

# SEGUIMIENTO DEL QUEMADO DE UN ELEMENTO COMBUSTIBLE, PARA DIFERENTES TIEMPOS DE ENFRIAMIENTO

C. Henríquez\*, G. Navarro\*, C. Pereda\*, O. Mutis\*, L. A. A. Terremoto\*\*, C. A. Zeituni\*\*

\*Unidad de Reactores, Departamento de Aplicaciones Nucleares,  
Comisión Chilena de Energía Nuclear, Amunátegui 95, Casilla 188-D, Santiago, Chile

Centro de Engenharia Nuclear (CEN),  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN-SP),  
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 - Cidade Universitária; CEP 05508-000; São Paulo – SP, Brazil

## RESUMEN

En el presente trabajo, reportamos un conjunto completo de mediciones y algunos resultados relevantes, relacionados con el proceso de quemado de un elemento combustible de bajo enriquecimiento. Este elemento fue obtenido en la Planta de Elementos Combustibles (PEC) de la Comisión Chilena de Energía Nuclear. Todas las mediciones fueron realizadas utilizando la técnica de espectroscopia gamma, obteniendo-se el grado de quemado experimental del elemento combustible.

**Keywords:** nuclear fuel; burnup; gamma-ray spectroscopy.

## I. INTRODUCCIÓN

Desde hace un tiempo, las autoridades de la Comisión Chilena de Energía Nuclear han tomado la decisión de apoyar la fabricación de una carga de 50 elementos de combustible de bajo enriquecimiento. Este proceso se realiza en la Planta de Elementos Combustibles, PEC, ubicada en el Centro de Estudios Nucleares de Lo Aguirre. Los nuevos elementos básicamente tienen las mismas características geométricas de los anteriores -cuyo combustible es de origen norteamericano y su fabricación británica- y sólo se incrementó el contenido de uranio en el meat, con el propósito de mantener el mismo rendimiento en el núcleo del reactor, aumentando la densidad del material fisible a  $3.4 \text{ g/cm}^3$  de siliciuro de uranio ( $\text{U}_3\text{Si}_2$ ), [1].

A fines del año 1998 se hizo entrega por parte de la PEC al RECH-1, de los cuatro primeros elementos combustibles de esta partida, los que fueron denominados líderes por ser precisamente los primeros que se fabrican en nuestro país. Conjuntamente con esta partida se entregó un quinto elemento (LR-EX), llamado experimental a raíz de que sólo posee una placa combustible, externa y con la mitad de la densidad antedicha, siendo las restantes 15 de aluminio de calidad nuclear. Este elemento tiene la finalidad de servir como un simulador del comportamiento de varios parámetros de interés para futuros estudios de interés en Física de Reactores. El presente trabajo estudia exclusivamente el quemado de dicho elemento, mediante

técnicas de espectroscopía gamma usando los datos dados en [2].

En este artículo se comparan las mediciones realizadas con dos distintos tiempos de enfriamiento del elemento combustible experimental: la primera medición se realizó con un tiempo de enfriamiento de 7 meses aproximadamente y la segunda medición 22.4 meses después de la anterior. El monitor de quemado elegido para nuestros objetivos es el Cs-137 [2 – 4].

En la primera medida aparecen los picos característicos de los isótopos Zr-95 y Nb-95, con energías de 724.19, 756.73 y 765.80 keV e intensidades más altas que la del monitor escogido (661.66 keV), hecho que podría provocar alteraciones en la medida del Cs-137, a causa de los fotones Compton posiblemente provenientes de esos picos [4]. Este efecto, de existir, desaparecería en el caso de la segunda medición, dado los tiempos de enfriamiento involucrados y las vidas medias de Zr-95 y Nb-95. Acerca de los efectos antes mencionados, no existe información suficiente en la literatura disponible y por tanto, verificarlo experimentalmente constituye la finalidad principal de este trabajo.

## II. EXPERIMENTAL

Las mediciones se llevaron a efecto dentro de la Celda de Alta Actividad situada en el subterráneo del Laboratorio de Producción del RECH-1 y diseñada para tolerar del orden de 10000 Ci de Co-60. En la Figura 1 se muestra una vista superior esquemática de la Celda.

