

TAN: AR9200119

EVALUACION FINANCIERA DEL PROYECTO DE SPIKING
DE Pu EN LAS CENTRALES NUCLEARES
ARGENTINAS

POR

J.E. BERGALLO Y G.N. BARCELO

Gcia. de Area de Ciclo de Combustible
Planificación y Gestión Tecnológica
Comisión Nacional de Energía Atómica
República Argentina

Trabajo a ser presentado a la XVIII Reunión Anual de
la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear, 22-26
octubre de 1990 en Buenos Aires, Argentina.

Evaluación financiera del proyecto de spiking de Pu en las centrales nucleares Argentinas

Juan E. Bergallo-Gabriel N. Barceló

Gerencia de Area de Ciclo de Combustible

Planificación y gestión tecnológica

Comisión Nacional de Energía Atómica-Centro Atómico Bariloche

Introducción: una de las alternativas para disminuir el costo del ciclo de combustible en las centrales nucleares es la de utilizar el plutonio que se obtiene del reprocesamiento de los combustibles irradiados.

Este Pu puede ser utilizado distribuido homogéneamente en todos los elementos combustibles (EC) o sólo colocado en algunos, que se ubican en la periferia del núcleo; conociéndose esta técnica como "spiking de Pu".

Es comúnmente aceptado que la alternativa económica, para el uso del Pu es esta última ya que son sólo unos pocos elementos que se encarecen en su fabricación por contener Pu.

Objetivo: dado que se está cerca de la terminación de las obras de la planta de reprocesamiento, y que se debe tomar una decisión con respecto al Pu resultante de dicho proceso, se ha decidido desarrollar esta evaluación financiera, respecto del posible uso del Pu en los reactores de potencia del país, en la cual se ha considerado todo el ciclo de combustible, e inclusive el costo de los impactos radiológicos que el mismo trae aparejado.

Metodología de trabajo: se han considerado dos ciclos de combustibles típicos, siendo el primero de ellos el que se usa actualmente con uranio natural y el futuro en donde se use el "spiking de Pu".

Se han calculado los valores presentes netos de los costos de cada uno de los ciclos considerados, desde el momento en que el U es extraído de las minas hasta que se procede al pago por la deposición final de dichos elementos. No se han tenido en cuenta los beneficios que se generan por la venta de energía y los gastos por operación de la central ya que los mismos son idénticos para cada uno de los ciclos presentados, y si existiera alguna diferencia serán menores en el ciclo de "spiking de Pu" aunque su cuantificación resulta sumamente difícil en esta etapa de análisis. En esta valuación se han considerado también los costos por la radiación liberada al ambiente que genera la operación de las centrales en cada uno de los ciclos planteados.

El ahorro que generará este cambio se encuentra dado por el valor presente neto del proyecto diferencia que resulta de la diferencia de los valores presentes netos antes calculados.

Planteo matemático del problema: en primer lugar calcularemos el costo del ciclo con el uso de uranio natural mediante el uso de las siguientes ecuaciones:

1.-Precio del EC:

$$PRC1 = PF1 * (1 + IVA/100) + M * (PC * (1 + R/1200)^{TF} + PYC * (1 + R/1200)^{(TF+TC)} / (1 - LC/100)) / (1 - LF/100)$$

2.-Costo financiero por el almacenamiento en la central:
 $CFIN1 = K * PRC1 * R/1200$

3.-Costo de almacenamiento de los combustibles irradiados:

$$ALMP1 = CALM1 * M * (1 + R/1200)^{-60}$$

4.-Costos de transporte:

$$PTRA1 = CTRA * M * (1 + R/1200)^{-60}$$

$$PTRA2 = CTRA * M * (1 + R/1200)^{-360}$$

5.-Costo de repositorio:

$$DEP = CDEP * M * (1 + R/1200)^{-360}$$

6.-Costo de los detrimentos:

$$CDET1 = DET1 * POT * FAC * EFI * BETA / (12 * 1000)$$

7.-Costos totales en función del tiempo de operación de la central:

$$COST1 = (POT * FAC * 365 * (PRC1 + CFIN1 + ALMP1 + PTRA1 + PTRA2 + DEP) / (Q1 * M * 12) + CDET1) * ((1 + R/1200)^{(T+1)} - 1) / ((1 + R/1200)^T * R/1200)$$

Por otro lado calcularemos el costo del ciclo con elementos de óxidos mixtos y de uranio natural, para la estrategia de spiking de Pu.

1.-Precio del EC:

$$PRC2 = PF2 * (1 + IVA/100) + (MU * (PC + PYC / (1 - LC/100)) * (1 + R/1200)^{TC}) * (1 + R/1200)^{TF} / (1 - LF/100)$$

2.-Costo financiero por el almacenamiento en la central:
 $CFIN2 = K * PRC2 * R/1200$

3.-Costo del transporte de los EC irradiados:

$$CTRA3 = CTRA * (1 + R/1200)^{-60} * M$$

4.-Costo de reprocesamiento:

$$PREP = CREP * (1 + R/1200)^{-60} * M$$

5.-Costo del detrimento:

$$CDET2 = DET2 * FAC * POT * EFI * BETA / (12 * 1000)$$

6.-Costo total en función del tiempo de operación de la central:

$$COST2 = (((POT3 * FAC * 365) / (Q3 * 12 * M)) * (PRC2 + CFIN2 + ALMP2 + CTRA3 + PREP) + ((POT2 * FAC * 365) / (Q2 * 12 * M)) * (PRC1 + CFIN1 + ALMP2 + PTRA2 + PREP)) + CDET2 * ((1 + R/1200)^{T+1} - 1) / ((1 + R/1200)^T * R/1200)$$

Debe hacerse notar en este caso que se ha considerado que el plutonio tiene un costo nulo, por lo cual no se lo considera dentro de los créditos en el reprocesamiento ni tampoco en los costos para el elemento combustible. En este caso no se han tomado créditos en la parte del reprocesamiento por el uranio extraído ya que el mismo resulta ser uranio empobrecido por lo cual su valor es muy bajo.

