

# MEDICION DEL TIEMPO DE GENERACION DE NEUTRONES PRONTOS POR LOS METODOS DE FEYNMAN Y BENNETT.

INSTITUTO PERUANO DE ENERGIA NUCLEAR Apdo. 1687  
Lima 13, Perú

*Carlos Job, FIESTAS URBINA*

## RESUMEN

En el presente trabajo se reportan las mediciones del tiempo de generación reducido de neutrones prontos ( $\Lambda/\beta$ ), la constante de decaimiento de los neutrones prontos ( $\alpha_p$ ) correspondiente a una reactividad  $r(\$)$  y la eficiencia del detector de neutrones (E) de la segunda cadena de arranque del reactor nuclear de potencia cero RP-0 del Instituto Peruano de Energía Nuclear con la configuración nuclear No. 52 [1]. La medición se realizó separadamente por los métodos estadísticos de Feynman [2] y Bennett [3], cuya diferencia radica en que el primero no considera la contribución de neutrones retardados en el modelo estadístico matemático de la razón varianza a media de la población neutrónica de un reactor en estado estacionario con fuente neutrónica interna.

El experimento fue realizado para una reactividad del sistema,  $r = -0.0356 \$$ ; resultando incierto el método de Feynman, dado que no se pudo observar claramente el rango del tiempo prefijado de contaje a partir del cual la contribución retardada se hace importante.

Por otro lado el método de Bennett no presentó este problema, dado que éste considera en su modelo tanto la contribución pronta como la retardada. Los resultados obtenidos aplicando este último método fueron:

$$\begin{aligned}\alpha_p &= -99.74s^{-1} \\ \Lambda/\beta &= 1.043 \times 10^{-2}s \\ E &= 5.263 \times 10^{-4} \text{ (neut. det./neut. prod.)} \\ &= 1.299 \times 10^{-3} \text{ (neut. det./fisión)} \\ C_p &= 23.3646.\end{aligned}$$

## ABSTRACT

In the present work it is reported the measurement of the reduced prompt neutron generation time ( $\Lambda/\beta$ ), the prompt neutron decaying constant ( $\alpha_p$ ) for a system's reactivity  $r(\$)$  and the efficiency (E) of the second starting chain for the nuclear reactor RP-0 of the Instituto Peruano de Energía Nuclear with the

nuclear core configuración No. 52 [1]. The measurements were realized separately by the statistical methods of Feynman [2] and Bennet [3]; which are different because the first one doesn't consider the delayed neutron contribution to the variance to mean rate of the neutron density for a nuclear reactor with intern neutron source.

The experiment was realized for a system's reactivity  $\rho = -0.0356$ . The Feynman method had a great imprecision because it was not clearly observed the range of the prefixed counting time when the delayed neutron contribution began to be important.

The Bennett method didn't have this problem because in this model consider the prompt and delayed neutron contributions. The experimental results for this method were the following.

$$\begin{aligned}\alpha\rho &= -99.74s^{-1} \\ \Lambda/\beta &= 1.43 \times 10^{-2}s \\ E &= 5.263 \times 10^{-4} \text{ (neut. det./neut. prod.)} \\ &= 1.299 \times 10^{-3} \text{ (neut. det./fisión).} \\ C_p &= 23.3646\end{aligned}$$

## I. INTRODUCCION:

Uno de los problemas fundamentales de la tecnología de reactores nucleares es la determinación del valor de parámetros en las ecuaciones que describen la evolución de la población neutrónica en el núcleo del reactor, con la finalidad de establecer las condiciones bajo las cuales la reacción puede ser controlada en forma segura y útil.

Por otro lado, es necesario relacionar el flujo neutrónico con el nivel de potencia del reactor (calibración de potencia).

En el presente trabajo se midieron los parámetros dinámicos, tiempo de generación reducido de neutrones prontos ( $\Lambda/\beta$ ), constante de decaimiento de neutrones prontos ( $\alpha\rho$ ) y además la eficiencia (E) del detector de neutrones de la segunda cadena de arranque del reactor nuclear RP-0 del Instituto Peruano de Energía Nuclear. Este último parámetro es de mucha utilidad para realizar la calibración de potencia del reactor.

En este trabajo la medición será efectuada separadamente por los métodos de Feynman y Bennett. La ventaja de estos métodos frente a otros de naturaleza no estadística es que los primeros se realizan en condiciones máximas de seguridad, dado que se requiere que el reactor esté en estado subcrítico. Esto hace que los métodos estadísticos sean recomendables en caso que la configuración nuclear del reactor no sea bien conocida.

