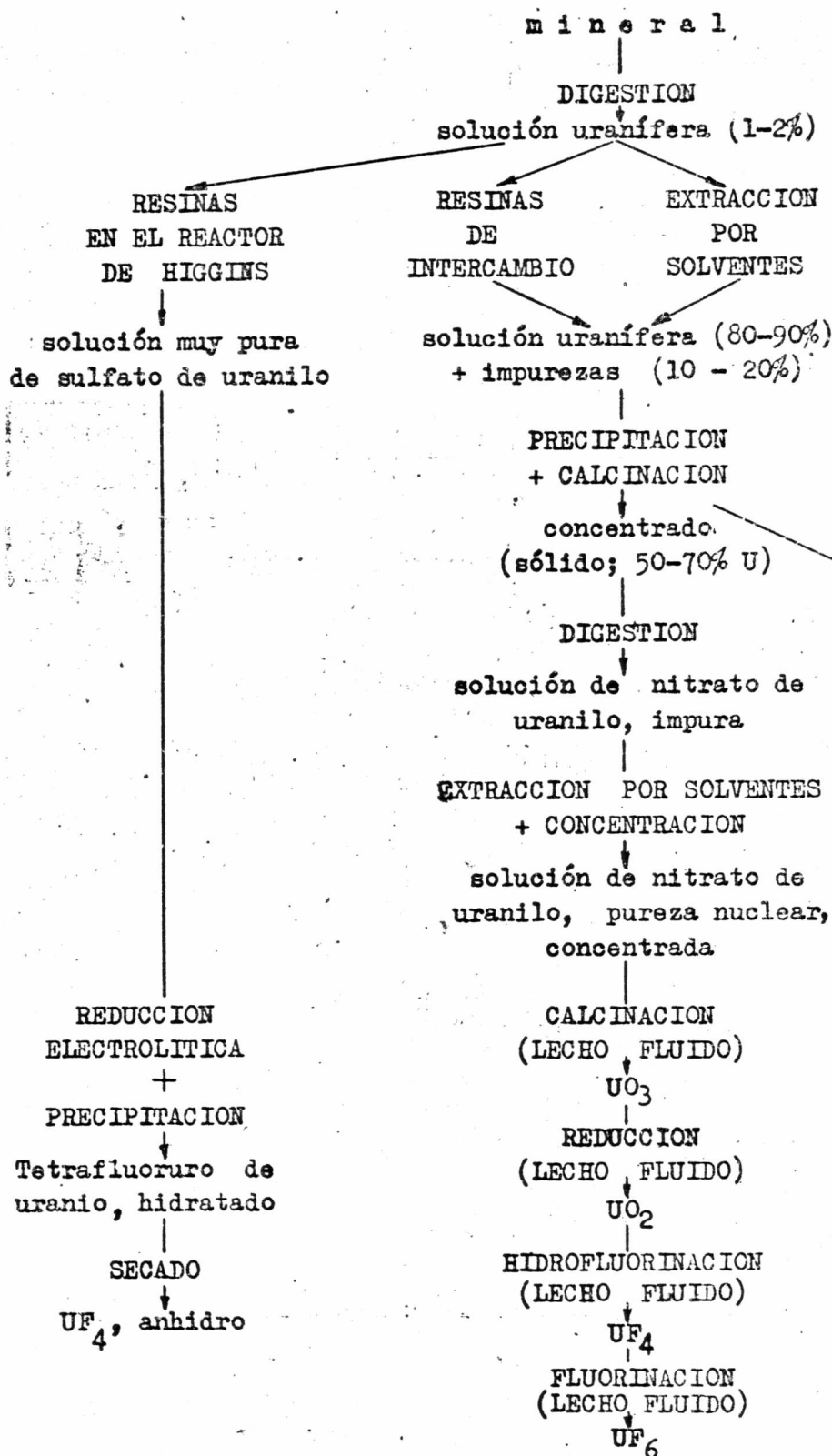
operaciones tecnológicas que tienen asegurada su posición en la metalurgia del uranio. Por lo tanto, serán medidas acertadas:

- i) Procesar minerales y obtener concentrados utilizando solventes o resinas y eliminando cuantas engorrosas e ineficaces filtraciones sea posible.
- ii) Purificar los concentrados así obtenidos mediante extracción por solventes, y obtener luego algún producto de pureza nuclear fácilmente manufacturable en elementos combustibles. Podría utilizarse para este fin un esquema como el de la fig. 1, b deteniéndose en la etapa de reducción, es decir, después de obtener dióxido de uranio.

Las ventajas que presentan los puntos anteriores son las siguientes:

- i) Hay sobre el particular suficiente información publicada, así como diagrama y planos detallados como para obviar la etapa de planta piloto.
- ii) La construcción y funcionamiento de una planta con una capacidad similar a la programada originariamente para la planta de Ezeiza puede construirse fácilmente con los elementos técnicos existentes en la C.N.E.A. Muy poco material de importación especial sería necesario.
- iii) La producción de una planta como la sugerida puede aumentarse hasta unas 10 veces con sólo aumentar el tamaño del equipo empleado.
- iv) El detener la producción de materiales de pureza nuclear en el óxido tiene ventajas que se explican con sólo mirar el gráfico de la fig. 2. Si no se sabe a ciencia cierta que tipo de elemento combustible se va a usar en el futuro y sólo se trata de acopiar material potencialmente utilizable en la fabricación de dichos elementos, se ve que el óxido tiene iguales posibilidades de ser utilizado cuando se lo compara con el metal; sólo cuando se va a hacer un enriquecimiento isotópico es indispensable pasar a la etapa de fluoruro. En cuanto a las ventajas de evitar las etapas de hidrofluorinación y siguientes del esquema de la fig. 1, b son obvias si se tiene en cuenta que el ácido fluorhídrico es una sustancia que hay que manejar con muchos cuidados.