Por último se calcula el beneficio generado como la diferencia entre cada uno de los costos hallados anteriormente:

$$\text{Beneficio} = \text{COST1} - \text{COST2}$$

Siendo en las expresiones antes utilizadas el significado de las variables el siguiente: BETA : costo de rem-hombre considerado. CALMI : costo de almacenamiento en la estrategia actual. CDEP : costo de deposición de los elementos combustibles. CREP: costo del reprocesamiento. CTRA: costo del transporte del material irradiado. DET1 : dosis de radiación liberada en la estrategia actual. DET2 : dosis de radiación liberada en la estrategia futura. FAC : factor de carga de la central. IVA : impuesto al valor agregado. K : tiempo de stock en la central. LC : pérdidas durante la conversión a UO₂. LF : pérdidas durante la fabricación. M : masa de uranio de los elementos combustibles actuales. MU : masa de U que contienen los elementos NOX. PC : precio de la conversión a UO₂. PF1 : precio de fabricación del EC con U natural. PF2 : precio de fabricación del EC con NOX. POT : potencia térmica de la central. POT2 : potencia entregada por los EC de U natural en la estrategia con MOX. POT3 : potencia entregada por la zona de EC MOX. PYC : precio del yellow cake. Q1 : quemado de los EC en la estrategia actual. Q2 : quemado medio de los EC con U natural en la estrategia con MOX. Q3 : quemado medio de los EC con MOX. R : tasa real de descuento anual. T : tiempo de duración de la estrategia con ciclo homogéneo. TC : tiempo en la conversión. TF : tiempo de fabricación.

Resultados obtenidos: los valores que se han utilizado para la realización de estos cálculos son los que se pueden encontrar en las referencias 1 a 9.

Los resultados obtenidos fueron:

1.-Considerando el impacto radiológico:

Atucha I : 3,523,000 US\$/año Atucha II : 4,449,000 US\$/año

2.-Sin considerar el impacto radiológico:

Atucha I : 2,500,000 US\$/año Atucha II : 2.200,000 US\$/año

Se presentan los valores de corte de los parámetros más significativos, siendo estos aquellos que hacen que el beneficio del proyecto sea nulo, cuando el parámetro en cuestión alcanza el valor que se indica y los demás mantienen los valores antes indicados. Estos valores se han hallado para el caso en que se consideró el impacto radiológico.

| Variable | Atucha I | Atucha II |
|----------|----------|-----------|
| PFA | 16404.1 | 13024.3 |
| PFY | 268059.0 | 250251.8 |
| PC | -022.4 | -32.0 |
| QO1 | 107.4 | 85.0 |
| QO2 | 107.4 | 85.0 |
| QO3 | 107.4 | 85.0 |
| CALM | 1 | 1 |
| CTRA | -1390.0 | -1390.0 |
| CDEP | -440.0 | -280.0 |
| CREP | -059.0 | -021.0 |
| BETA | -230.2 | -07.7 |

Tabla I

Conclusiones: la presente evaluación muestra que resulta económicamente favorable el cambio de la estrategia actual por la del "spiking de Pu", aunque este resultado puede verse modificado cuando se cuenten con los costos de las etapas del fin de ciclo de nuestro país que en general suelen ser más altas que las internacionales que se han tomado en cuenta en la presente evaluación.

Sin embargo existen otros factores que deberán ser tenidos en cuenta cuando llegue el momento de la toma de decisiones y que son:

1.-La disminución de los consumos de uranio natural que tiene lugar, con lo cual se llega a duplicar la cantidad de energía que puede ser extraída de las actuales reservas de uranio. Lo que sin duda tiene un valor muy importante puesto que permitiría o bien aumentar las exportaciones de uranio o iniciar ese camino, o asegurarse una mayor independencia de las futuras fluctuaciones que pueda tener el precio del uranio.

2.-La mayor cantidad de dinero que se podría invertir en la construcción de un repositorio o una planta de reprocesamiento más seguros porque el ahorro que se obtiene por la disminución de la liberación de radiación debería ser gastada en aumentar la seguridad del proceso de acuerdo con los preceptos comúnmente aceptados en los aspectos de seguridad.

Referencias:

- [1] D. Carnevali - Trabajo especial de la Carrera de Ingeniería Nuclear del Instituto Balseiro - San Carlos de Bariloche 1988.
- [2] C. Notari y G. Anbinder - Influencia del enriquecimiento del combustible en los costos de generación de energía eléctrica - I. T. 1033/89 - CNEA.
- [3] Nuclear Energy Agency - The economics of the nuclear fuel cycle - Paris 1985.
- [4] IAEA - Advanced light and heavy water reactors for improved fuel utilization - IAEA TECDOC 344.
- [5] H. J. Zech - Argentine-German Co-operation on fuel cycle optimization for the nuclear power plant Atucha I - Progress Report 1974 - KFK 2133.
- [6] CNEA - Preliminary safety analysis report Atucha II - CNEA 1981.
- [7] Santiago Harriague - Comunicación privada.
- [8] J. Matricorena - La economía del reciclado de Pu en reactores de agua pesada-un análisis preliminar - Mayo 1990.
- [9] D. J. Beninson y A. Migliorini de Beninson - Radiological impact of radioactive waste management. - REPO 1 CNEA-NT 8/81.