

Monitoreo de potencia del reactor RP-10 mediante la medición de la actividad del ^{16}N . Avances de proyecto

José Félix*, Mariano Vela, Rolando Arrieta

Instituto Peruano de Energía Nuclear, Departamento de Operación de Reactores,
Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

En una instalación nuclear es necesario tener sistemas redundantes y diversos de medición, presentamos un sistema adicional para monitorear la potencia del reactor nuclear RP-10, mediante la medición de la actividad radiactiva gamma del ^{16}N contenido en el refrigerante. Se describe la instalación de un prototipo, después de elegir y optimizar la ubicación de un detector de radiación (cámara de ionización) que fue sometido a diversas pruebas a fin de recolectar, acondicionar y transmitir una corriente proporcional a la potencia hasta el punto de medición; luego, los valores leídos fueron contrastados con los reportados por el sistema que mide la potencia térmica teniendo como referencia las corrientes que nos proporciona las cadenas de marcha. Finalmente se instaló en la consola de comando de sala de control a la espera de su instalación definitiva con equipos adquiridos para este propósito. Se ha logrado la operatividad del RP-10 con un sistema adicional usando distinto principio físico que la hace más confiable.

Abstract

In a nuclear plant must have redundant and diverse systems of measurement, we introduce an additional one, for monitoring the power of the RP-10 nuclear reactor, by measuring the gamma radiation activity of ^{16}N content in the coolant. We describe an installation of a prototype after choosing and optimizing the location of a radiation detector (ionization chamber) that was subjected to various tests to collect, adjust and pass a current proportional to the power to the measurement point, then the read values were compared with those reported by the system that measures the thermal power, using as a reference the currents provided by the working instrumentation chains. Finally, the proposed system was installed into the command console control room, waiting for final installation with equipment purchased for this purpose. It has managed the operation of the RP-10 reactor with an additional system using different physical principle that makes more reliable.

1. Introducción

Los reactores nucleares se caracterizan por no tener un límite superior de producción de potencia que resulta del proceso de fisión [1], esto hace que el nivel de potencia de operación este fijado por la velocidad con la que puede extraerse la energía producida en su núcleo. Para garantizar su seguridad térmica [2] se debe tener sistemas adecuados para medir esta potencia extraída y en lo posible ser diversos y redundantes.

El RP-10 es un reactor de uso multipropósito [3] con un amplio rango de potencia [4], actualmente una manera de monitorear la potencia generada se hace midiendo el flujo neutrónico a través de cámaras de ionización compensadas, colocados cerca del núcleo. La información que nos proporciona dichos dispositivos presenta variaciones debido a fluctuaciones locales del flujo de neutrones térmicos, el cual a la vez es debido a

desplazamientos de las barras de control por condiciones operativas [5]. Otro método de monitoreo es mediante las leyes de la termodinámica aplicadas al núcleo relacionando el caudal del refrigerante con el incremento de temperatura [6] usado para controlar las potencias altas (cercas a 2 MW) debido a la sensibilidad de los medidores del ΔT .

Para evitar los inconvenientes descritos se ha venido trabajando [7,8] en un sistema alternativo basado en que el oxígeno, componente del refrigerante (H_2O) del reactor, al pasar por el núcleo sufre la reacción $\text{O}^{16}(\text{n},\gamma)\text{N}^{16}$. El N^{16} es un emisor γ con período de decaimiento de 7,14 segundos. Se ha realizado una serie de experiencias que dieron pie a la instalación de

* Correspondencia autor: jfelix@ipen.gob.pe

un prototipo para poder diagnosticar la evolución de la potencia (evaluar su funcionamiento) respecto a los sistemas conocidos.

El principio empleado por Spracklen Howard [9] sirve para medir la radiación γ que emite el N^{16} en su proceso de decaimiento, lo cual permite ser usado para monitorear la potencia ya que su actividad es casi nula cuando el agua retorna al núcleo.

2. Metodología

El procedimiento experimental es una culminación de otras pruebas realizadas [10, 11,12], cuyo origen principal está en la ubicación e instalación de un detector de radiación gamma en un lugar adecuado del circuito primario de refrigeración para medir la actividad del N^{16} en función de la potencia de reactor. Esta ubicación quedó definida en un lugar cercano al núcleo, antes de su ingreso a uno de los tanques de decaimiento.