Cuando los problemas de producción normal y eficiente de óxido o metal sean resueltos, y cuando se tengan ideas sobre el tipo de reactor de potencia a instalarse, será oportuno preocuparse de los problemas del reprocesamiento. Para esa época quizá se haya reunido experiencia en los distintos caminos que actualmente se vislumbran y se estará en condiciones de elegir el más conveniente, que puede ser, quizá, el no reprocesar.



EXCER

FIGURA 1, a

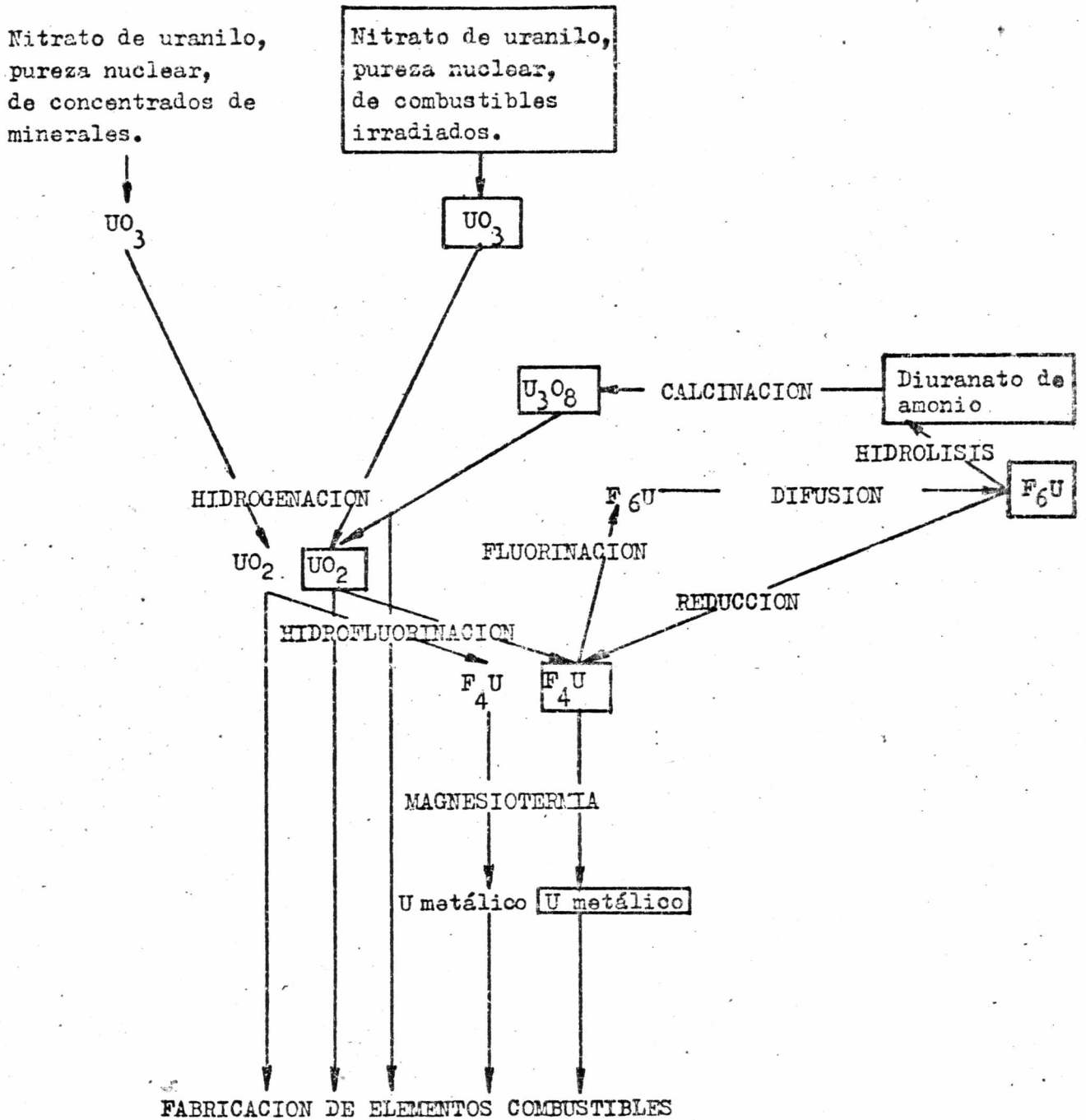
STANDARD

FIGURA 1, b

ARGONNE
GENERAL CHEMISTRY

FIGURA 1, c

COLABORACIONES (Cont.)



El recuadro ha sido usado para indicar enriquecimiento isotópico

FIGURA 2