

Medición del tiempo muerto del reactor RP-10 por parada luego de una operación comercial

Agustin Zuñiga azuniga@ipen.gob.pe

Instituto Peruano de Energía Nuclear. Departamento de Cálculo Análisis y Seguridad
Av. Canadá 1470, Lima-41, Perú

Resumen

Se presentan los resultados de la medición del tiempo muerto por venenos en el reactor RP-10 luego de la parada al fin de la irradiación en el régimen normal de producción de radioisótopos, correspondiendo a 6 horas a la potencia de 10 MW (0.27×10^{-4} A), para la “parada” se redujo la potencia a 100W (0.3×10^{-9} A). El seguimiento de veneno se realizó mediante la posición de crítico. Las mediciones se iniciaron luego que la temperatura del moderador del reactor alcanzara los 20°C mediante la operación de un canal de refrigeración. Los resultados obtenidos muestran que el tiempo muerto se inició a las 7 horas con 50 minutos, después de registrada la parada, y duró 6 horas con 52 minutos. Se estimó el tiempo de máxima concentración de veneno en 11 horas con 25 minutos. El fin de la presencia de venenos para este régimen de operación comercial se dio después de 72 horas. Los resultados muestran que para la operación rutinaria comercial del RP10, establecida actualmente, la parada intempestiva lo saca de servicio entre las horas 8 y 15.

Abstract

We present the measurement of the dead time produced by poisons in the RP-10 nuclear reactor, after finishing the normal regimen of radioisotope production, consisting in 6 hours at 10 MW (0.27×10^{-4} A) of power. The level of stopped was 100W (0.3×10^{-9} A). The poison was followed by control rod in critical positions. The measurements began when the moderator temperature reached 20°C using only one pump. The results obtained show that the dead time, start at 6 hours and 52 minutes, after the stopped, it lasted 6hours and 52 minutes. The experimental estimation of the maximum concentration of poisons was 11 hours with 25 minutes. Poisons disappeared after 72 hours. Finally these results say that if the current commercial operation of RP-10 is concluded the restart it would be impossible between the 8^a a 15^a hours.

1 Introducción

Durante la operación rutinaria de un reactor de investigación la variación en reactividad del sistema a mediano plazo se da principalmente por el consumo del combustible y la producción de productos de fisión altamente absorbentes de neutrones como el Xenón-135 y el Samario-149[1]. Si la concentración de estos nucleidos es muy alta se puede impedir la operatividad del reactor. Esta situación podría ocurrir, si se produce una parada súbita durante la irradiación de blancos para la producción de radioisótopos. Digamos a las 6 horas de producción, por algún evento se cae el reactor y su reparación demorará 9 horas. ¿Se podrá reiniciar la operación del reactor?. Si no fuera posible, entonces, ¿cuánto tiempo tardará en recuperar su operatividad? Esta inoperatividad producida por el crecimiento de los venenos se llama tiempo muerto, que es el parámetro que lo determinaremos experimentalmente para la nueva configuración del núcleo N° 29 [2], mediante

el establecimiento de la posición de crítico hasta donde sea posible.

2 Fundamento Teórico

2.1 Cambio de configuración

Por razones de nivel de quemado del combustible, exceso de reactividad o por cumplir con el Plan de Gestión de Combustible, se procede a los cambios de configuración del núcleo en un reactor nuclear de investigaciones. Para el caso del reactor RP-10, los cambios se dan en función al de Plan de Gestión de Combustible, considerando como límite de quemado de extracción de 58.5% para elementos normales y 55.0% para elementos combustibles de control. El cambio de configuración se produce por haber alcanzado un quemado de 150MWD (megavatios día), que ocurre aproximadamente en 6 meses, para el régimen de operación de 6 horas semanales a la potencia de 10 MW (plena potencia).

2.2 La acumulación de venenos

Los principales productos de fisión de alta absorción de neutrones térmicos, considerados venenos son el Xenón-135 (X) y el Samario-149 (S) que se acumulan durante la operación del reactor y crecen luego de la parada del mismo, a valores que pueden ser perjudiciales para reponer su operatividad en tiempo del orden de 8 horas posteriores a la parada.

