



## IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS NUCLEARES MEDIANTE LAS TÉCNICAS DE CINÉTICA INVERSA Y RUIDO NEUTRÓNICO

Magaly Zapata B.<sup>a\*</sup>, Rubén Bruna M.<sup>a</sup>, Melchor Llosa D.<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Cálculo, Análisis y Seguridad, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima-41, Perú.

<sup>b</sup>Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Ap. Postal 14-0149, Lima, Perú.

### Resumen

Se implementó un sistema de medición en el reactor peruano de investigación (RP-0) para la determinación de parámetros nucleares mediante las técnicas de Cinética Inversa y Ruido Neutrónico. En el presente trabajo se hará una breve descripción de las componentes del sistema, así como también la instalación del mismo en el núcleo del reactor. Se presenta resultados de la medición de potencia y de reactividad del reactor.

PACS: 28.41.-i; 28.41.Ak

**Palabras Claves:** Cinética inversa, ruido neutrónico, parámetros nucleares, reactividad, potencia térmica.

### Abstract

A measuring system of nuclear parameters using the techniques of Inverse Kinetics and Neutron Noise has been installed in the Peruvian Nuclear Research Reactor RP-0. In this paper a brief description of the system components is presented as well as of its installation in the reactor core. The results of the measurements of reactor power and reactivity are reported.

**Keywords:** Inverse kinetics, neutron noise, nuclear parameters, reactivity, thermal power

### 1. Introducción

La determinación de parámetros nucleares en el reactor es de gran importancia para la operación segura del mismo. Debido a ello se requiere de técnicas e instrumentación que permitan la determinación de los mencionados parámetros. Debido a que algunos de estos métodos implican un procesamiento largo de datos y gran incertidumbre de los mismos; se implementó un sistema de medición en el reactor RP-0 que permita la obtención de valores confiables en tiempo real. Este sistema consta de dos cámaras de ionización compensadas (CIC's), tres amplificadores, dos filtros de bajo ruido eléctrico, dos fuentes de alta tensión y una computadora personal con tarjeta convertora analógica - digital (TCAD) para el procesamiento de señales.

La instalación del sistema en el núcleo del reactor

requirió de pruebas de posicionamiento de los detectores (CIC's) en el núcleo; una vez determinados se procedió a la determinación de parámetros nucleares tales como la potencia térmica mediante el método de Ruido Neutrónico y la reactividad del núcleo mediante Cinética Inversa. El conocimiento de ambos valores resulta imprescindible para la operación del reactor dentro de los límites de seguridad.

### 2. Descripción del Sistema

A continuación se detalla el instrumental utilizado en el sistema de medición el cual se muestra en la Fig. 1.

- Cámaras de ionización (CIC's).
- Amplificadores corriente-voltaje (AIV).
- Filtros antialiasing (FA).

\* Corresponding author. e-mail: [magalybalcazar@yahoo.com](mailto:magalybalcazar@yahoo.com)

- Amplificador voltaje-voltaje (AVV).
- Fuentes de alta tensión (HV).
- PC con tarjeta de adquisición (TCAD).
- Programas de medición.

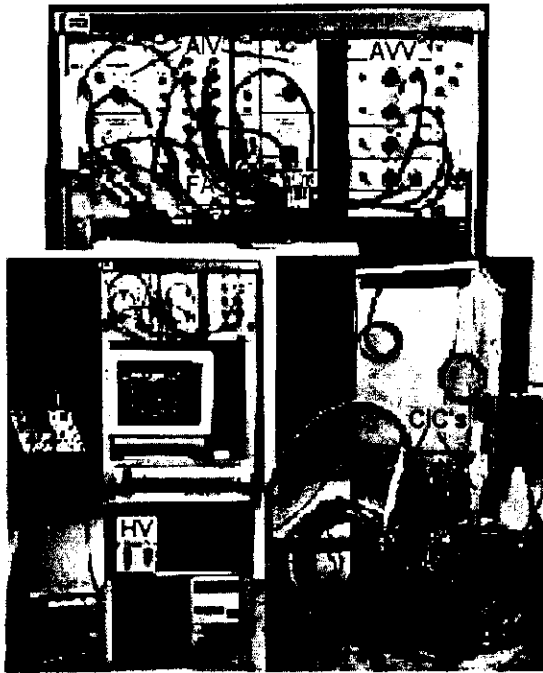


Fig. 1. Sistema de medición.

