

## **Diseño y construcción de un prototipo de intercambiador para la automatización de la técnica de análisis por activación neutrónica**

Javier Gago<sup>1,\*</sup>, Yon López<sup>2</sup>, Yuri Hernández<sup>1</sup>, Oscar Baltuano<sup>1</sup>, Rafael Urquiza<sup>3</sup>, Patricia Bedregal<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Peruano de Energía Nuclear. Lima, Perú

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú

<sup>3</sup>Universidad Tecnológica del Perú. Lima, Perú

### **Resumen**

Debido a que el reactor de investigación RP-10 opera durante los fines de semana fue necesario diseñar y construir un intercambiador de muestras para la irradiación, como parte del proceso de automatización, de la técnica de análisis por activación neutrónica. El dispositivo está formado por un disco de la placa giratoria de aluminio con capacidad para 19 cápsulas de polietileno, que contiene muestras que se envían mediante el sistema de transferencia neumático desde el laboratorio a la posición de irradiación. El sistema se maneja por una central de control para enviar y devolver las cápsulas en un tiempo variable preestablecido y de dos modos diferentes, lo que permite la determinación de radionucleidos de corta, mediana y larga vida media. Además se ha diseñado otro mecanismo denominado "válvula intercambiadora" para el cambio de vías de recorrido (ductos) permitiendo que las muestras irradiadas puedan ser almacenadas por un período de tiempo mayor en hall del reactor. El diseño del sistema ha permitido completar la automatización de esta técnica, haciendo posible la irradiación de muestras sin la presencia del analista. El diseño, construcción y operación del dispositivo se describen en este artículo.

Palabras claves: intercambiador mecánico, activación neutrónica, automatización

### **Design and building of a homemade sample changer for automation of the irradiation in neutron activation analysis technique**

#### **Abstract**

Because the RP-10 research reactor operates during weekends, it was necessary to design and build a sample changer for irradiation as part of the automation process of neutron activation analysis technique. The device is formed by an aluminum turntable disk which can accommodate 19 polyethylene capsules, containing samples to be sent using the pneumatic transfer system from the laboratory to the irradiation position. The system is operate by a control switchboard to send and return capsules in a variable preset time and by two different ways, allowing the determination of short, medium and long lived radionuclides. Also another mechanism is designed called "exchange valve" for changing travel paths (pipelines) allowing the irradiated samples to be stored for a longer time in the reactor hall. The system design has allowed complete automation of this technique, enabling the irradiation of samples without the presence of an analyst. The design, construction and operation of the device is described and presented in this article.

Keywords: mechanical exchanger, neutron activation, automation

### **1. Introducción**

En el año 2007 se diseñó y construyó un nuevo sistema neumático de envío de muestras para los ensayos de análisis de activación neutrónica. El envío de muestras se hace desde el laboratorio auxiliar N° 29, mediante una bomba de vacío se genera el flujo de aire que permite transportar la muestra hasta el núcleo del reactor y después de un tiempo programado de irradiación se procede con el retorno de la muestra al laboratorio [1].

Actualmente, este proceso de colocación de la muestra en el sistema para su envío y retiro es un proceso manual que se repite con cada muestra.

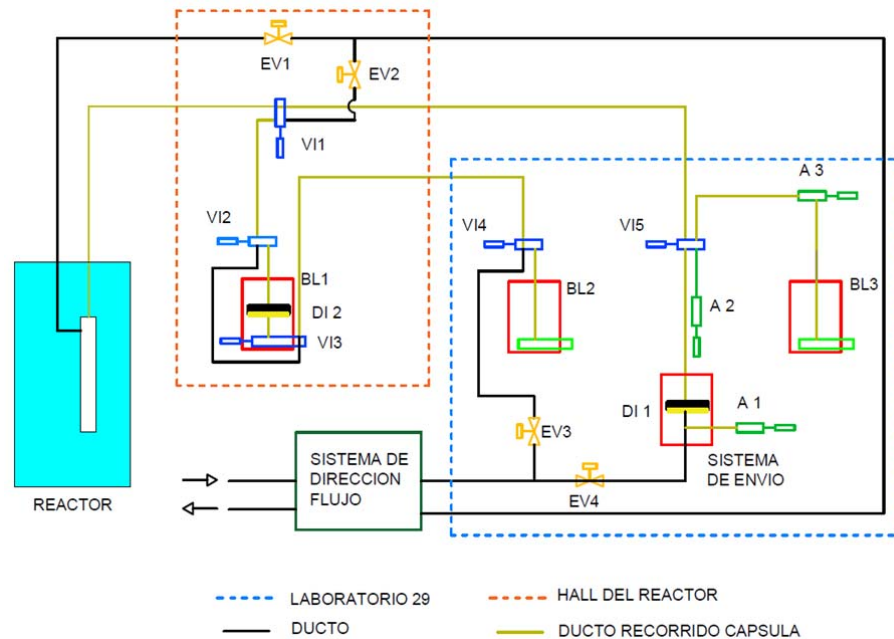
El diseño comprende incorporar un nuevo subsistema mecánico para el envío automático de hasta 19 muestras, los mismos que retornan a un blindaje para su posterior proceso de análisis. Para hacer posible este automatismo fue necesario diseñar un