Las ecuaciones que rigen la evolución de las concentraciones de estos nucleidos se rigen por los procesos de balance de producción y destrucción de los mismos. Se producen por fisión directa o por decaimiento de padres. Desaparecen por bombardeo de neutrones o por decaimiento a nuevos núcleos. Para el caso del Xe-135 la acumulación viene por el decaimiento del I-135 y por la producción directa de la fisión del U-235, mientras que desaparece por quemado con neutrones y por decaimiento [1,3].

2.3 El tiempo muerto del reactor

Los principales venenos presentes en el reactor evolucionarán después de una parada alcanzando un máximo. Con fines de explicación consideraremos sólo al Xenón; sin embargo, no afecta en nada los resultados obtenidos. La operación rutinaria del reactor a una potencia constante dura t_i se produce la parada y se acumula Xe hasta que alcanza un máximo, para luego decaer. Si el reactor no tiene el exceso de reactividad suficiente para vencer la reactividad negativa introducida por el veneno, entonces no podrá restablecerse quedando fuera de servicio, el tiempo que dura esta situación es el **tiempo muerto**, que será medido en este trabajo, el cual se presenta esquemáticamente en la figura 1.

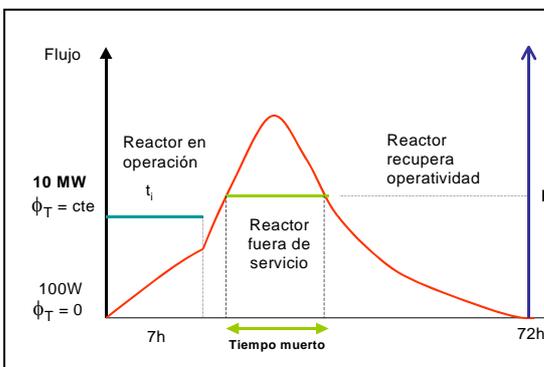


Figura 1. Evolución del Xe-135 luego de una parada intempestiva, el reactor queda fuera de servicio, hay un tiempo muerto, cuando la reactividad negativa introducida por el veneno es menor que el exceso de reactividad del sistema.

3 Desarrollo Experimental

En la descripción del procedimiento[1] se destaca la parada drástica al nivel de 100W, extracción de toda muestra dentro del núcleo; enfriamiento del reactor; registro fino para la determinación del inicio y fin del tiempo muerto; la definición del tiempo de máxima concentración y finalmente la ausencia de veneno para la medición de reactividades.

3.1 Características de la operación al inicio de la parada

La operación rutinaria comercial de producción de radioisótopos en el RP-10 es de 6.0 horas a plena potencia. El nivel de potencia de 10 MW corresponde a una corriente de cámara de 0.3×10^{-4} A. La parada correspondió a la potencia de 100 W (0.3×10^{-9} A nivel de corriente) extendiéndose la operación a este nivel durante 24 horas con 40 minutos.

3.2 Extracción de portamuestras

Se confirmó la extracción de todas las muestras en las cajas de irradiación, E5, H4 y B4, que eran blancos de Teluro y Molibdeno.

3.3 Enfriamiento del reactor

Luego de la parada se apagó uno de los dos ramales de refrigeración. Se registró la temperatura para mantener las mediciones a la temperatura ambiente y estable de 20°C, evitando la influencia en la reactividad por la temperatura. En la figura 2 se representa la evolución de la temperatura del moderador durante la experiencia.