### 3. Instalación del Sistema

Como se muestra en el diagrama de la Fig. 2, CIC1 y CIC2 se ubican en el reflector lo más cerca posible del núcleo del reactor, de manera que se pueda obtener una alta eficiencia absoluta en los detectores.

Luego de ubicar las CIC's, se procede a la instalación del resto del sistema para el caso de la determinación de la potencia térmica por Ruido Neutrónico, el cual se observa en el diagrama de la Fig. 3. Una vez polarizadas positivamente y negativamente la CIC's (HV), las señales de corriente de los detectores (valor absoluto  $I_i$ , más valor fluctuante  $\delta I_i$ ), se introducen en el AIV, siendo la señal de salida ahora voltaje. El voltaje fluctuante  $\delta V_i$ , es filtrado en un ancho de banda de 40 ó 200 Hz. Finalmente todas estas señales analógicas son digitalizadas en la TCAD para su procesamiento con los programas desarrollados por el grupo de física experimental de reactores de la Comisión de Energía Nuclear de Argentina - CNEA.

El arreglo del sistema de medición difiere un poco para el caso de la determinación de la reactividad por el método de Cinética Inversa el cual

mostramos en la Fig. 4. En este caso, sólo utilizamos el valor del valor absoluto de  $V_i$ , el cual amplificamos aún más en el AVV; similarmente, la señal se digitaliza para su procesamiento con los programas.

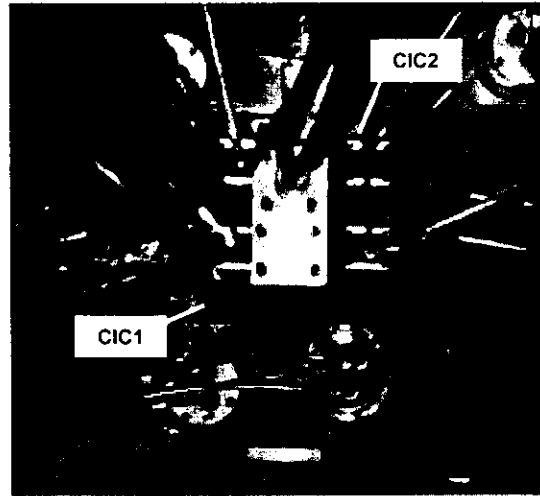


Fig. 2. Ubicación de CIC's cerca al núcleo del reactor.

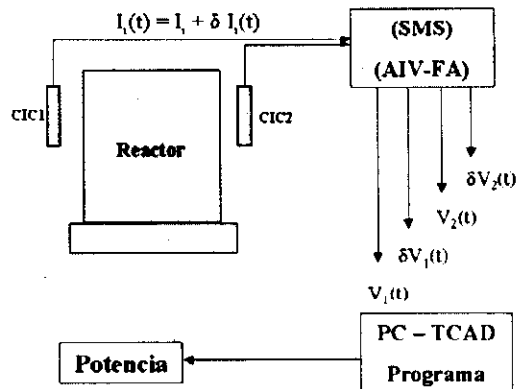


Fig. 3. Esquema del sistema de medición para la determinación de la potencia térmica.

#### 3.1 Ruido Neutrónico

La técnica de ruido neutrónico permite obtener en facilidades críticas y reactores de investigación, en forma no perturbativa, en convección natural o forzada<sup>1</sup>:

- (a) una estimación del correcto funcionamiento de una cadena de medición neutrónica y la eficiencia absoluta ( $\epsilon$ ) del detector.
- (b) la constante de evolución del modo fundamental de los neutrones instantáneos ( $\alpha$ ).

- (c) calibrar en potencia la cámara de marcha 4 perteneciente al RP-0.

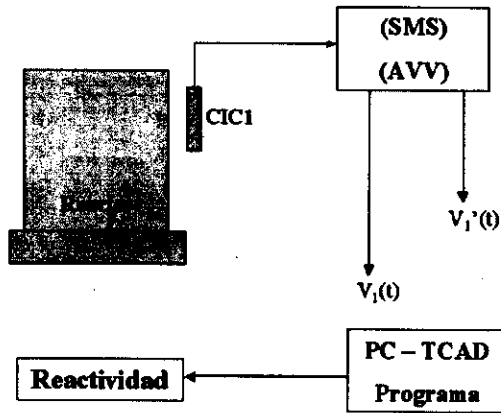


Fig. 4. Esquema del sistema de medición para la determinación de la reactividad.