---

\* Correspondencia autor: [jgago@ipen.gob.pe](mailto:jgago@ipen.gob.pe)

dispositivo mecánico denominado “válvula intercambiadora”, que consiste en cambiar la trayectoria de la muestra encapsulada desde un ducto hacia otro. El cambio se debe a la

necesidad de almacenamiento para decaimiento de la actividad que pueda adquirir las muestras, el almacenamiento temporal se realizará en el hall del reactor.



**Figura 1.** Representación del sistema neumático de envío-retorno de muestras para el AAN.

Estas derivaciones se presentan según las condiciones de trabajo que pueda requerir cada centro nuclear; por ejemplo, una derivación del recorrido de la muestra encapsulada a una zona de medición o contaje [2] o una derivación para enviar la muestra a diferentes posiciones de irradiación en el núcleo del reactor [3]. Actualmente, se viene trabajando con el retorno directo de las muestras encapsuladas después de irradiarse con una dosis promedio de 200 mrem y en algunos casos hasta de 2 rem. La disminución de exposición al usuario será mínimo cuando el sistema sea totalmente automático y por eso es necesario el diseño en sincronizar las opciones de funcionamiento del sistema mecánico y su respectivo control.

El propósito de este desarrollo es el diseño y construcción de un sistema neumático de envío y retorno de muestras para su irradiación en el reactor RP-10.

## 2. Descripción del sistema de envío

El sistema neumático contiene el subsistema de envío de muestras y el circuito de derivación para almacenamiento temporal de

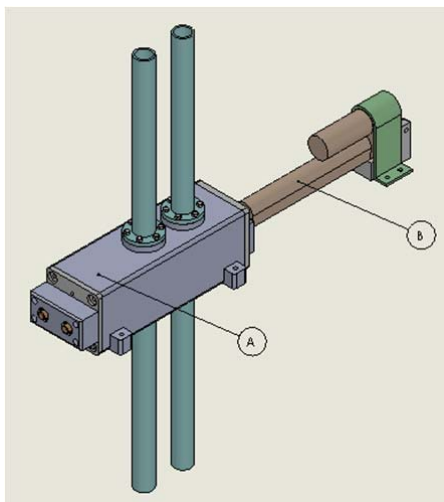
las muestras irradiadas, cuyo esquema se presenta en la Figura 1.

Las cápsulas con las muestras se colocaran en el sistema de envío en el disco intercambiador DI 1 (Figura 1) y a la vez se programan el tiempo de irradiación para cada muestra.

El sistema de neumático contempla dos modos de operación:

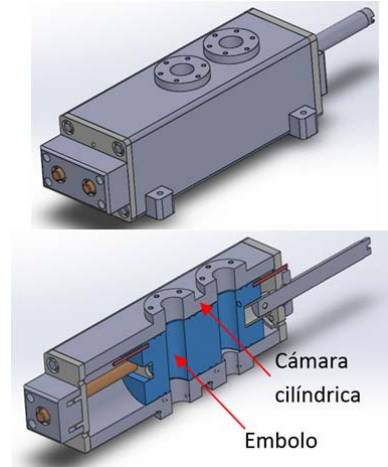
- 1° Sistema de envío y retorno directo.
- 2° Sistema de envío con retorno temporal al hall del reactor para su decaimiento.