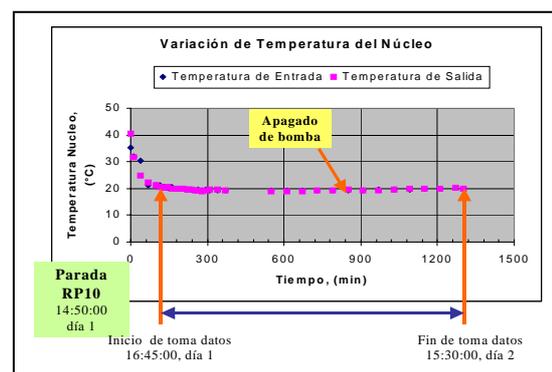


Figura 2. Variación de la temperatura durante el experimento. Se refrigeró utilizando una bomba y se redujo la temperatura de 35.5 °C y 40.0 °C hasta 20.0 °C y 20.0 °C, la que se mantuvo durante 17 horas. Luego, se apagó la bomba subiendo la temperatura en 1.0 °C, la que se mantuvo durante 8 horas hasta el fin de la experiencia.

En el modo de operación VII se trabaja con dos bombas, en los circuitos primario y secundario, con caudales de 1450 m³/s y 1408 m³/s, respectivamente. La temperatura de entrada y salida durante la operación a 10 MW son 35.3 °C y 40.3 °C. Transcurridos 40 minutos, de la parada, la temperatura bajo a 26.0 °C y 25.6°C. En estas condiciones se apagó una bomba del primario, con ello la temperatura se redujo a 23.4 °C y 22.8 °C. Depuse de 75 minutos, se apagó una bomba del secundario, los caudales se estabilizaron en 967 m³/s y 943 m³/s, para el primario y secundario respectivamente. En estas condiciones se inicia el experimento con la temperatura estable de 21.3°C y 20.6°C . En la figura 3 se presenta la evolución del caudal de refrigeración.

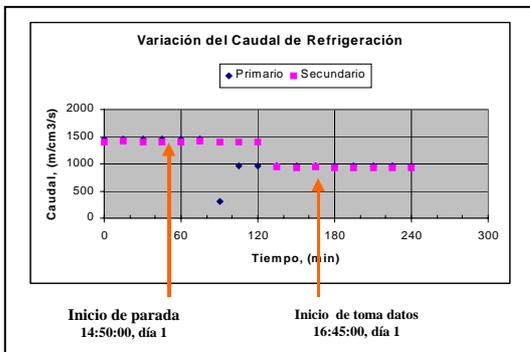


Figura 3. El núcleo estaba siendo refrigerado por dos bombas de cada circuito (primario y secundario), luego de la parada se apagaron uno de cada circuito. Esta refrigeración se mantuvo durante el período de mediciones a fin de garantizar una temperatura estable de 20°C. Las mediciones se iniciaron luego de 1 hora con 55 minutos de establecida la parada.

3.4 Parada y puesta a crítico a la potencia de 100 W

Después de 30 minutos de iniciada la parada el reactor alcanzó la potencia de 100W, después de esperar, durante 2 horas, la desaparición de neutrones residuales. Las mediciones a esta potencia se iniciaron a las 16 horas con 45 minutos y finalizándose al día siguiente a las 15 horas con 30 minutos. La evolución de la potencia durante el experimento se muestra en la figura 4.

3.5 Registro de posición de crítico cada 15 minutos

Cuando las barras de control alcanzaron una configuración de crítico con la barra más pesada en la posición de 0%, se inició la medición, registrando las posiciones de

crítico cada 15 minutos, con el fin de disponer suficiente resolución en la determinación de los parámetros del veneno: tiempo máximo y tiempo muerto.

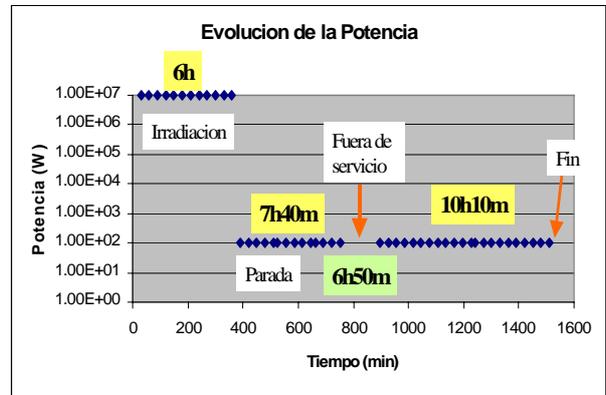


Figura 4. Potencia del reactor durante la experiencia. La operación duró 6 horas a 10 MW, la parada se extendió durante 7 horas con 40 minutos hasta que el veneno superó el exceso de reactividad. Transcurridos 6h50m se recuperó el crítico a 100W. La experiencia concluyó después de 24 horas con 50 minutos.