La potencia, se obtiene a partir de la correlación de señales de las dos CIC:

$$P_{ij} = \frac{2E_f D(1-\beta)L_1}{A_{ij} \beta^2} \quad (1)$$

Siendo  $B_1, E_f, D, \beta$  y  $L_1$  parámetros que dependen del combustible y/o la geometría y cuyos valores se obtienen de la literatura ó a través de cálculo.

$B_1 \cong 1$ , factor de Bennett

$\bar{E}_f = 3,2 \times 10^{-11} J$ , energía media liberada por fisión

$D = 0,795$ ; factor de Diven

$L_1 = 1,18$  para un reactor de este tipo (MTR)

$\beta$ : Fracción efectiva de neutrones retardados

Los parámetros  $A_{ij}, \alpha$  y  $N_i$ , se obtienen ajustando los datos de Densidad Espectral de

Potencia Normalizada  $NPSD_{ij}(\omega) = \frac{PSD_{ij}(\omega)}{I_i I_j}$

con la función:

$$F(\omega) = \left( \frac{A_{ij}}{1 + \frac{\omega^2}{\alpha^2}} \right) + N_i \delta_{ij} \quad (2)$$

Siendo:

$I_i(t)$  : Corriente de la CIC<sub>i</sub>

$\omega$  : frecuencia angular.

$PSD_{ij}(\omega)$  : densidad espectral de potencia de las componentes ( $\delta I_i(t), \delta I_j(t)$ ).

### 3.2 Cinética Inversa

El reactor está compuesto de núcleo y reflector (grafito, berilio). El núcleo contiene combustible (El combustible del Reactor Nuclear RP-0 es un óxido de uranio,  $U_3O_8$ , en su isótopo  $^{235}U$  enriquecido al 19,75 % en uranio natural), moderador (agua desmineralizada) y materiales estructurales. Dentro del núcleo del reactor, se produce una reacción de fisión en cadena en la cual desaparecen y se producen neutrones.

Se define entonces el parámetro Reactividad como:

$$\rho = \frac{P - D}{P} \quad (3)$$

siendo,

$\rho$ : Reactividad

$P$ : Producción de Neutrones

$D$ : Destrucción de Neutrones

Definimos ahora la reactividad en dólares (La reactividad es una cantidad adimensional, se denomina reactividad en \$, a la reactividad dividida entre la constante  $\beta_{eff}$ ),

$$\$ = \frac{\rho}{\beta_{eff}} \quad (4)$$

Siendo  $\beta_{eff}$  la fracción efectiva de neutrones retardados cuyo valor depende de los elementos estructurales y la geometría del reactor. Mediante Cinética Inversa se obtuvo la reactividad del núcleo ( $\$^{EXC}$ ) evaluando la reactividad a través del modelo del reactor puntual (MRP)<sup>2</sup>. Por medio del método de "Rod-Drop" se obtuvo la efectividad de barras de control  $\$_0$ . En este método se parte del reactor crítico-estacionario y a un  $t = t_0$  se introduce en forma rápida en un tiempo  $\Delta t_c$  una reactividad negativa:

$$\$(t) = \$_0 * R(t) \quad (5)$$

En los primeros instantes posteriores a la inserción de la reactividad, se produce una disminución brusca de la razón de la población inicial de neutrones (estado estacionario) y la población después de la inserción de la reactividad.

## 4. Resultados

### 4.1 Ruido Neutrónico

A continuación en la Tabla 1 se presentan las mediciones realizadas con el método de Ruido Neutrónico.

Tabla 1. Estimaciones de Potencia por Ruido Neutrónico.

Nº Experiencia	Potencia (Wattios)	Error (%)
1	5,510	0,044
2	5,412	0,044
3	5,351	0,036
4	5,348	0,040
5	5,522	0,035
6	5,216	0,037
7	5,373	0,035
8	5,162	0,036
9	5,319	0,050
10	5,369	0,037
11	5,291	0,039
12	5,081	0,035
13	5,022	0,026
14	5,191	0,027

Luego el valor promedio de la potencia térmica es mostrado en la Tabla 2,

Tabla 2. Potencia Térmica promedio.

Potencia Promedio (W)	Error (%)
5,30	0,04

### 4.2 Cinética Inversa

Los valores de la reactividad obtenida para el núcleo del RP-0 son mostradas en la Tabla 3.