Los modos de operación requieren que la muestra encapsulada pueda cambiar la vía de recorrido, para ello es necesario diseñar un dispositivo mecánico que permita mover la cápsula de una a otra vía. Este dispositivo se denomina válvula intercambiadora “VI” (Figura 2) que se puede clasificar del tipo Válvula 4/2 (4 vías y 2 posiciones) y tiene dos componentes principales que son la cámara cilíndrica (parte fija) y el émbolo (parte móvil) (Figura 3). Este dispositivo mecánico se encargará de cambiar la trayectoria de la cápsula mediante un actuador lineal [4].



**Figura 2.** a) Válvula intercambiadora, b) Actuador lineal.

Para la válvula intercambiadora se diseñaron dos modelos casi similares: I y II, la diferencia radica en la posición de retención de cápsula y la función que van a cumplir. En el modelo I la retención mecánica se produce en el émbolo y en el modelo II la retención se produce en la cámara cilíndrica.

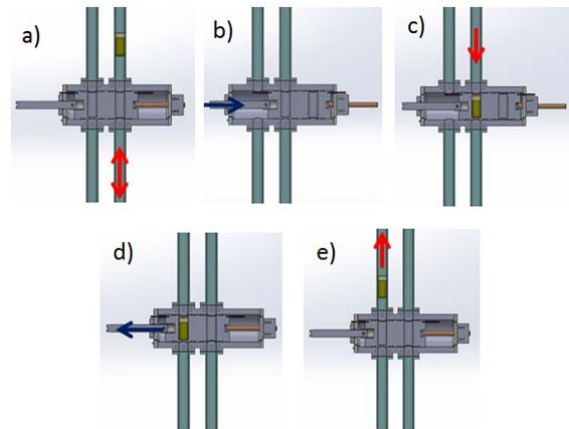


**Figura 3.** Vista superior: Válvula intercambiadora “VI”. Vista inferior: Vista transversal.

Otra característica es la instalación de dos varillas que sirven de guía para el émbolo y así evitar la rotación al interior de la cámara cilíndrica. Estas varillas se deslizan sobre dos rodamientos lineales para evitar el rozamiento.

### 2.1 El modelo I

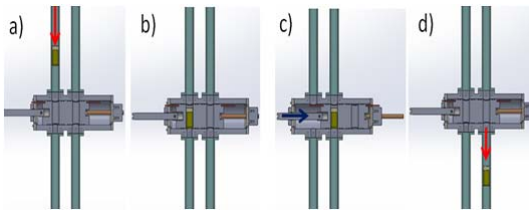
En la Figura 4 se representa el funcionamiento de la válvula intercambiadora Modelo I. a) Posición inicial del émbolo, permite que la cápsula recorra libremente por la misma vía (ida y vuelta) b) describe el cambio de posición del émbolo, para alistar la recepción de la cápsula c) la cápsula al momento de retornar se quedará retenida, debido al diámetro menor de la base de la cámara del émbolo, luego se inicia el cambio de vía d) traslado de la cápsula hacia la otra posición e) inicio del recorrido impulsado por el flujo de aire, el proceso termina cuando la válvula retornara a su posición inicial.



**Figura 4.** Secuencia de funcionamiento de la válvula intercambiadora modelo I.

## 2.2 El modelo II

En la Figura 5 se describe el funcionamiento de este modelo de válvula intercambiadora, a) una sola vía va a estar sometida al flujo de aire en una sola dirección, permitiendo que la cápsula llegue a la válvula intercambiadora. b) la cápsula queda retenida en el émbolo, pero apoyado en la base de la cámara cilíndrica. c) el émbolo traslada la cápsula hacia la otra vía, d) una vez que llegue a esta posición caerá por gravedad hacia el blindaje respectivo. Terminado este proceso la válvula retornará a su posición inicial.