## 2. METODOS EXPERIMENTALES DE FEYNMAN Y BENNETT:

### 2.1 FUNDAMENTO TEORICO:

Los métodos de Feynman y Bennett están basados en modelos matemáticos que relacionan el parámetro estadístico razón varianza a media de la población neutrónica de un reactor nuclear, correspondiente a un tiempo prefijado de contaje, con los parámetros cinéticos característicos de los grupos de neutrones prontos y retardados. El estado del reactor es subcrítico con fuente interna.

El modelo de Feynman no considera la contribución de neutrones retardados de la razón varianza a media, siendo por lo tanto una buena aproximación para rangos de tiempo prefijado de contaje donde la influencia de los neutrones retardados es pequeña comparada con la pronta. La ecuación representativa del modelo de Feynman es la siguiente [4]

$$\frac{\bar{C}^2 - C^2}{\bar{C}} = 1 + \frac{E'}{\bar{\beta}^2 (1-r)^2} \left( \frac{\bar{\nu}^2 - \bar{\nu}}{\bar{\nu}^2} \right) \left( 1 - \frac{1 - e^{-\alpha_p T}}{\alpha_p T} \right) \quad (1)$$

- donde:  $\bar{C}$  : número promedio de neutrones contados por la cadena de medición en el tiempo Prefijado T;  
 $E'$  : eficiencia del detector de neutrones expresada en (neut. det./fisión);  
 $r$  : reactividad del sistema (reactor nuclear), expresada en \$;  
 $\bar{\beta}$  : fracción efectiva de neutrones retardados;  
 $\bar{\nu}$  : número promedio de neutrones producidos por fisión;  
 $\alpha_p$  : constante de decaimiento de neutrones prontos.

Para obtener los parámetros cinéticos se ajusta la función dada por la ecuación (1) a los datos experimentales de razón varianza a media versus tiempo prefijado de contaje empleando un programa de cómputo adecuado [5].

El modelo de Bennett considera tanto la contribución de neutrones prontos como la contribución de neutrones retardados de la varianza a media y por lo tanto no presenta el problema de elegir un rango adecuado de tiempo prefijado de contaje para su correcta utilización, como es el caso anterior. La ecuación correspondiente a este modelo es la siguiente [6].

$$\frac{\bar{C}^2 - C^2}{\bar{C}} = 1 + 2EK \left( \frac{\bar{\nu}^2 - \bar{\nu}}{\bar{\nu}^2} \right) \sum_{k=1}^7 \frac{A_k B_k}{\alpha_k} \left( 1 + \frac{1 - e^{-\alpha_k T}}{\alpha_k T} \right) \quad (2)$$

$$A_k = \frac{r}{r - \sum_{i=1}^6 \frac{\alpha_k^2 f_i}{(\alpha_k + \lambda_i)^2}} \quad (3)$$

$$B_k = \sum_{j=1}^7 \frac{A_j}{(\alpha_j + \alpha_k) \tau_j \tau_k} \quad (4)$$

donde:

- $\alpha_k$  : constante de decaimiento del k-ésimo grupo de neutrones; k = 1 corresponde al grupo de neutrones prontos;  
 $f_i$  : fracción relativa del i-ésimo grupo de neutrones retardados;  
 $\lambda_i$  : constante de decaimiento de los precursores del i-ésimo grupo de neutrones retardados;  
 $K$  : constante efectiva de reproducción de neutrones.

En la misma forma que en el caso anterior, los parámetros dinámicos se obtienen ajustando la función dada por las ecuaciones (2), (3) y (4) a los datos experimentales de razón varianza a media versus tiempo prefijado de contaje, mediante un apropiado programa de cómputo [7].

## 2.2 PARTE EXPERIMENTAL:

Para realizar las mediciones se montó la cadena de medición que se muestra en la figura 1. Luego, el reactor nuclear fue llevado a un estado estacionario con fuente interna, observándose en la pantalla del contador un nivel de cuentas de 20000 c/s.

Se tomaron contajes en el analizador multicanal en modo de operación MCS para los tiempos prefijados de contaje a 0.001, 0.002, . . . , 0.9 s. Los datos obtenidos fueron grabados en cinta magnética y procesados luego para obtener los datos de razón varianza a media en función del tiempo prefijado de contaje.

Se sacó luego la fuente de neutrones del reactor y se registró la evolución de la población neutrónica para medir posteriormente la reactividad del reactor por el método del período negativo [8].

