

ELABORACIÓN DE COMPUESTOS DE URANIO PARA SER UTILIZADOS  
EN ELEMENTOS COMBUSTIBLES DE REACTORES DE INVESTIGACIÓN  
PARTICIPACIÓN DE LA PLANTA DE FABRICACIÓN DE COMPUESTOS  
DE URANIO (PFPU) EN EL PROYECTO EGIPTO

Boero, N.; Cinat, E.; Novara, O.; Yorio, D.; Cincotta, D.; Ramella, J.; Bruno, R.;  
Camacho, E.; Pertossi, F.; Panunzio, L.; Fernández, C. ; Sassone, A.

Planta de Fabricación de Polvos de Uranio (PFPU)/ U de A Combustibles Nucleares/  
Comisión Nacional de Energía Atómica/Av.G.Paz 1499.CP1650 San Martín, Bs. As.

Contacto: norboero@cnea.gov.ar

## RESUMEN

La Planta de Fabricación de Polvos de Uranio es proveedora calificada internacionalmente de  $U_3O_8$  enriquecido hasta el 20% en U235. Las características de este polvo son las especificadas en la fabricación de elementos combustibles tipo placa utilizados en reactores de investigación.

En este trabajo se detallan las tareas desarrolladas en la misma desde su inicio, poniendo énfasis en las realizadas en los últimos años. En especial se describe la transferencia de tecnología de fabricación de polvo de  $U_3O_8$  a la empresa INVAP SE, la que a su vez instaló en la República Arabe de Egipto una planta de similares características.

## INTRODUCCION

La Planta de Fabricación de Polvos de Uranio elabora los compuestos de uranio que son utilizados como núcleo en los elementos combustibles tipo placa para reactores de investigación.

Su puesta en marcha fue en 1986, y desde entonces suministra el polvo de  $U_3O_8$  necesario para la fabricación de elementos combustibles para reactores nacionales (RA3) e internacionales ( RP0 Perú, RAE Argelia, MPR Egipto y TRR Irán), siendo proveedor calificado internacionalmente.<sup>1,2</sup>(TABLA 1). La capacidad instalada permite procesar lotes de 2,4Kg de Uranio total por día.

Su funcionamiento está previsto para abastecer los requerimientos del compuesto de uranio solicitado. También realiza tareas de desarrollo, ya sea de mejoramiento del proceso utilizado, como de puesta a punto a nivel de laboratorio y planta piloto de procesos de obtención de los polvos requeridos para otro tipo de combustibles. En este momento, la planta está abocada a la instalación de una facilidad de obtención de tetrafluoruro de uranio ( $UF_4$ ) con una capacidad de 100 Kg. de Uranio total por año. A nivel laboratorio, realiza la puesta a punto de procesos de obtención de este material por diferentes vías y su caracterización físico- química.

El polvo suministrado actualmente es  $U_3O_8$  con un enriquecimiento de hasta el 20% en  $U^{235}$ . Este óxido debe alcanzar características físico-químicas y morfológicas de acuerdo a su especificación<sup>3</sup>, las cuales se obtienen por un proceso original desarrollado en CNEA .(TABLA 2, Fig.1)

Dicho proceso consiste primero en hidrolizar el hexafluoruro de uranio. A la solución de fluoruro de uranio resultante se le agrega hidróxido de amonio para obtener ADU (diuranato de amonio). El ADU es calcinado a  $800^{\circ}C$  y luego de un tratamiento mecánico se realiza un tratamiento térmico a  $1400^{\circ}C$  . El  $U_3O_8$  obtenido se muele y tamiza para obtener el polvo de acuerdo a lo especificado ( morfología esférica, densidad mayor de  $8,0 \text{ g/cm}^3$  y tamaño de partícula entre 44 y  $88 \mu\text{m}$ , aceptándose un 50% de partículas menores de  $44\mu\text{m}$  ).