**Figura 5.** Esquema de funcionamiento de la válvula intercambiadora modelo II.

## 2.3 Sistema de envío y retorno directo

Este modo de envío se empleará cuando se requiera análisis inmediato, la muestra encapsulada tiene que ser enviada al reactor y después de irradiarse debe retornar al laboratorio, no es necesario su almacenamiento en el hall del reactor y tendría que esperar que se irradian el grupo de muestras para recién retornar al laboratorio e iniciar su proceso de análisis. Los componentes que intervienen en este proceso son:

- Válvula intercambiadora VI5
- Electroválvula EV1, EV4
- Bomba de vacío
- Sistema de envío – Disco intercambiador DI1
- Sistema de dirección de flujo
- Subsistema del cambio de dirección de flujo DI 1
  - Actuadores A1, A2, A3

Cuando entra en funcionamiento el disco intercambiador DI1, girará para trasladar la primera cápsula al actuador A1 posición de envío, una vez terminado este proceso la bomba de vacío entrará en funcionamiento para generar el flujo de aire para impulsar la cápsula hasta la posición de irradiación, donde la bomba dejará de funcionar por las señales de los sensores que registrarán la posición de la cápsula, en esta etapa solo operan las electroválvulas EV1 y EV4.

Luego, del tiempo de irradiación programado se emitirá la orden de cambio de dirección del sentido de flujo, para eso se energizan las electroválvulas EV 1 y EV 4, la válvula intercambiadora VI5 cambiará de posición y después del encendido de la bomba de vacío, permitirá que la cápsula llegue alojarse en la válvula intercambiadora VI5 en forma sincronizada. En este paso se apagará la bomba y la válvula VI5 y retornará a su posición inicial para entrar en funcionamiento los actuadores lineales A1 y A2 que se encargarán de trasladar la muestra encapsulada al blindaje BL3. Finalizando este proceso para una muestra, el sistema puede volver a repetirse según el número de cápsulas programadas. El tiempo de viaje calculado es de 8.5 segundos, estimando las pérdidas por cambio de dirección e instalación de nuevas electroválvulas. Para el retorno al laboratorio se tendrá que agregar un tiempo aproximado de 7 segundos hasta la derivación al blindaje BL3. El tiempo total que tomará el retorno es de 14 segundos.

## 2.4 Sistema de envío con retorno temporal a hall del reactor para decaimiento

El envío de una muestra es similar al modo anterior descrito, la diferencia se presenta al retorno, la muestra ya irradiada se deriva a un dispositivo de almacenamiento que se encuentra en el hall del reactor. Los componentes que intervienen en este proceso son los siguientes:

- Electroválvulas EV2 y EV3
- Válvulas intercambiadoras VII, VI2, VI3 y VI4
- Bomba de vacío
- Sistema de envío. Disco intercambiador DI1
- Actuador A1
- Disco intercambiador DI2
- Sistema de dirección de flujo

Para cada muestra a ser irradiada se determinará el tiempo que debe exponerse al flujo neutrónico, luego serán colocadas en el disco intercambiador DI1 que se encargará de trasladarla a la línea de envío en combinación con el actuador A1 y posteriormente será impulsada por la bomba de vacío. Después de ser irradiada se activará en primer lugar la válvula intercambiadora VII y después el cambio de dirección del flujo del subsistema

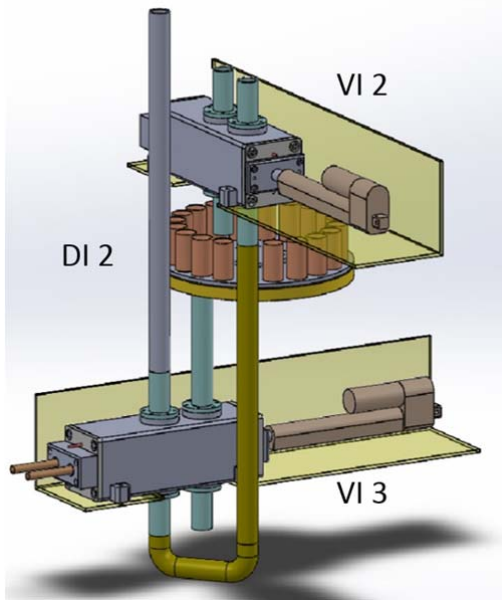
respectivo. Al retornar la muestra será retenida con ayuda de la válvula VI1, luego se apagará la bomba de vacío y la válvula intercambiadora VI1 cambiará de posición para desviar la muestra al blindaje BL1, las electroválvulas EV2 y EV3, la válvula VI2 y el disco intercambiador DI2 funcionaran en forma sincronizada.