Respecto a la Figura 1 hay que advertir que es un diagrama de orientación en bloques muy básico acerca de la celda y de sus principales recursos. La celda está equipada con telemanipuladores para manejar adecuadamente a los elementos combustibles en el proceso de bajada e instalación de estos últimos en el porta-elemento. El carro porta-elemento de la Celda está diseñado para mantener al elemento de modo que quepa justamente en su interior, y es a su vez, parte de un sistema de movimiento bidimensional (plano x-y, en la Figura 1) que se controla mediante un motor eléctrico de paso Velmex 86MM, dirigido desde fuera de la celda (zona de operación en el gráfico) con un sistema de control digital, cuyas condiciones iniciales de paso son 100 pasos/mm en el eje x y 318 pasos/mm en el eje y.

La electrónica del sistema de adquisición incluye un pre-amplificador, un amplificador (Tennelec modelo 244), una fuente de alto voltaje (Tennelec) y una tarjeta análogo-digital con ADC interno, (Tennelec modelo PCAII) más el software asociado (Gammatrack ). El sistema de adquisición de datos se completa con un PC 486DX de 16 MB en RAM y 100 MHz. El voltaje de trabajo del detector de Germanio (HPGe) es de 3000 V y su eficiencia es del 10 %. El sistema de detección incluye dos colimadores de 4 mm dispuestos al comienzo y final.

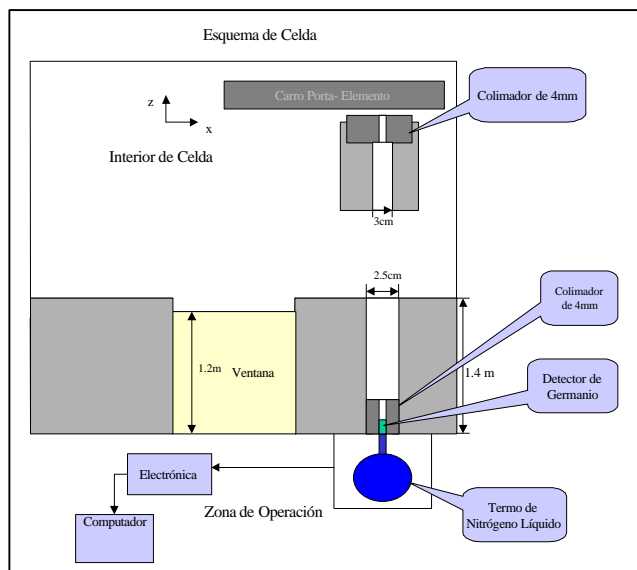


Figura 1. Esquema de Celda de Alta Actividad.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2 se muestran las curvas de eficiencias obtenidas en las fechas señaladas; esto se hace necesario ya que no se pueden recrear condiciones geométricas idénticas de medición. El ajuste se realiza mediante polinomios cúbicos del logaritmo en base diez de las energías.

En las Figuras 3 y 4 se muestran los espectros gamma obtenidos en la posición de máxima actividad medida de la placa, para cada una de las mediciones descritas. En la Figura 3 se aprecia el fuerte aporte de los picos de Nb-95 y Zr-95 antes mencionado, los que claramente desaparecen en la Figura 4 debido a que el espectro obtenido en la segunda medición, se realizó 673 días después del primero.

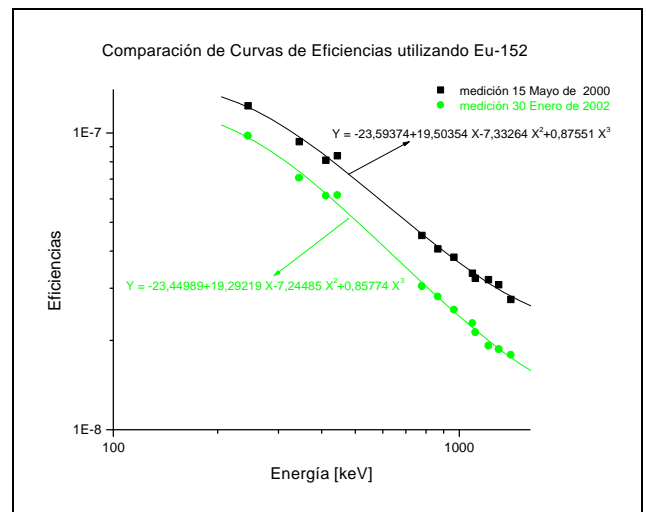


Figura 2. Curvas de Eficiencias Comparadas.