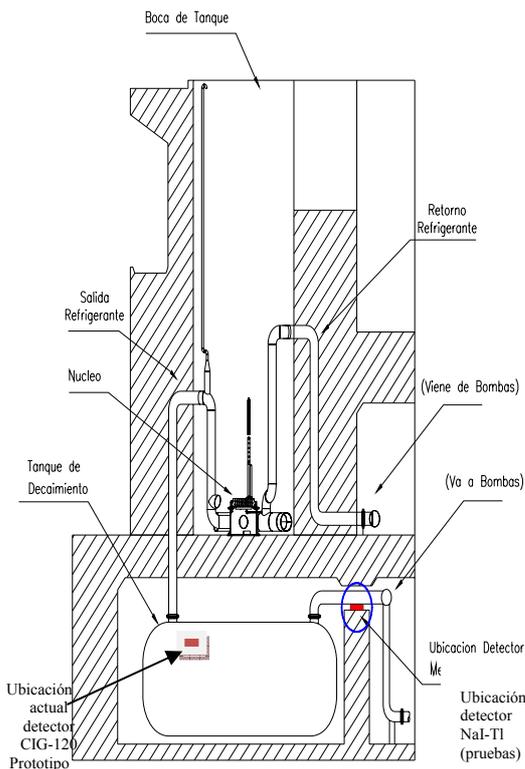


Figura 1. Ubicación del detector CIG-120 para medir radiación γ provenientes del N^{16} .

Parte de este trabajo fue hallar la posición óptima y la forma más recomendable de detección. Las dificultades que se encontraron con el manejo de las radiaciones γ fueron superadas usando nuevos detectores hasta llegar al detector CIG 120, fabricado en

acero inoxidable, de amplio rango de operación, con capacidad para trabajar en condiciones ambientales severas como las que se tienen en los recintos de los tanques de decaimiento.

La Figura 1 muestra las posiciones del detector durante la realización de las pruebas (NaI(Tl)) y la actual posición para las lecturas con CIG 120, en la Figura 2 se aprecian los detalles al ingreso de los tanques de decaimiento.



Figura 2. Detalle de la tubería de ingreso al tanque de decaimiento.

2.1 Equipamiento

Para las pruebas preliminares se utilizaron:

- Detector de NaI(Tl) de 2" x 2" con pre-amplificador.
- Tarjeta de adquisición de datos ACSUSPEC, ADC y fuente de alto voltaje.
- Computadora personal con software de procesamiento de datos GENIE 2000.
- Fuentes de calibración de ^{152}Eu y ^{137}Cs de 360,3 y 350 kBq, respectivamente.
- Blindaje colimador de plomo.
- Veinte ladrillos de plomo.

Equipamiento para el prototipo de N^{16}

- Detector CIG 120: \varnothing 120 mm, L= 126 mm. Sensibilidad: 10^{-9} amp R-1 H.
- Fuente de AT. ORTEC 456: 0-10 mA, 0-3000 VDC.
- Amplificador de corriente CNEA K-330.
- Amplificador de cuatro canales CNEA K-340.
- Filtro pasa bajo.

- Multímetro Digital TRIO DL-706.

Instrumentos auxiliares:

- Osciloscopio Tektronix TDS 3032.
- Electrómetro KEITHLEY 614.
- Pico amperímetro KEITHLEY 6485.

2.2 Mediciones

La primera etapa de este sistema de monitoreo consistió en la evaluación del blindaje del detector y el estudio del comportamiento del N^{16} respecto a la potencia del reactor [10, 11,12].

Para las pruebas se ubicó el detector CIG 120 debajo del núcleo del reactor como se muestra en la Figura 3, cubierto con blindajes de plomo a fin de evitar el rebote de radiaciones y ruidos así como bajar en lo posible el ruido y variaciones de corriente, obteniéndose valores manejables para su colección, transmisión y tratamiento.

