

se prevé esta posibilidad. En efecto, en el PEN-83 se indica respecto a la Empresa Nacional de Residuos (ENRESA) «Esta empresa considerará, en principio, a los combustibles irradiados procedentes de los reactores como un residuo sin abordar su reprocesamiento...»

Las razones contrarias al reciclado del combustible gastado se basan principalmente en el temor sociológico al plutonio y en el riesgo de uso militar del plutonio civil, además de los riesgos asociados a la manipulación del plutonio. Esta situación se ve sustancialmente paliada recuperando exclusivamente el uranio, con el fin de su uso en reactores de agua ligera.

En esta ponencia nos referiremos al estado actual de esta técnica y las perspectivas futuras de uso, especialmente en las implicaciones que tendrá en la fabricación de elementos combustibles, llegando a la conclusión de que la próxima revisión del PEN (prevista en principio para 1992) debería incluir la posibilidad de reciclado del uranio procedente del combustible irradiado en las centrales nucleares españolas, toda vez que esta técnica tendrá una participación creciente en la década de los 90.

CARACTERISTICAS DEL URANIO RECICLADO

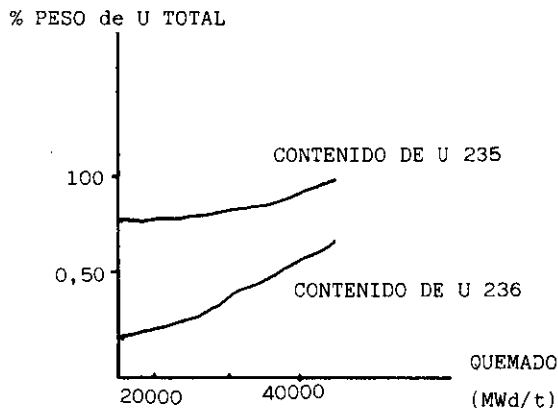
El uranio reciclado (que a partir de ahora denominaremos URE) posee respecto al uranio de origen natural (ver tabla I) las siguientes diferencias:

—Contiene ^{236}U y ^{234}U , que son absorbentes neutrónicos, en mayor proporción que el uranio enriquecido de origen natural, lo que obliga a un enriquecimiento adicional del URE para obtener la misma reactividad. La proporción en la que aparecen el ^{236}U y ^{234}U aumenta con el grado de quemado (ver fig. I) y con el enriquecimiento inicial del combustible. Asimismo, el ^{234}U tiene un efecto importante sobre la dosis por inhalación.

—Aparece ^{232}U , que no está presente en el uranio de origen natural. Este isótopo no influye sobre la reactividad del combustible pero dos de sus descendientes (^{208}Tl y ^{212}Bi) emiten radiación gamma muy energética por lo que aumenta considerablemente el riesgo de irradiación externa en las operaciones que van desde la recuperación del uranio hasta la introducción del elemento en el reactor.

La proporción de ^{232}U aumenta con el grado de quemado y con el tiempo de enfriamiento (Ver fig. II). El tiempo de enfriamiento óptimo antes de recuperar el uranio está en torno a los tres años. Periodos más prolongados encarecen el coste de recuperación debido a la necesidad de interponer barreras de protección radiológica cada vez mayores frente al ^{232}U y sus descendientes.

Fig. I Contenido de U 235 y U 236 en el uranio reciclado en función del grado de quemado.



El enriquecimiento inicial depende del grado de quemado:
 Para: 33000 Mwd/t : 3,25% U-235
 Para: 42000 Mwd/t : 4,2% U-235

