

## RECUPERACION DE PLUTONIO Y NEPTUNIO EN LA REPUBLICA ARGENTINA

A. J. G. Maroto\*, F. Kaufmann\*\*, J. G. Flegenheimer\*\*  
Comisión Nacional de Energía Atómica

\* Prospectiva \*\* Area Reactores Nucleares

### Resumen

Se analizan los costos de recuperación del plutonio y del neptunio de los elementos combustibles nucleares irradiados en reactores de potencia. Se determinan las características y costos en plantas nacionales industriales optimizadas en función del ritmo de crecimiento de la producción de elementos combustibles irradiados y de la fecha de su puesta en marcha.

### INTRODUCCION

El ciclo de elementos combustibles nucleares esta constituido por una serie de operaciones que partiendo de la extracción del uranio de los minerales incluye la preparación del óxido de pureza nuclear, la fabricación del combustible y su quemado en el reactor. Si su valor residual así lo justifica, el ciclo prosigue luego de la descarga del elemento combustible ( E. C. ) del reactor, con un proceso químico que recupera el uranio no utilizado y algunos elementos tales como el plutonio y el neptunio. A este proceso se lo denomina reprocesamiento. Después de este tratamiento, el ciclo combustible concluye con la utilización de los materiales recuperados como materia prima para la fabricación de nuevos E. C. para el mismo u otro tipo de reactor.

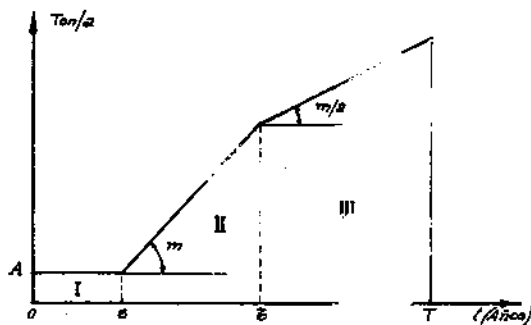
Los canadienses (1) sostienen que para sus condiciones, desde el punto de vista económico, los reactores de uranio natural no necesitan del reprocesamiento. Sin embargo, estos E. C. contienen una concentración de plutonio que podría hacer interesante su recuperación teniendo en mente su posible empleo en reactores reproductores o para su reciclado en reactores térmicos en ciertas condiciones.

Es necesario destacar que la factibilidad de la utilización del plutonio no está dada solamente por los costos del reprocesamiento sino por la economía de todo el ciclo combustible, particularmente, de los costos de fabricación de los E. C. con plutonio y del rendimiento de los mismos en los reactores.

(1) Watson D. AECL- 4368 (1973)

## BASES PARA LA ESTIMACION DE COSTOS

Consideraremos sólo aquí plantas industriales de reprocesamiento, es decir, aquellas cuya capacidad sea mayor que 1 T/d y que sean adecuadas para el tratamiento de E.C. a base de uranio natural envainado en Zircaloy o acero inoxidable y que opera por el procedimiento acuoso de extracción por solvente empleando fosfato de tributilo (TBP). Se supondrá que el proceso comenzará con un cizallamiento mecánico, que corta los E.C. en trozos apropiados para permitir la disolución del óxido de uranio en ácido nítrico, dejando la vaina en forma de residuo insoluble. El cálculo de la cantidad de E.C. irradiados se ha realizado suponiendo distintas pendientes de crecimiento ( desde  $80 \text{ T/a}^2$  á  $30 \text{ T/a}^2$  ) empleando módulos de  $600 \text{ MW}_e$ , con un factor de utilización del 80 %, un quemado de  $8.000 \text{ MWd/T}$  y una eficiencia térmica del 29%. La producción de plutonio y neptunio se calculó en base a un contenido de  $2,5 \text{ g/Kg U}$  y de  $2 \cdot 10^{-2} \text{ g/kg U}$  respectivamente<sup>(2)</sup>.



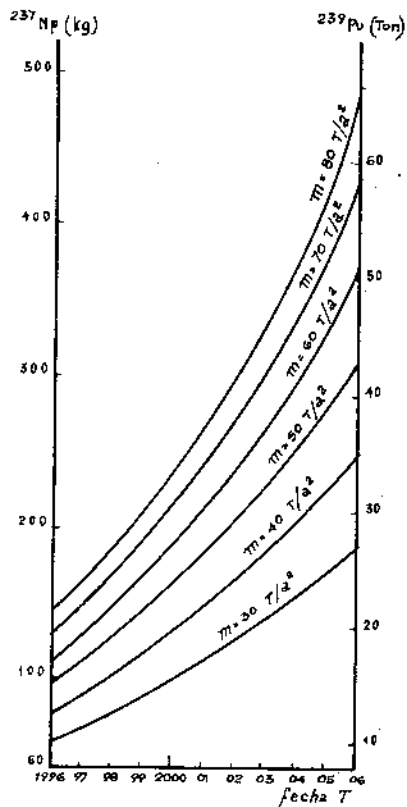
En la Fig. 1 se representó esquemáticamente el modelo empleado para el cálculo de la producción de E.C. irradiados. En esta se puede apreciar tres secciones bien definidas: I entre 0 y 6 (1974-1980) producción estacionaria debida al reactor de Atucha; II entre 6 y 8 (que corresponde al período comprendido entre 1980 y tres años después que la planta de reprocesamiento comience a

operar; III entre 8 y T (donde T es la fecha correspondiente al último año de la vida útil de la planta,  $T - X = 15$  años) La reducción de la pendiente, en esta última sección, es debida a la incorporación de plutonio a los E.C. de los reactores. Adoptando este valor ( $m/2$ ) se supone que el nivel de quemado será el doble del que se logra en los reactores de la primera generación. En consecuencia, a pesar de que el ritmo del crecimiento de la potencia instalada se mantenga invariable, la pendiente de la producción de E.C. irradiados disminuirá a la mitad.