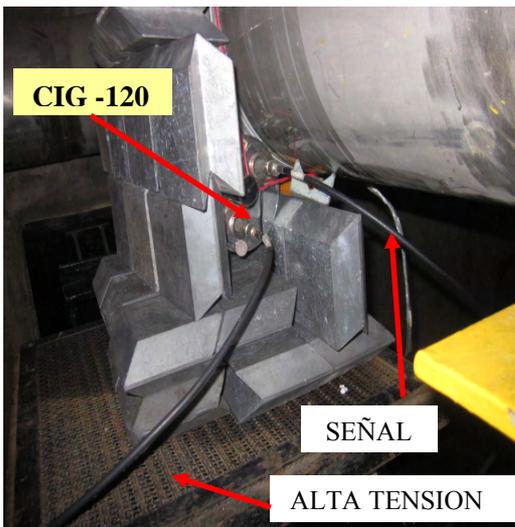


Figura 3. Disposición del detector: CIG-120 respecto a la tubería de ingreso al tanque de decaimiento (antes de su aislamiento).

Para llevar la información a la Sala de Control se hizo el tendido de cables coaxiales continuos para señal y voltaje de polarización (HV) (Figura 3). Se midieron valores de corriente generadas por el detector CIG-120 respecto a la variación de la potencia del reactor RP-10 repitiendo la linealidad de experiencias anteriores como se muestra en el gráfico de la Figura 4.

Posteriormente, se implementó una cadena para medir la actividad del N^{16} y poder establecer equivalencias con una de las cadenas calibradas [4] y poder establecer una

equivalencia entre las lecturas de corriente proporcionadas por una cámara de ionización compensada y la potencia térmica generada; en ambos casos, se tomaron simultáneamente quince valores en micro amperios como se muestra en las Figuras 5 y 6, respectivamente.

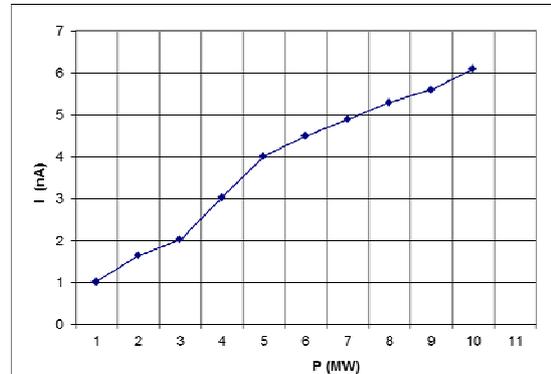


Figura 4. Corriente (nA) proveniente del detector CIG-120 medida con el electrómetro Keithley 614 variando la potencia del RP-10.

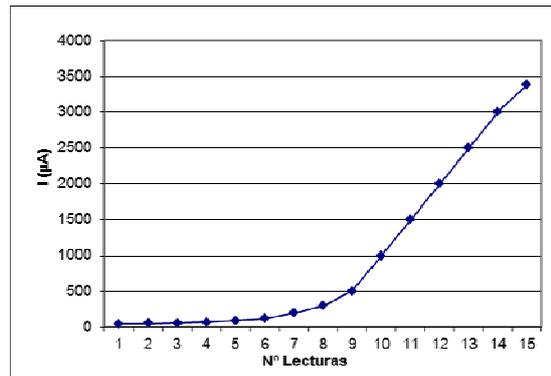


Figura 5. Corriente (µA) proveniente del detector CIG-120 medida con el electrómetro Keithley 6485 variando la potencia del RP-10.

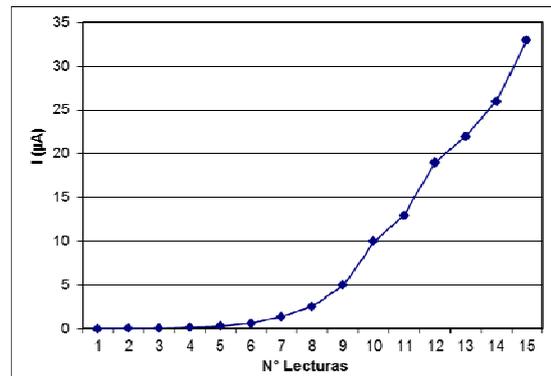


Figura 6. Corriente (µA) proveniente del detector CIG-M4 variando la potencia del RP-10.

Con el resultado anterior se buscó amplificar la corriente proveniente del detector para poder correlacionarla con la corriente de marcha 4 que se tiene en consola, esto se

logra utilizando los amplificadores CNEA K-330 y CNEA K-340, la información obtenida es muy ruidosa a medida que se aumenta la potencia del reactor, llegando a una variación de hasta 2,8 MW para 10 MW. Esta fluctuación disminuye a 0,8 MW implementando un filtro que pasa bajo, tal como se muestra en la Figura 7.