9-04

PERSPECTIVAS FUTURAS DEL USO DE URANIO RECICLADO

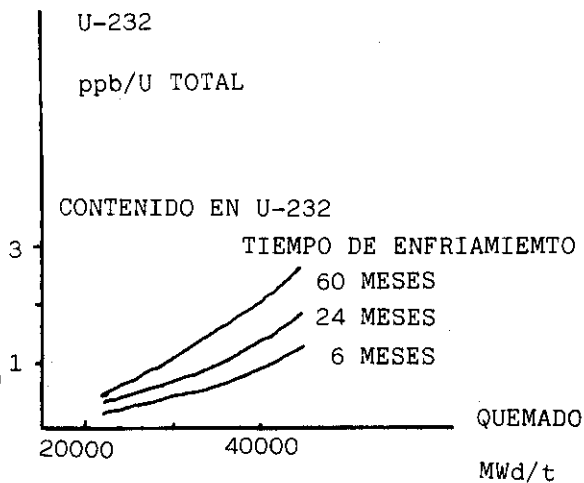
F. RECIO, G. SANCHEZ, C. ALVARO y W. GARCIA
 ENUSA

INTRODUCCION

El combustible gastado conserva un alto poder energético. Aproximadamente por cada Tm, de Uranio introducido en el reactor con un enriquecimiento del 3,2% en ^{235}U se obtienen, una vez sometido a un quemado de 33000 Mwd/Tm U, unos 950 kg de U enriquecido al 0,9 % en ^{235}U y de 7 a 9 kg de Pu. Teniendo en cuenta que 1 kg de uranio procedente del combustible gastado equivale a 1,3 kg de uranio natural y que 1 kg de Pu equivale a 90 kg de uranio natural, resulta que 1 Tm de combustible irradiado equivale energéticamente a unas 2 Tm de uranio natural. De ahí el interés de recuperar tales materiales.

De la operación de recuperación o reciclado del uranio y el plutonio, y su posterior uso en reactores nucleares convencionales, se posee una amplia experiencia en algunos países. En otros, como es el caso de España, de momento no

Contenido de U-232 en el uranio reciclado en función del grado de quemado y del periodo de enfriamiento.



PROBLEMAS ASOCIADOS A LA UTILIZACION DE URANIO RECICLADO EN LA FABRICA DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES

En este apartado se describen los problemas asociados a la fabricación de elementos combustibles con URE siendo extensibles, aunque en distinta medida, a otras fases del ciclo del combustible asociadas a la recuperación del uranio. Las características físicas de un elemento combustible que contenga uranio natural enriquecido (UNE) y otro que contenga URE son idénticas excepto en lo que se refiere a su composición isotópica (ver tabla I). Las operaciones de fabricación son consiguientemente similares, si bien cuando se maneja URE hay que tomar varias precauciones de Protección Radiológica adicionales. En estos momentos se está evaluando cuáles serían éstas para el caso de la fábrica de Juzbado. A continuación se describen las conclusiones previas a las que se ha llegado, muchas de las cuales se han obtenido de la experiencia ya disponible en otras instalaciones:

Irradiación externa

El hecho de que el URE contenga ^{232}U hace que el riesgo de irradiación externa vaya aumentando con el tiempo transcurrido desde la conversión, fundamentalmente a causa de la aparición de los descendientes ^{208}Tl y ^{212}Bi . De la experiencia realizada en la fábrica de Romans se ha obtenido que la dosis recibida durante la fabricación de combustible con URE no diluido es mayor que la del UNE, 2 ó 3 meses después de la conversión y alcanza un factor de 2 a 4 después de 6 meses.

Asimismo, se ha visto que la fabricación con una mezcla del 16% de URE y 84% de UNE la dosis es del 10% al 30% mayor que la del UNE.

Concentración ambiental

El riesgo de contaminación por inhalación de aerosoles en las operaciones de fabricación de combustible con URE es superior al existente para el UNE, debido principalmente al mayor contenido de ^{234}U . (El ^{234}U es responsable del 70 al

TI Características Isotópicas del uranio reciclado y del uranio natural

Isótopos	Uranio reciclado (1)		Uranio natural	
	Antes del Enrq. % en peso	Después del Enrq. % en peso	Antes del Enrq. % en peso	Después del Enrq. % en peso
^{232}U	$1,38 \cdot 10^{-7}$	$6,3 \cdot 10^{-7}$	—	—
^{234}U	0,016	0,081	0,0056	0,0026
^{235}U	0,832	3,567	0,715	3,25
^{236}U	0,375	1,191	—	—
^{238}U	98,77	95,26	99,284	96,74

(1) Enriquecimiento inicial del combustible: 3,10% ^{235}U
Grado de quemado: 33 MWd/t
Período de enfriamiento: 3 años
Enriquecimiento equivalente: 3,25%

80% de la dosis por inhalación.)