3.6 Registro de la operación en el SAD

Las mediciones tomadas manualmente también pueden ser registradas en el sistema de adquisición de datos que dispone la consola. Sin embargo, por la baja potencia, los registros observados tenían mucho ruido, por dicha razón no se tomó en cuenta el archivo correspondiente: XE18M07AZG

3.7 Identificación del tiempo muerto

En base al seguimiento de las posiciones de crítico de forma lenta el sistema disminuía la velocidad de crecimiento del veneno. Esto se reflejaba en el número de puntos que se tomaba por cada periodo de 15 minutos en los primeros 20% solo un punto, en la siguiente década 30% dos puntos, ídem para la década de 40%; tres puntos para la década de 50% y 60%; cinco puntos para la década de 70%; diez puntos para la década de 80%; luego un punto en la década de 90% donde se alcanza el pico. Para el descenso el decaimiento es más lento, como que se tomaron dieciséis puntos para la década de 80%.

4 Resultados

Como se mencionó en procedimiento experimental, el inicio ocurrió cuando la posición de la barra de control seleccionada para el seguimiento, alcanzó el 0.0% de extraída. La posición de crítico correspondió

a $BS1=BS2=BS3=BCF=100\%$, $BC1=100\%$ y $BC2=0.0\%$. El seguimiento de los venenos se realizó mediante los registros de las posiciones de crítico con la barra de control (BC2) cada 15 minutos, los resultados se presentan en la figura 5.

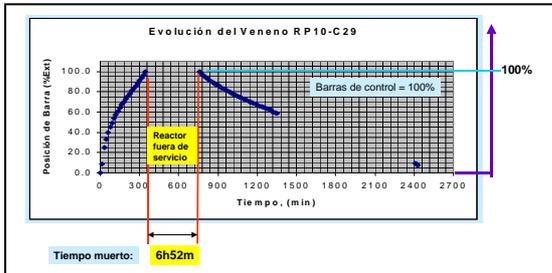


Figura 5. El veneno después de la parada crece hasta que la reactividad negativa insertada por los venenos superan el exceso de reactividad del núcleo (la barra alcanza el 100% de extraída), iniciándose el fuera de servicio, o tiempo muerto, que se extendió durante 6 horas y 52 minutos.

4.1 Tiempo muerto

En la figura 5 se observa que el crecimiento de la concentración de veneno, durante la parada, introduce al sistema reactividad negativa creciente por lo que para mantener el reactor operativo se va extrayendo la barra de control disponible (BC2 en este caso). Esto puede realizarse hasta que la barra alcanza la extracción completa (100%) en cuyo caso el reactor no puede ponerse más a crítico y se torna subcrítico iniciándose una caída lenta por la inserción de más reactividad negativa debido al veneno. De esta manera el reactor entra en la condición de fuera de servicio (el reactor no puede mantener la potencia de operación que asumimos “cero” pero que en realidad es 100W). De acuerdo a la definición es el inicio del tiempo muerto. Termina el tiempo muerto cuando se vuelve a poner a crítico con la barra de control BC2. Este retorno a nivel de crítico se produjo después de 6 horas con 52 minutos de iniciado el fuera de servicio, por lo que ese es el tiempo muerto del RP-10 para las condiciones de operación (6 horas a 10MW) y la parada “intempestiva” (100W). Durante el tiempo muerto, la corriente de marcha continuaba registrando la caída en la consola, ese registro se muestra en la figura 6, destacándose que la corriente cae porque el veneno sigue creciendo, pero llega un momento en que esta caída no continúa (3 horas con 45 minutos) sino más bien

comienza a invertirse y a elevarse la corriente, esto reflejaría que el veneno alcanzó su máximo y luego empieza a decaer por lo que es factible a partir de esta curva estimar, también, el pico del máximo de veneno que resultó en 11 horas con 25 minutos. Este valor es coherente con el medido para la configuración 28 a fin de ciclo que resultó aproximadamente 11 horas [1].