Los datos obtenidos alimentaron a los programas de cómputo preparados para determinar los parámetros dinámicos ( $\Lambda/\beta$ ), ( $\alpha\rho$ ) y E según los modelos de Feynman y Bennett.

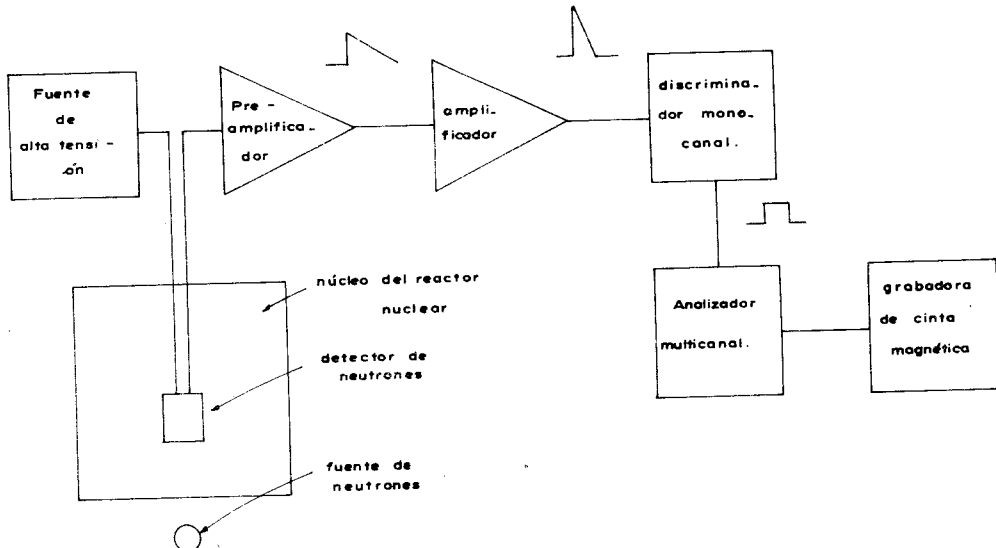


FIG. 1. DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA CADENA DE MEDICION DE FLUJO NEUTRONICO

## 3. RESULTADOS:

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos empleando el modelo de Feynman, representándose en las figuras 2 y 3 los casos correspondientes a considerar en el procesamiento de 15 y 23 datos experimentales respectivamente.

En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos para el modelo de Bennett, cuya representación gráfica se muestra en la figura 4.