En la Figura 4, se puede ver que de los elementos previos, permanecen esencialmente el Ce-144 y Cs-137, dado el valor de sus vidas medias. Otros picos relevantes observados corresponden al I-131, elemento presente debido a que nuestra instalación se encuentra situada en el subterráneo del Laboratorio de Producción de Radioisótopos.

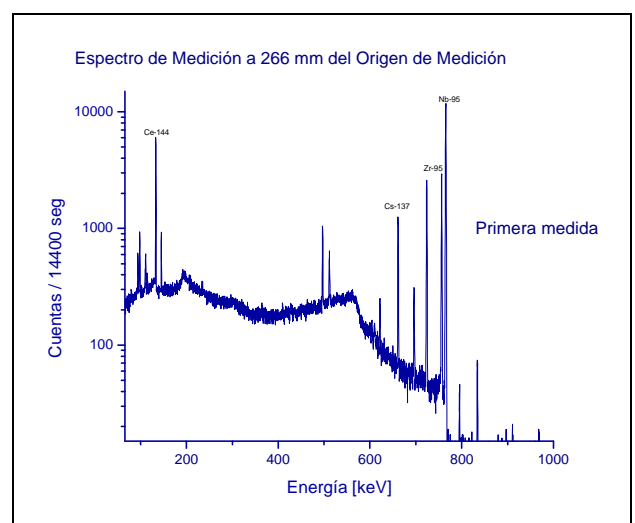


Figura 3. Espectro de Máxima Actividad obtenido 5 de Julio de 2000.

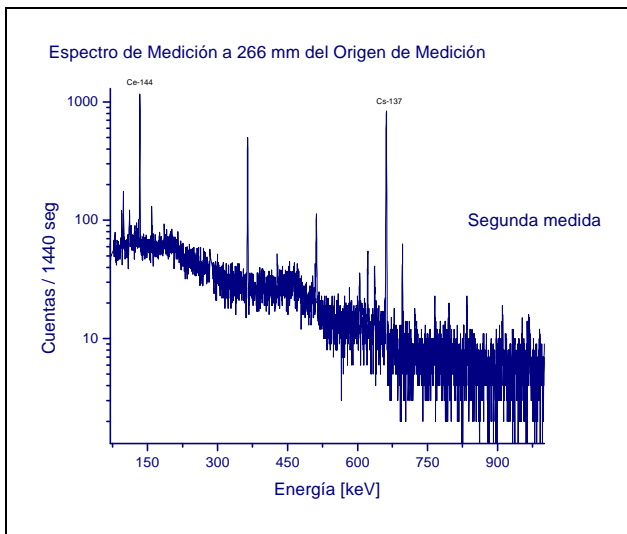


Figura 4. Espectro de Máxima Actividad obtenido 3 de Abril de 2002.

En la Figura 5, se muestran los perfiles de actividad longitudinal para el monitor Cs-137, obtenidos en los dos conjuntos de mediciones antes descritas. El primer conjunto de mediciones incluye once posiciones separadas 53.00 mm entre sí y el segundo, seis mediciones distantes 97.17 mm entre sí.

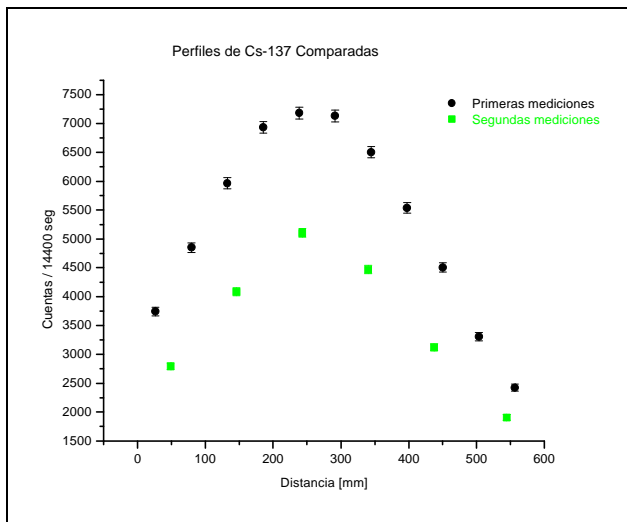


Figura 5. Perfiles Comparados en dos Distintas Mediciones.