En la señal que se obtiene a la salida del amplificador de cuatro canales (CNEA K-340) es una tensión equivalente a la potencia del reactor que es leído en el Multímetro digital TRIO DL-706.

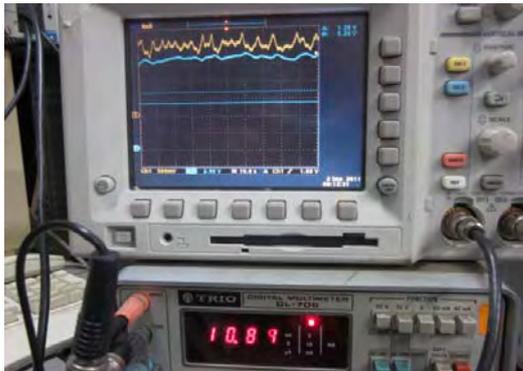


Figura 7. Muestra del filtraje de 2.8 a 0.8 MW. en el osciloscopio y lectura de potencia del RP-10 en el multímetro digital TRIO.

3. Resultados y Discusión

Con todos los antecedentes mostrados y los resultados hallados se procedió a contrastar las lecturas de potencia por actividad del N¹⁶ respecto de la potencia térmica medida en el tablero de control. En la Tabla 1, para potencias menores a 2MW no se tiene lectura en la potencia térmica, pero a partir de 2 MW se logra cierto acercamiento mejorando a potencias mayores. En cambio con el ¹⁶N se tiene lecturas desde potencias más bajas que mejoran el control para esta zona de trabajo.

Tabla 1. Lecturas comparativas para distintos valores de potencia térmica (MW).

Lecturas	Pot. N ¹⁶	Pot. Térmica
1	0.064	-
2	0.0122	-
3	0.257	-
4	0.499	-
5	1.076	-
6	2.392	1.8
7	4.975	4.58
8	7.214	7.23
9	9.999	10.05

Luego de la experiencia anterior se trabajó en función de la cadena de marcha N° 4 y se tomó valores simultáneamente como se muestran en las Figuras 8 y 9, para luego tabularlas (Tabla 2).

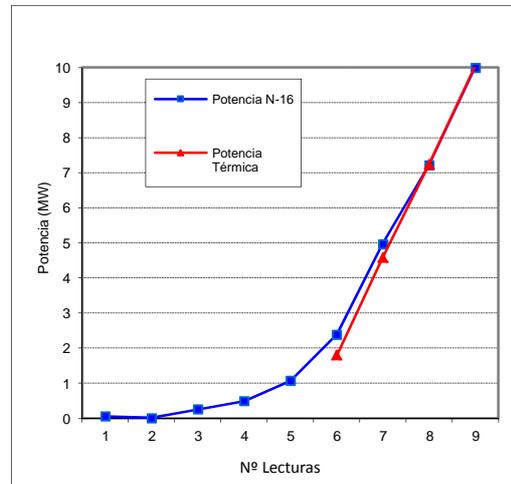


Figura 8. Gráfico comparativo de medición de potencia térmica y por activación del N¹⁶.

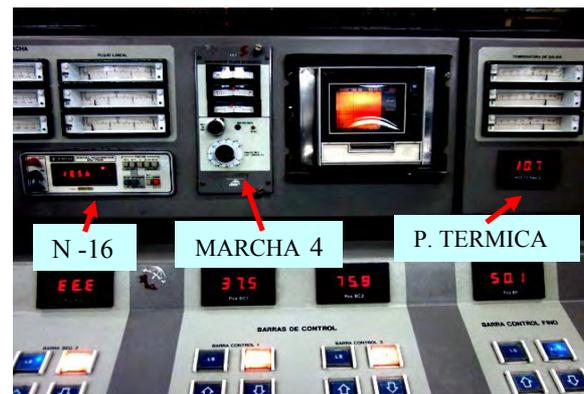


Figura 9. Tablero de control mostrando los dispositivos de medición.

Tabla 2. Lecturas comparativas para distintos valores de corriente de cámara de marcha N° 4 y potencia térmica.