Tabla 3. Reactividad del núcleo.

Nº Experiencia	Reactividad (\$)	Error (%)
1	0,3709	2,43
2	0,3757	0,40
3	0,3673	0,40
4	0,3656	0,40

A continuación la Tabla 4 muestra el valor promedio de la reactividad

Tabla 4. Reactividad Promedio.

Reactividad Promedio (\$)	Error (%)
0,3706	0,35

### 4.3 Comparación de los Resultados con los Obtenidos con otras Técnicas

A continuación vamos a comparar los resultados de la potencia térmica y la reactividad obtenidos con las técnicas de Ruido Neutrónico y Cinética Inversa respectivamente, con los resultados de los mismos parámetros, pero obtenidos con las técnicas usuales de medición: Activación Neutrónica para la potencia y Periodo Asintótico para la reactividad.

#### Potencia Térmica:

Tabla 5. Comparación de la Potencia obtenida por ambas técnicas.

Ruido Neutrónico		Activación Neutrónica	
Potencia (W)	Error (%)	Potencia (W)	Error (%)
5,30	0,04	6,06	4,21
t medición	2 días	t medición	10 días

#### Reactividad:

Tabla 6. Comparación de la Reactividad obtenida por ambas técnicas.

Cinética Inversa		Periodo Asintótico	
Reactividad (\$)	Error (%)	Reactividad (\$)	Error (%)
0,3706	0,35	0,4	5,0
t medición	1 hora	t medición	4 horas

## 5. Conclusiones y Observaciones

Al comparar las técnicas de medición para la determinación de la potencia térmica se observó una diferencia de:

Ruido Neutrónico (W)	Activación neutrónica (W)	Diferencia (%)
5,3	6,06	12

La aplicación de la técnica de Ruido Neutrónico se llevó a cabo en menor tiempo y en cada experiencia se realizó un promedio de seis mediciones, de modo que el valor obtenido es el resultado del promedio de 84 mediciones. En contraste, la determinación de la potencia por la técnica de activación se realiza en diez días y es una sola medición.

De lo anterior se puede concluir que la técnica de Ruido es no sólo más confiable (estadística de datos), también es mucho más práctico pues el tiempo total de medición es de dos días en comparación con los diez por activación.

En el caso de la reactividad, la medición realizada por el método del Periodo Asintótico además de tomar mayor tiempo de medición, está sujeto a errores sistemáticos pues no se encuentra con instrumentación digital y en su determinación interviene la precisión humana. También en este caso realizamos una comparación entre los valores hallados por ambas técnicas, las cuales se muestran a continuación

Cinética Inversa (\$)	Periodo Asintótico (\$)	Diferencia (%)
0,3706	0,4	7,35

La determinación de la reactividad por Cinética Inversa además de ser realizada en menor tiempo, se realiza con instrumentación digital y similar a la

técnica de Ruido esta requiere de estadística de datos. De lo anterior también podemos concluir que la técnica de Cinética Inversa es más confiable.

#### Referencias

- [1] M. Zapata, F. Parreño, R. Bruna; IPEN/DGI/CASE "Determinación de la Potencia del Núcleo 7A5 del RP-0 Por las Técnicas de Ruido Neutrónico y Activación Neutrónica" (2002).
- [2] A. Gómez, R. Waldman and E. Laggiard. *Ann. Nuc. Energy*, **19(5)**, 267 (1992).
- [3] M. Zapata, F. Parreño, R. Bruna; IPEN-DGI-CASE "Estimación de la efectividad de las Barras de Control del núcleo 7A5 del RP0 por el modelo del reactor puntual (MRP) y cinética espacial modal (CEM)" (2002).
- [4] Comisión Nacional de Energía Atómica CNEA.C.RCN.MUS.027 "Programas de computación utilizados en la medición de parámetros cinéticos" (1998).
- [5] R. Bruna, J. Oré, P. Paredes, IPEN-DGI-CASE. "Medición de Potencia para la Configuración 7A4 del Reactor RP-0, usando la Técnica de Ruido Neutrónico". IPEN. (2000).
- [6] A. Gómez, R. Waldman. *Ann. Nucl. Energy*, **21(10)**, 613 (1994).
- [7] R. Bruna, R. Páucar, M. Vela, Z. Pozo; IPEN-DGI-CASE. "Determinación de la Potencia del Núcleo 18 del RP-10". IPEN. (1998).