## PARTICIPACION EN EL PROYECTO EGIPTO

En el año 1999 INVAP SE entrega llave en mano a la República Árabe de Egipto una planta de fabricación de elementos combustibles tipo placa, la FMPP ( Fuel Manufacturing Pilot Plant). Esta facilidad fue diseñada e instalada por INVAP SE en El Cairo utilizando los mismos procesos desarrollados en CNEA en la Planta de Fabricación de Polvos de Uranio (PFPU) y en la división Elementos Combustibles para Reactores de Investigación (ECRI). La planta fue diseñada teniendo en cuenta el manejo de uranio enriquecido al 20% de uranio 235,  $UF_6$  gaseoso. La masa crítica para este enriquecimiento en condiciones óptimas de moderación es 5,6kgde uranio. Se proyectó la instalación para trabajar con una masa segura de 2,4kg por batch, considerando en el diseño los parámetros geométricos subcríticos.

INVAP SE vende también a la República Árabe de Egipto el reactor de propósitos múltiples MPR. Se requiere a la PFPU el  $U_3O_8$  ( óxido de uranio con un grado de enriquecimiento del 20%), necesario para hacer en ECRI el prototipo del elemento combustible para el Reactor MPR instalado en El Cairo. El mismo fue puesto en marcha en diciembre de 1997 con el combustible fabricado en CNEA, funcionando satisfactoriamente.

La PFPU participó en la transferencia de tecnología que la Comisión de Energía Atómica realizó a INVAP SE en lo referido a la elaboración de polvos de  $U_3O_8$ . Esta transferencia comenzó en 1995 con el traspaso de la documentación de la planta, incluyendo memorias descriptivas de los procesos, balances de masa y energía, ingeniería básica de la instalación, manuales de operación, instrucciones de fabricación y toda la documentación concerniente a la seguridad operativa de la facilidad, teniendo en cuenta que es una instalación relevante.

La FMPP está ubicada a 60 km del El Cairo, en un predio de la AEA (Atomic Energy Authority). La planta se instaló frente al reactor MPR (Fig.2) . Está dividida en áreas, de acuerdo a las tareas que en ellas se realizan. En el área H se elabora el polvo de  $U_3O_8$  y los compactos aluminio- uranio. Por el tipo de procesos que se realizan en ella, y por la masa de uranio 235 con que se trabaja, se considera área controlada. El área

G es de fabricación de placas y armado de elementos combustibles. El área F corresponde al laboratorio de caracterización físico-química. Las áreas G y F, debido al tipo de tareas que se realizan y a la masa de material de U235 que se manejan son áreas supervisadas. El área H está a su vez subdividida en dos subáreas. Este criterio está fundamentado en el tipo de operaciones que se desarrollan en ellas. El área H16 es una sección destinada a procesos químicos en vía húmeda. Allí se realiza la extracción en forma gaseosa del  $UF_6$ , la hidrólisis del mismo y la precipitación y filtrado, obteniéndose ADU. Todas estas operaciones se realizan en caja de guantes, en recintos a su vez con depresión. Dentro de la misma área hay un sector dedicado a la recuperación de desechos líquidos. El área H10 está dedicada a los tratamientos térmicos y mecánicos. En ella hay dos hornos uno alcanza  $800^{\circ}C$  y el otro  $1400^{\circ}C$  en atmósfera de aire. El primer tratamiento térmico transforma el ADU en  $U_3O_8$  y luego se realiza la siguiente etapa a más temperatura para obtener un polvo con alta densidad. Todos los tratamientos mecánicos con tamizadoras y molinos, utilizados para dar a los polvos la morfología requerida, se realizan en caja de guantes, como así también la carga y descarga de los hornos.

En 1996 comenzó en Argentina el entrenamiento del personal egipcio designado para manejar la facilidad. Dicho personal había recibido previamente instrucción por parte de INVAP SE. Este entrenamiento finalizó con la obtención de licencias de operación otorgada por la Autoridad Regulatoria Nuclear Argentina.