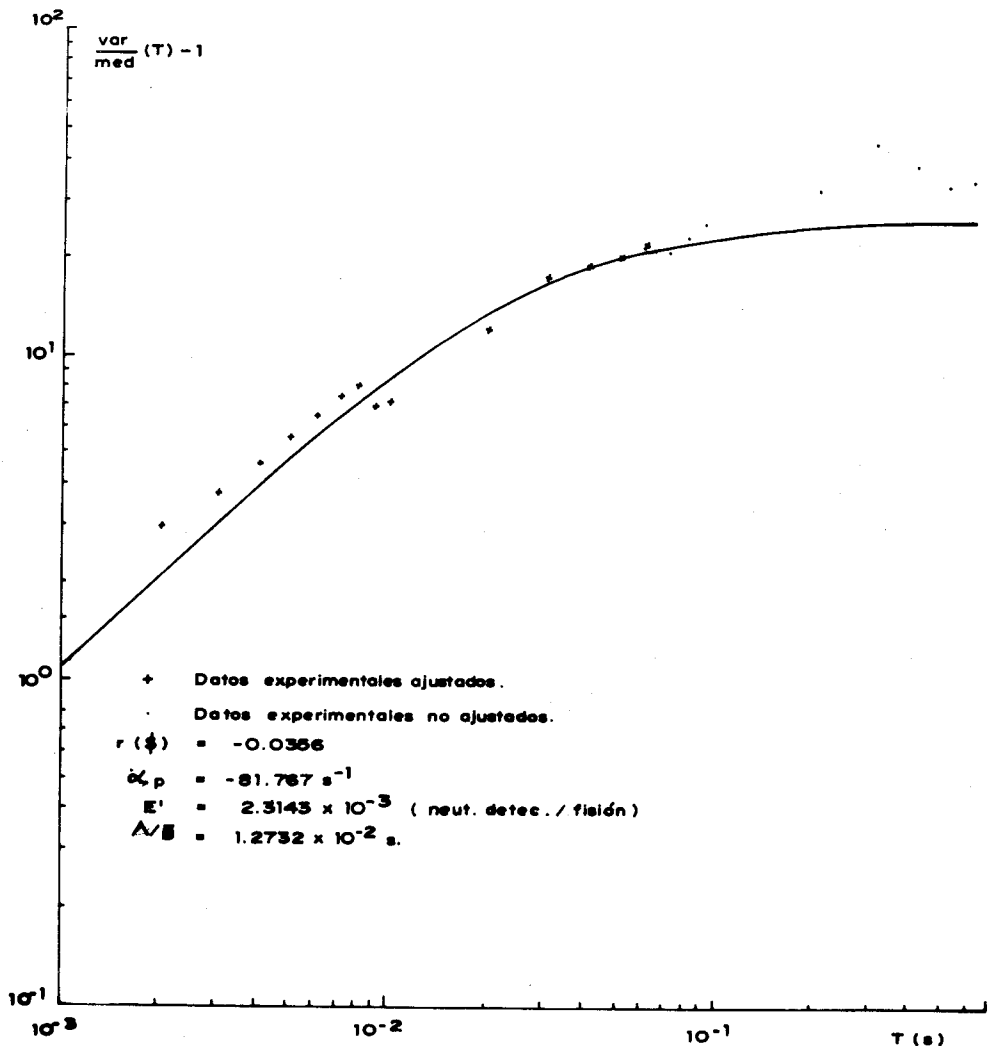


FIG. 2. AJUSTE DEL APARTAMIENTO SEGUN EL MODELO DE FEYNMAN

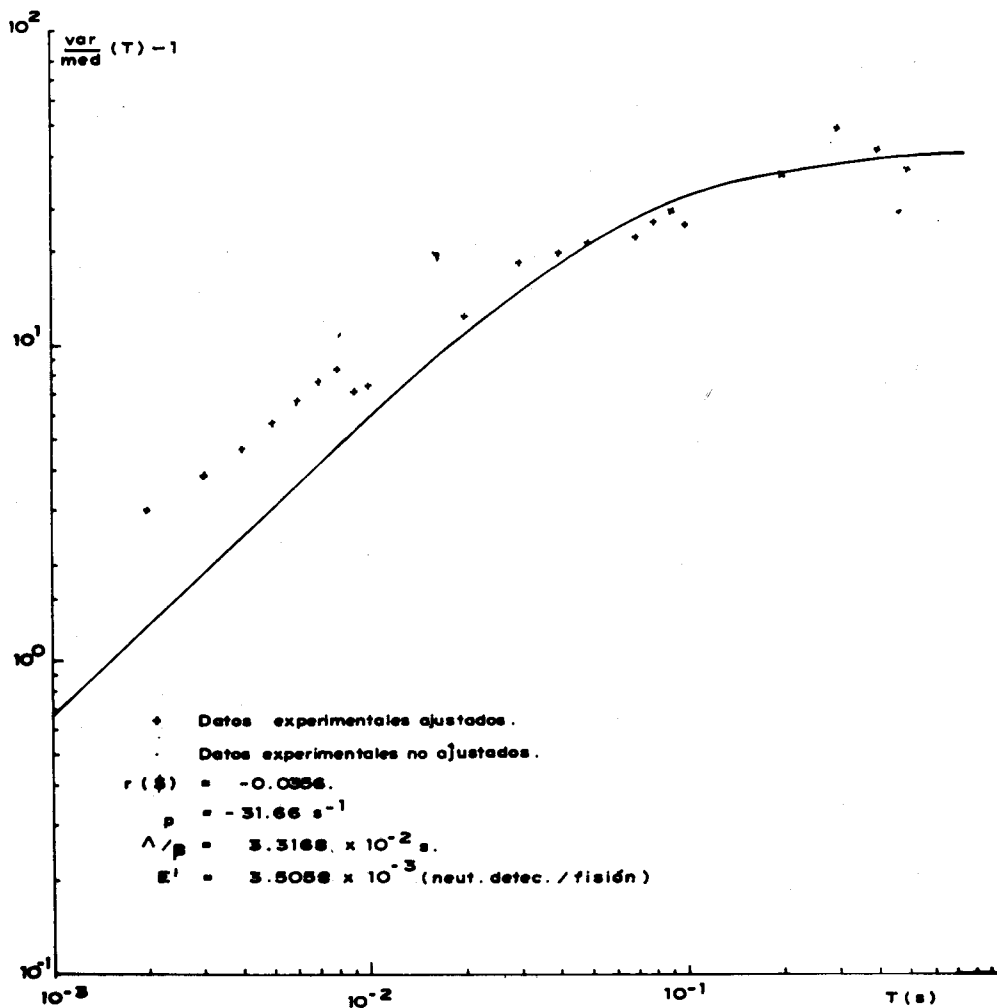


FIG. 3. AJUSTE DEL APARTAMIENTO SEGUN EL MODELO DE FEYNMAN

TABLA I: METODO DE FEYNNMAN

$r = -0.0356 \$$

No. de datos Ajustados	$\alpha_p$ ( $S^{-1}$ )	$(\Lambda/\bar{\beta})$ (S)	E' (Neut. detec. / fisión)	$C_p$
8	-156.620	$6.7560 \times 10^{-3}$	$1.619 \times 10^{-3}$	19.281