ICM4: (A)	Pot. N-16 (MW)	Pot. Term. (MW)
1.5E-07	0.059	-
3.0E-07	0.106	-
6.0E-07	0.201	-
1.5E-06	0.473	-
2.3E-06	0.623	0.28
3.0E-06	0.853	0.52
4.5E-06	1.355	0.94
6.0E-06	1.786	1.46
9.0E-06	2.525	2.42
1.5E-05	4.388	4.38
2.1E-05	5.733	5.58
3.0E-05	8.254	8.30
3.6E-05	9.609	9.94

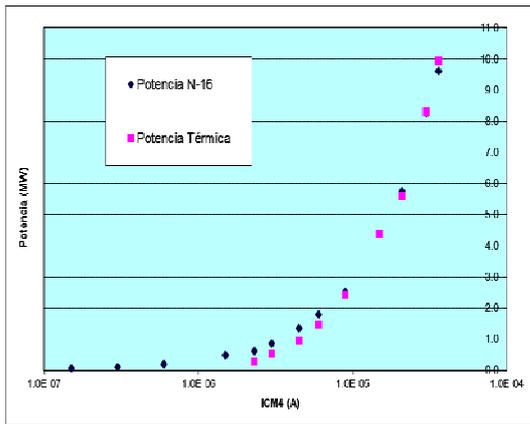


Figura 10. Grafico comparativo de medición de potencia térmica y por activación de N^{16} en relación a la cámara de marcha N° 4.

4. Conclusiones

Podemos concluir que la instalación y puesta a prueba del nuevo sistema de medición de la potencia térmica del reactor RP-10 basado en la medición de la actividad de N^{16} es la culminación de diversos cálculos, ensayos y pruebas que nos ha permitido contar con un sistema adicional confiable para medir dicha potencia. Después de una calibración del sistema y pruebas de rendimiento, contrastación de datos, optimización y diagnóstico se ha logrado instalar y probar un sistema eficiente que permitirá un mejor monitoreo y control de la potencia extraída que podría ser instalado en un reactor nuclear de investigación.

5. Agradecimientos

A todo el personal del Departamento de Operación de Reactores del IPEN, por su apoyo en la realización de las pruebas experimentales.

6. Bibliografía

[1] Glastone S, Sensonske A. Ingeniería de Reactores Nucleares. Barcelona: Editorial Reverte; 1975.
 [2] Organismo Internacional de Energía Atómica. Seguridad de los reactores de investigación. Proyecto de requisitos de seguridad. Colección de Normas de Seguridad DS272. Viena: OIEA; 2004.

[3] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de Seguridad del RP-10. Capítulo I: Introducción y descripción general de la instalación. [Informe interno]. Lima, junio 2011.

[4] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de Seguridad del RP-10. Capítulo XVII: Límites y condiciones operacionales. [Informe interno]. Lima, junio 2011.

[5] Zúñiga A, Lamas J, *et al.* Medición del factor pico y la potencia neutrónica de un reactor nuclear de Investigación. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2008. Lima: IPEN; 2009. p. 111-118.

[6] Gallardo A. Determinación de la potencia máxima para el Núcleo 30 del reactor RP-10 en el Modo I de Operación. [Reporte Interno]. Lima, mayo 2008.

[7] Lázaro G, Bruna R, Vela M, Parreño F. Implementación de monitorización de la potencia del RP-10 por N^{16} utilizando un detector de NaI(Tl). En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 1998 – 2001. Lima: IPEN; 2002.

[8] Vela M, Castro J, Arrieta R, *et al.* Seguimiento de la potencia del reactor RP-10 por activación del agua refrigerante. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2008. Lima: IPEN; 2009. p. 131-133.

[9] Spracklen Howard P. N-16 Power Control System of the Livermore Pool-Type Reactor. IEEE Transactions on Nuclear Science. 1967; 14(1):271-274.

[10] Vela M, Castro J, Arrieta R, Urcia A. Monitoreo de potencia del RP-10 mediante medición de la actividad del N^{16} . [Reporte Interno]. Lima, agosto 2009.

[11] Vela M, Castro J, Arrieta R, Urcia A. Monitoreo de potencia del RP-10 mediante medición de la actividad del N^{16} . [Reporte Interno]. Lima, septiembre 2009.

[12] Vela M, Castro J, Arrieta R, Urcia A. Monitoreo de potencia del RP-10 mediante medición de la actividad del N^{16} . [Reporte Interno]. Lima, diciembre 2009.