Durante el período 1995-1999 INVAP SE diseñó e instaló la planta, solicitando la asistencia técnica del personal de la PFPU a fines de 1997.

En ese año viajó a la República Árabe de Egipto personal de CNEA que brinda asistencia técnica en la puesta en marcha de la FMPP con uranio natural, dada la experiencia existente respecto a la operación de la planta.

Se realizó toda la documentación mandatoria de la instalación: código de práctica, informe final de seguridad, plan de monitoreo, plan de emergencia y manual de operaciones.

Se asistió al personal de INVAP SE en la documentación y realización de los ensayos pre-operacionales y se procesó un cilindro de  $UF_6$  ( 25 kg. ) equivalente a 11 lotes, cantidad que se consideró adecuada para la calificación de la planta. Estas operaciones sirvieron para terminar el entrenamiento comenzado en la Argentina del personal egipcio, llevando los conceptos teóricos adquiridos a la práctica en su instalación, necesarios para poder obtener la autorización específica para operar la planta.

En 1998 se brindó asistencia técnica en la puesta en marcha del laboratorio analítico, poniendo a punto los procedimientos de las distintas técnicas analíticas necesarias para la caracterización del producto final y control de procesos. Se contó con la participación de profesionales de otras áreas de CNEA ( TECNOPU y Geoquímica). Las técnicas utilizadas permitieron certificar que el producto cumplía con los requerimientos especificados (TABLA 2) . Se realizaron determinaciones de fósforo por espectrofotometría de absorción molecular, densidad por picnometría de gases, flúor por

potenciometría con electrodo selectivo de ion fluoruro y relación metal-oxígeno por espectrofotometría. Las demás impurezas fueron determinadas por plasma de acoplamiento inductivo, previa separación del uranio. También se pusieron a punto métodos de determinación del contenido de uranio en altas y bajas concentraciones (Davies y Gray y Arsenazo III). Estas mediciones son muy importantes en el proceso de hidrólisis, ya que permite asegurar que se trabaja con concentraciones seguras que imposibiliten un evento crítico.

Se realizó el entrenamiento de los profesionales afectados al laboratorio sobre las técnicas anteriores, incluyendo explicaciones teóricas sobre los fundamentos de los métodos, condiciones para su aplicación y realización de análisis sobre las muestras de planta.

Se calificó la línea de producción mediante el análisis de cuatro lotes de uranio natural. Sólo se detectó un problema de contaminación durante la puesta a punto. Esta se debió a un contenido de hierro mayor que el máximo permitido por la especificación en el producto final. Con el fin de establecer el lugar de la contaminación, se realizó un seguimiento en toda la línea de producción. Los valores informados por el laboratorio, acotaron donde se había generado el problema. Se determinó que el hierro provenía del hidrolizador y del precipitador. Se detectó así, que la causa fue una falla en el recubrimiento de sendas termocuplas, demostrando en esta forma, la importancia del trabajo conjunto entre el laboratorio y la planta, y la necesidad de contar con resultados confiables en la etapa de puesta en marcha.

Una vez caracterizados los polvos y calificada la planta, se realizó la puesta en marcha de la facilidad utilizando hexafluoruro de uranio con un enriquecimiento de hasta el 20%. En este período se trabajó en el marco de un sistema de gestión de la calidad, de acuerdo a los manuales realizados y se siguió rigurosamente la documentación mandatoria durante el desarrollo de las prácticas.

El personal egipcio produjo, bajo supervisión de CNEA, el óxido de uranio necesario para la fabricación de dos elementos combustibles, los que fueron terminados durante este año.

## CONCLUSIONES

Todo el proceso terminó con éxito. Se trabajó en forma segura y la planta demostró también haber sido diseñada por parte de INVAP SE en forma segura desde el punto de vista nuclear, y eficiente desde el punto de vista del proceso. El personal egipcio trabajó con conocimiento de las operaciones que debía realizar.