10	-333.250	$3.1115 \times 10^{-3}$	$9.406 \times 10^{-4}$	11.201
11	-192.680	$5.3867 \times 10^{-3}$	$1.299 \times 10^{-3}$	15.470
15	- 81.767	$1.2732 \times 10^{-2}$	$2.344 \times 10^{-3}$	27.560
20	- 60.058	$1.7367 \times 10^{-2}$	$2.648 \times 10^{-3}$	31.530
23	- 31.660	$3.3168 \times 10^{-2}$	$3.506 \times 10^{-3}$	41.749

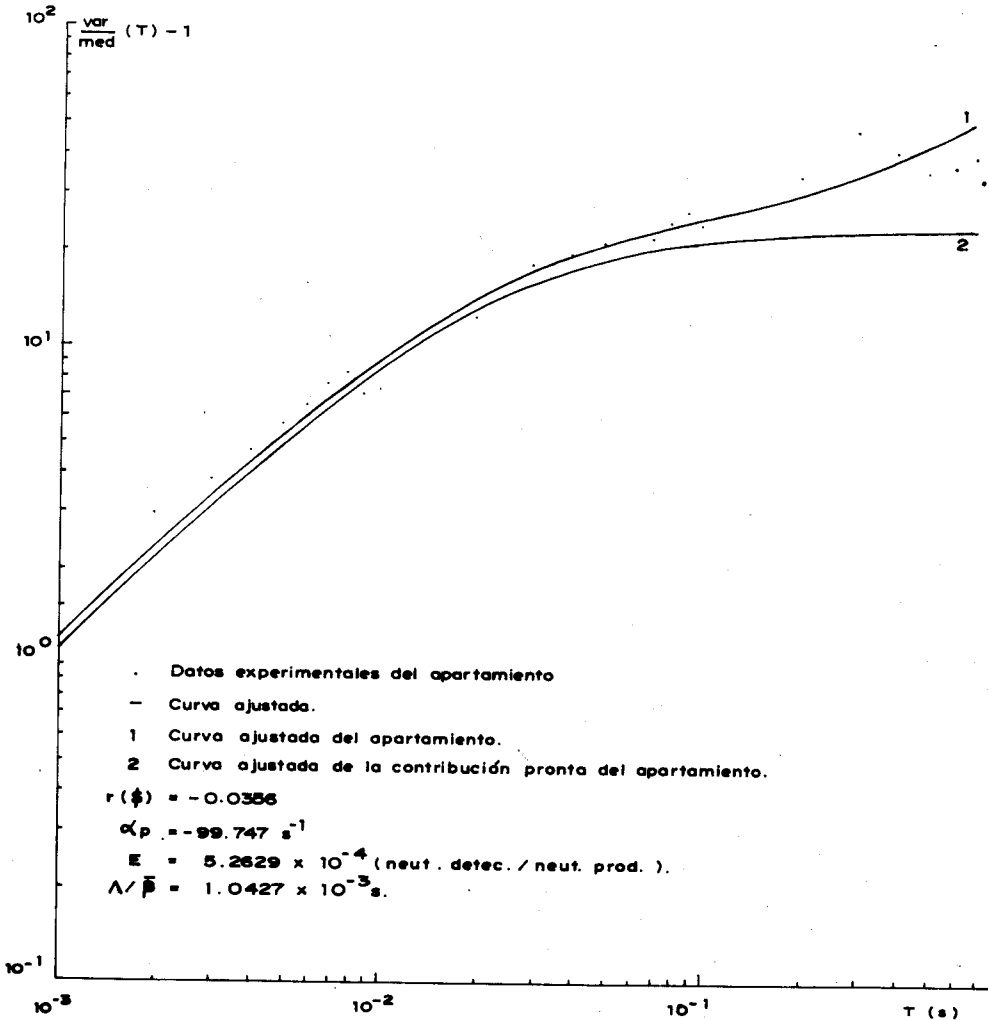


FIG. 4. AJUSTE DEL APARTAMIENTO SEGUN EL MODELO DE BENNETT.