La producción de plutonio y neptunio, hasta el fin de la vida útil de la planta (T) será una función de dos variables ( por ejemplo de m y T), debido a que se impone las siguientes condiciones : a)  $T - X = 15$  años (vida útil de la planta) b)  $T - 8 = 12$  años ( se asume que es necesario tres años como mínimo desde la puesta en marcha de la planta y la operación de

(2) Ing R. B. A. Solanilla -CNEA- Comunicación personal (1974)

reactores con uranio enriquecido con plutonio). c) En la región I se asume una producción estacionaria de 45 T/a.



En la Fig. 2 se muestra la cantidad total de neptunio-237 y plutonio-239 acumulada hasta la fecha T, en función de la pendiente de la curva de crecimiento ( $m$ ). Obsérvese que la planta de reprocesamiento comienza a operar 15 años antes de la fecha T.

Las plantas fueron optimizadas utilizando las conclusiones de estudios franceses. Estos investigadores (3) emplearon el método de programación dinámica secuencial para el tratamiento matemático del problema aplicado al reprocesamiento de E.C. de uranio natural. Resumidamente sus conclusiones pueden enunciarse en la siguiente forma: 1. - para costos de transportes bajos (menor que 2 U\$\$/kg) conviene instalar una sola central de reprocesamiento; 2. - la capacidad óptima de la planta será aquella que cubra la demanda total de reprocesamiento en el último año de su vida útil. En base a las premisas anteriores y a un dado plan de instalaciones de centrales nucleares es posible calcular la capacidad óptima de la planta en función de

su puesta en servicio, como así también sus factores de utilización promedio y consecuentemente sus costos de recuperación.

En la Rca. Argentina el costo de transporte de los E.C. irradiados desde distintos puntos del país hasta una planta instalada en Bs As arrojaron valores inferiores a los 2 U\$\$/kg (4).

El cálculo del costo de recuperación del plutonio y del neptunio se realizó prorrateando el costo del tratamiento global del combustible entre ellos (se le asignó un valor nulo al uranio agotado como así también al resto de los nucleidos) empleándose como criterio los precios internacionales, 12 U\$\$/g (4) para el plutonio y de 75 U\$\$/g para el neptunio (5).

(3) Thiriet L. et al CEA-R-2642 (1964); CEA-R-2937 (1967)

(4) Kaufmann F. CNEA/EN 37/110 Sep. 1973

(5) Anderson A. Trans. Nuclear Am. Soc. 14:1 (1971) 89

Las soluciones encontradas permanecen inmutables frente a las variaciones en los parámetros económicos como ser una disminución del costo del transporte a 1,5 U\$\$/kg, un aumento de la tasa de interés del 7% al 10% y una extensión del horizonte. Sin embargo, la política óptima es fuertemente perturbada por un incremento del costo del transporte, por ejemplo si este fuera de 3 U\$\$/kg, una segunda planta ubicada en otro lugar debería entrar en funcionamiento antes del fin de la vida útil de la primera.

En la Rca Argentina es corriente usar una tasa del 8% anual y en ella basamos nuestros cálculos; asumiendo este interés y una vida útil de 15 años se llega a un aporte anual al fondo de acumulación (sinking fund) del 3,68% con lo que resulta una carga fija del 11,68%.

#### COSTOS DE RECUPERACION

A los costos de reprocesamiento propiamente dicho se le sumó los costos de transporte y los de almacenamiento. Estos últimos son una función de la fecha de la puesta en marcha de la planta y de la pendiente de crecimiento. Por este concepto sólo se computó el combustible almacenado que supera al acumulado durante tres años de operación de los reactores ( durante este último período se imputa al costo de operación del reactor)

En las Tablas I y II están los costos de recuperación total del plutonio y del neptunio en U\$\$/g en función de la pendiente del crecimiento y del año en puesta en marcha de la planta. De estas tablas puede observarse que el costo del tratamiento promedio baja considerablemente en el caso de almacenamiento previo, pues permite la instalación de plantas de gran capacidad que trabajan con un factor de carga elevado. En otras palabras, cuando el sistema complementario no está implementado ( no existen reactores consumidores de plutonio ) el almacenamiento del combustible es altamente beneficioso en la economía del ciclo combustible.

COSTO TOTAL DE RECUPERACION DEL Pu FISIONABLE  
( U\$S/g )

año m		año puesta en marcha							
		1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
30		12,4	11,8	11,0	10,3	9,7	9,2	8,6	8,2
40		11,6	10,6	10,0	9,2	8,4	8,0	7,7	7,3
50		10,6	10,0	9,0	8,2	7,7	7,1	7,0	6,5
60		10,0	9,0	8,2	7,7	7,1	6,5	6,4	6,2
70		9,4	8,4	7,7	7,1	6,7	6,2	5,8	5,6
80		8,7	8,0	7,5	6,9	6,4	6,0	5,4	5,2

COSTO TOTAL DE RECUPERACION DEL NEPTUNIO  
( U\$S/g )

año m		año puesta en marcha							
		1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
30		77,0	73,6	68,0	64,2	60,7	57,2	53,7	51,4
40		72,4	66,6	61,0	57,2	52,6	50,2	47,9	45,6
50		66,6	61,0	56,0	51,4	47,9	44,4	43,2	40,9
60		61,9	56,0	51,4	47,9	44,4	40,9	39,7	38,5
70		58,4	52,6	47,9	44,4	42,0	38,5	36,2	35,0
80		54,9	50,2	46,7	43,2	39,7	37,4	33,9	32,7