En este momento se está irradiando en el reactor MPR, el combustible fabricado en la FMPP. La planta está operativa y el personal egipcio está produciendo el óxido de uranio necesario para la elaboración de sus combustibles, ya sin la supervisión de CNEA.

Es de destacar que este tipo de emprendimientos en donde participan varias empresas son viables y enriquecedoras para CNEA.

Fue importante para todo el grupo haber participado exitosamente en este proyecto dada la experiencia laboral adquirida al trabajar en un medio diferente al habitual. También fue importante haber desarrollado en CNEA el proceso, diseñado e instalado la facilidad, realizar la producción a nivel planta piloto y finalmente cerrar el ciclo con la transferencia de esta tecnología.

## REFERENCIAS

- 1 Boero et al, "Description of the  $U_3O_8$  powder production plant for low enrichment fuel plates", *Proceedings of the X International Meeting on RERTR, 1987*.
2. Celora et al, "Analysis of the production of  $U_3O_8$  powder for low enrichment fuel plates", *Proceedings of the X International Meeting on RERTR, 1987*.
3. Leciñana et al, "Physical and chemical characterization in the production of  $U_3O_8$  powders", *Proceedings of the X International Meeting on RERTR, 1987*.

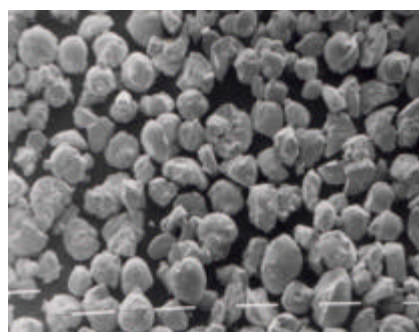
## FIGURAS Y TABLAS

TABLA 1 Masas procesadas en las distintas producciones.

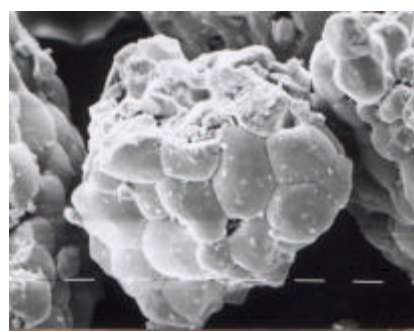
Año	Reactor	País	Masa Procesada	Nº de lotes Procesados	Nº lotes Inf. Disc.
1986/87	RP0.Fac.crit.	Perú	59Kg	38	
1988/89	RAE (1MW)	Argelia	75kg	55	5
1989/90	TRR(10MW)	Irán	25kg	19	1
1989/93	RA3 (5MW)	Argentina	41Kg	32	12
1991/92	TRR(10MW)	Irán	58kg	43	1
1996/97	MPR(20MW)	Egipto	40kg	30	-----
1993/99	RA3(5MW)	Argentina	90kg	58	-----

TABLA 2 Características físico-químicas del polvo de  $U_3O_8$  de acuerdo a la especificación.

Contenido de URANIO	84,5 g% mín.
Contenido de U235	19,70+/-0,25g%
Tamaño de partículas	90µm máx.
Partículas <40µm	50g% máx.
Densidad	≥8,0g/cm <sup>3</sup>
Estequiometría (O/U)	2,62- 2,72
Contenido máximo admisible de impurezas en µg del elemento /g de uranio	Al: 500, Ca: 250, Cu: 20, F: 20, P: 100, Si: 250, Cr+Ni+Fe: 150, Ba: 10, B: 2, Cd: 0,5, Co: 3, Li: 5, Mg: 100, Mn: 5, K: 20, V: 5.



— 90 µm



— 9 µm

Figura1. Micrografías de  $U_3O_8$  en especificación.



Figura 2. FMPP