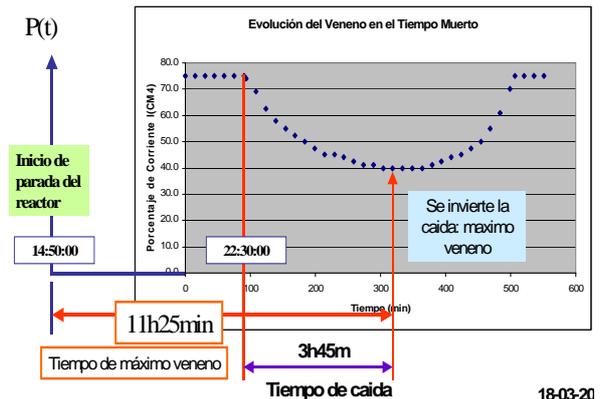


Figura 6. Lecturas relativas y proporcionales a la corriente de marcha, que permite registrar el momento en que se inicia el tiempo muerto, pero también el momento en que la caída de subcrítico se invierte, demostrando que pasó el máximo de veneno, después de 3 horas con 45 minutos por lo que se puede estimar el tiempo de máximo veneno, resultando en 11 horas con 25 minutos.

5 Conclusiones

El experimento ha permitido conocer el tiempo muerto del reactor RP-10 para la operación rutinaria comercial (producción de radioisótopos) de 6 horas a 10 MW, que resultó en 6 horas con 52 minutos.

El tiempo muerto se inicia luego de 5 horas con 40 minutos de iniciada la parada. Este tiempo debe ser tomado en cuenta por el responsable de la operación comercial del reactor.

A partir de esta medición también se puede estimar el tiempo de máximo veneno, que resultó en 11 horas con 25 minutos, que es coherente con el valor obtenido para la configuración nuclear 28.

Los resultados de este experimento pueden ser empleados para el modelamiento del reactor y estimaciones experimentales de parámetros teóricos o realizar mediciones de parámetros difíciles de medir por los métodos

convencionales, como es el caso del flujo térmico promedio del núcleo.

Considerando que este estudio es una primera experiencia para la medición de tiempo muerto en el RP-10 y a la vez bastante prolongada, el responsable de operación compartió el reactor con otra experiencia, que llevó a operar el reactor a 14 MW durante 1 hora, sus efectos no fueron considerados en nuestro análisis, por lo que queda pendiente repetir estas mediciones para confirmar los resultados. Estos estudios se enmarcan en la línea de investigación de Efectos Cinéticos en reactores nucleares en este departamento.

6 Agradecimientos

Al personal del Departamento de Operación del RP-10 en las personas de Rolando Arrieta, José Félix, Dionisio Canaza, Roberto Giol, Emilio Veramendi, Fernando Ramos. Igualmente, a los integrantes del Departamento de Cálculo en las personas de José Castro, Alberto Gallardo y Mariano Vela. Finalmente, se extiende el agradecimiento al alumno Luis Sánchez por su apoyo en la realización del experimento que duró aproximadamente 70 horas continuas.

7 Referencias

- [1] Zúñiga A. Medición del tiempo de máximo veneno en una parada intempestiva del reactor nuclear RP-10. Informe Científico Técnico, IPEN, Lima, Perú, 2007.
- [2] Gallardo A. Cálculo del reactor RP-10 configuraciones 28 y 29. Informe Interno, CASE. RACSP, IPEN, Lima, Perú, 2007.
- [3] Lamarsh JR. Introduction to nuclear reactor theory. New York: Addison Wesley; 1965.
- [4] USAEC. Reactor physics constants. 2nd ed. Report ANL-5800; 1963.
- [5] Keeping GR. Physics of nuclear kinetics. Reading Massachusetts: Addison Wesley; 1965.
- [6] Weinberg AM, Wigner EP. The Physical theory of neutron chain reactors. Chicago: University of Chicago Press; 1958.