La inesperadamente alta diferencia en los perfiles de actividad, se explica no solamente por el tiempo de enfriamiento transcurrido entre las dos medidas, sino también por la disminución de la eficiencia que se observa en la Figura 2, siendo este segundo efecto el principal responsable de esta sorpresiva conducta.

El formalismo de cálculo utilizado para la medición del grado de quemado se encuentra descrito en las referencias [2 – 5] lo que hace innecesario replantearlo.

Los resultados de grado de quemado obtenidos se muestran en la Tabla 1.

TABLA 1. Resultado del Grado de Quemado

Medición	Quemado [%]
Primer conjunto	$2.84 \pm 0.14$
Segundo conjunto	$2.71 \pm 0.14$

#### IV. CONCLUSIONES

Considerando los resultados obtenidos de quemado, se puede concluir que el método de determinación es altamente confiable: la Tabla 1 muestra que la variación de los resultados está completamente contenida dentro del error experimental estimado.

En relación a lo anterior hay que ser cauteloso: los resultados discutidos muestran que una buena determinación de la eficiencia es primordial en la obtención de resultados confiables y coherentes. Lo anterior implica que para cada medición realizada, se deberá tener muy bien definida la eficiencia de detección del sistema. Esto resulta evidente al observar la Figura 2. La fuente fundamental que explica esta inesperada diferencia es la dificultad en obtener idénticas geometrías de cuentas para distintas mediciones.

Como se recordará, la motivación principal de este trabajo consistía en comprobar experimentalmente el efecto posible de una contribución Compton, en el conteo del Cs-137, proveniente de los picos de más alta energía. La concordancia en los resultados de quemado para ambas medidas da cuenta de que este tipo de contribución no es relevante, por lo cual podemos decir que el Cs-137 es un monitor de quemado confiable para tiempos de enfriamiento alto (más de 2 años) y medio (6 meses), al cual no afectan los picos cercanos de alta energía.

Es importante mencionar que en la CCHEN se continuará en el programa de mediciones de quemado de elementos combustibles tipo MTR, esta vez en piscina de decaimiento, lo que implica tiempos de enfriamientos muy cortos (días o semanas), con lo cual esperamos entregar nuevos datos de interés que validen nuestras conclusiones anteriores y que sirvan para caracterizar el comportamiento de quemado en elementos combustibles de bajo enriquecimiento (19.75%).

#### AGRADECIMIENTOS

Al proyecto del Organismo de Energía Atómica N° CHI/04/18, por la estadía de algunos de los autores de este trabajo en IPEN/CNEN-SP. Al grupo de Operación de Reactores del RECH-1, por su disposición y buena voluntad para llevar a fin este trabajo y al Dr. Abraham Kestelman por su constante apoyo científico.

## REFERENCIAS

- [1] Mutis, O., Medel, J., Klein, J., **Conversión del RECH-1 a Combustible de Bajo Enriquecimiento**, Departamento de Aplicaciones Nucleares, CCHEN, 1994.
- [2] Henriquez, C., Navarro, G., Pereda, C., Steinman, G., **Medición de Quemado de un Elemento Combustible Experimental Mediante Espectrometría Gamma**, Nucleotécnica, vol. 35, p. 71-83, 2001.
- [3] Kestelman, A. J., Guevara, R. S., **Determinación del Quemado en Combustibles tipo MTR Mediante Espectrometría Gamma con Cristal de INa (TI)**, Informe Técnico CNEA-CAB 88/034, 1988.
- [4] Terremoto, L. A. A., Zeituni, C. A., Perrotta, J. A., da Silva, J. E. R., **Gamma-ray Spectroscopy on Irradiated MTR Fuel Elements**, Nuclear Instruments and Methods, vol. A450, p. 495-514, 2000.
- [5] Suarez, P., Kestelman, A., **Determinación no Destructiva del Quemado en Elementos Combustibles tipo MTR Mediante Espectroscopia Gamma de Alta Resolución**, Memoria de Título, Instituto Balseiro – Universidad Nacional de Cuyo, CNEA, Junio 1989.

## ABSTRACT

In this work, we report a complete set of measurements and some relevant results regarding the burnup process of a fuel element containing low enriched nuclear fuel. This fuel element was fabricated at the Plant of Fuel Elements (PEC) of the Chilean Nuclear Energy Commission (CCHEN). Measurements were carried out using gamma-ray spectroscopy and the absolute burnup of the fuel element was determined.