El riesgo por inhalación con URE puro es superior al del uranio natural en un factor 2 y con URE diluido al 16% en uranio natural, en un pequeño tanto por ciento.

De lo anterior y del estudio que ENUSA está realizando para su Fábrica de Juzbado se ha concluido que para disminuir el riesgo de irradiación externa y de contaminación interna cabe adoptar el siguiente tipo de medidas:

- Disminuir el contenido de ^{232}U en el producto. Esto se puede conseguir mezclando URE y UNE en las proporciones deseadas y/o acortando el período de enfriamiento del combustible previo a la recuperación del uranio. Con mezclas de URE del 10 al 20% es probable que en Juzbado pueda fabricarse sin necesidad de introducir grandes cambios.
- Disminuir la presencia de ^{208}Tl y ^{212}Bi , reduciendo el tiempo que transcurre desde la conversión hasta la fabricación del elemento combustible.
- Reducir los períodos de permanencia del personal profesionalmente expuesto en las áreas de operación en las que se manipula URE.
- Introducir modificaciones en algunas áreas de operación. Por ejemplo: aumentando la aspiración en las operaciones en las que se puedan generar aerosoles, vallado que dificulte la proximidad de personas a los equipos con material fisionable y en algunos casos automatizando ciertas operaciones e introduciendo blindajes.
- Facilitar la limpieza de equipos y del sistema de ventilación y realizarlas con más frecuencia.

Finalmente, en lo que se refiere a la emisión de efluentes radiactivos líquidos y gaseosos, es muy probable que las emisiones no aumenten más que en un pequeño porcentaje, lo que en el caso de la fábrica de Juzbado es perfectamente asumible puesto que las actividades anuales vertidas están lejos de los límites autorizados.

PRODUCCION PREVISTA DE URANIO RECICLADO

La mayoría de los países de Europa Occidental y Japón tienen previsto reciclar el uranio, previéndose para 1995 una participación del 8-10% de URE en el combustible total. La demanda de uranio reciclado será satisfecha principalmente por los siguientes grupos:

- URENCO, que prevé reciclar entre 1993 y 2003 una media de 600 Tm/año.
- EDF, que prevé disponer de una capacidad de reciclado de 1.000 Tm de uranio equivalente durante el período 1991-94 y de 2000 Tm/año a partir de 1994.
- Japón, que ha decidido reciclar todo su combustible gastado.

CONCLUSIONES Y PROPUESTA DE ACTUACION

De lo expuesto anteriormente se concluye:

- El combustible gastado posee un alto poder energético que hace, desde el punto de vista económico, muy atractiva la recuperación del uranio.
- La tecnología del reciclado de uranio está demostrada, previéndose una participación creciente en la misma de los países de Europa Occidental y Japón.
- El enfriamiento excesivamente prolongado del combustible irradiado hace más costoso el reciclado del uranio, si bien en cada caso es necesario un estudio económico específico.
- El reciclado del uranio disminuye apreciablemente el volumen generado de residuos de alta actividad.
- La tecnología del reciclado del uranio no posee el riesgo de proliferación nuclear ni el temor sociológico que genera el reciclado del plutonio.
- La fabricación de elementos combustibles, limitando la proporción del uranio reciclado en el combustible total y/o limitando los períodos de fabricación, no implica un aumento significativo del riesgo del personal profesionalmente expuesto. Por otra parte el impacto ambiental es insignificante.

En base a lo anterior se propone que en la próxima revisión del PEN se contemple la posibilidad de reciclado del uranio procedente del combustible irradiado de los reactores de agua ligera existentes en España. Con tal fin debe realizarse un estudio de las implicaciones económicas que ello tendría. Finalmente conviene aclarar que el PEN-83 no dice nada en contra de que se pueda usar en la Fábrica de Juzbado uranio reciclado. Por ello, y pensando especialmente en el mercado exterior, ENUSA está estudiando en estos momentos la viabilidad de licenciar la fábrica para este tipo de uranio, lo que, en principio, se cree no deba presentar problemas especiales.