TABLA II: METODO DE BENNETT

$$r = 0.0356 \$$$

No. de datos Ajustados	$\alpha_p$ (S <sup>-1</sup> )	( $\Lambda/\bar{\beta}$ ) (S)	E (Neut. detec./ Neut. prod.)	$C_p$
25	-99.747	$1.0427 \times 10^{-2}$	$5.263 \times 10^{-4}$	23.265

#### 4. DISCUSION:

Al aplicar el modelo de Feynman para procesar los datos experimentales de razón varianza a media en función del tiempo prefijado de contaje surgió una gran incertidumbre, debido a que no era notorio el tiempo prefijado de contaje a partir del cual la contribución neutrónica retardada empezaba a ser importante respecto a la pronta. Esto es decisivo al aplicar el modelo de Feynman dado que solamente considera la contribución pronta. La aplicación del modelo de Bennett no presentó este problema por que considera tanto la contribución pronta como la retardada.

De la comparación de resultados de ambos modelos se nota que la aplicación del modelo de Feynman para los 15 primeros datos experimentales es la que está en mejor concordancia con los resultados obtenidos mediante el modelo de Bennett.

#### 5. CONCLUSIONES:

1. El modelo de Bennett resultó ser el más eficiente en la medición de los parámetros cinéticos  $\alpha_p$ ,  $\Lambda/\bar{\beta}$ , E
2. La vida media de los neutrones pronto ( $\ell$ ) puede ser calculada a partir de los parámetros medidos y la siguiente relación [9].

$$\ell = \frac{\bar{\beta} \Lambda^*}{1 - \bar{\beta}r}$$

$$\text{resultando } \ell = 6.6715 \times 10^{-5} \text{ s.}$$

3. La eficiencia del detector (E) obtenida por el método de Bennett expresada en (neut. detec./ fisión) es:

$$E' = 1.299 \times 10^{-3} \frac{\text{neut. detec.}}{\text{fisión}}$$

4. Del resultado anterior es posible estimar la potencia del reactor nuclear en función de la razón de contaje neutrónico (CR), mediante la siguiente expresión [10].

$$P = 3.1242 \times 10^{-11} \frac{\text{vatios} \times \text{s}}{\text{fisión}} \times \frac{\text{CR}}{E'}$$



## REFERENCIAS

1. ACTAS DE OPERACION DEL REACTOR NUCLEAR RP-0. (documento interno del Instituto Peruano de Energía Nuclear).
  2. KEEPIN, G.R. PHYSICS OF NUCLEAR KINETICS. Reading Massachusetts, Addison-Wesley Publishing Co. (1965) 253-254.
  3. JOHNSON, R.L. A. STATISTICAL DETERMINATION OF THE REDUCED PROMPT GENERATION TIME, IN SPERT IV REACTOR, Idaho, Phillips Petroleum Co. Atomic Energy Division. IDO-16903 (20 Ag. 1963).
  4. FERNANDEZ BACA, J. ANALISIS DE RUIDO NEUTRONICO EN EL RP-0, EXPERIENCIA  $\alpha$ - FEYNMAN, Lima, Instituto Peruano de Energía Nuclear, División de Capacitación e Información Técnica (1979) 4-5.
  5. FIESTAS, C.J. MEDICION DEL TIEMPO DE GENERACION DE NEUTRONES PRONTOS POR LOS METODOS DE FEYNMAN Y BENNETT, Tesis de Magister con mención en Energía Nuclear, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima (1982).
  6. Ref. 3 (Pág. 14). JOHNSON, R.L., op. cit., p. 14
  7. FIESTAS, C.J., op. ct., pág. 124-126.
  8. PROFIO, E.A. EXPERIMENTAL REACTOR PHYSICS, John Wiley and Sons, New York (1976) 707-126.
  9. ASH, M.S. NUCLEAR REACTOR KINETICS, McGraw-Hill Book Co., New York (1976) 707 - 710.
  10. FERNANDEZ BACA, J., op. cit. p. 7.
-

Medición del tiempo de generación de neutrones  
prontos por los métodos de Feynman y Bennett,  
por Carlos Job Fiestas Urbina se distribuye bajo  
una Licencia Creative Commons Atribución-  
NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.