Las muestras encapsuladas se ubicarán en el disco intercambiador DI2, donde permanecerán durante un tiempo determinado por el usuario para su decaimiento. Después en forma automática serán enviados al blindaje BL3, que estará ubicada en el Laboratorio N° 29.

### 3. Cálculos y selección de componentes

#### 3.1 Diseño de pistón intercambiador

Para el diseño del pistón intercambiador se tomó en cuenta los parámetros del tamaño de la cápsula que tiene un diámetro 24 mm y una altura 57 mm, esta cápsula debe ser alojada en el émbolo del pistón, otro parámetro que se consideró es la distancia que hay entre los ductos de recorrido que se interconectan entre ellos que es de 65 mm.



**Figura 6.** Disposición para el disco intercambiador DI2 y las válvulas intercambiadoras VI2 y VI3.

#### 3.2 Fabricación y evaluación de actuador lineal

Para el pistón intercambiador se evaluó la carga que necesita para su desplazamiento

que es de  $48 \pm 1$  kg. Esta fuerza contrarresta la fuerza que genera la deformación de los anillos de Nitrilo “orings”. El motor para generar este movimiento es un Actuador Lineal [2] de la marca Firgelli FA-PO- 150-12-6”, entrada de 12 V DC. La carga máxima que debe mover es de 150 lb equivalente a 68 kg (a un 71 % de su capacidad).



**Figura 7.** Fabricación del émbolo del pistón intercambiador.



**Figura 8.** Ensamblaje del émbolo del pistón intercambiador.

#### 3.3 Cálculo del torque disco intercambiador DI 2

Para determinar el torque del disco intercambiador DI2 es necesario calcular el momento de inercia [5,6] mediante la siguiente relación (1).

$$I_{zz} = \sum_i m_i \cdot r_i^2 \quad \dots(1)$$

Donde:

$m_i$  = masa (kg)

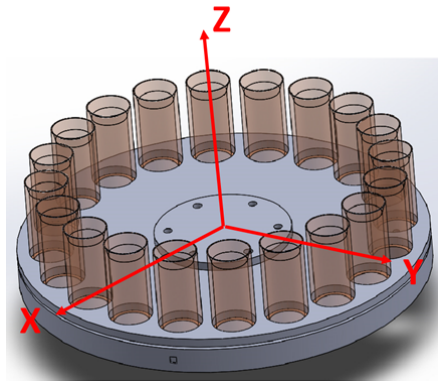
$r_i$  = radio de giro (m)

$i$  = número entero (1,2,3...)

$I$  = momento de inercia (kg.m<sup>2</sup>)

$I_{zz} = 0.0408$  kg.m<sup>2</sup>

Como se observa en la Figura 4, el eje de giro es el mismo centro del disco.



**Figura 9.** Disco intercambiador DI 2.

Los siguientes parámetros de movimiento fueron considerados:

- Velocidad de giro: 0.75 rpm (0.0785 rad/s)
- Ángulo de recorrido 18°.
- Se asumió un recorrido de 3.6° (0.06283 rad) para alcanzar su velocidad de giro y otro 3.6° para detener su movimiento. Solo se va a considerar 7.2° un recorrido a velocidad angular constante.
- Determinación de la aceleración angular para alcanzar la velocidad nominal de 1 rpm.

$$\alpha = \frac{\omega_f^2}{2\theta} \dots (2)$$

Donde:

$\theta$  = Ángulo en radianes

$\omega_f$  = Velocidad angular final en radianes/s

$\alpha$  = Aceleración angular (radianes/s<sup>2</sup>)

Se conoce:

$\theta = 0.0283$  rad y  $\omega_f = 0.0785$  rad/s

Reemplazando los datos en la ecuación (2), se obtiene que la aceleración angular es:

$$\alpha = 0.0491 \text{ radianes/s}^2$$

El tiempo para obtener la velocidad nominal de 0.75 rpm

$$t = \sqrt{\frac{2\theta}{\alpha}} \dots (3)$$

Donde:

$\theta$  = Ángulo en radianes

t = Tiempo (s)

Se tiene los datos t = 1.6 s

En la Figura 10 se muestra la variación de la velocidad en función del tiempo.

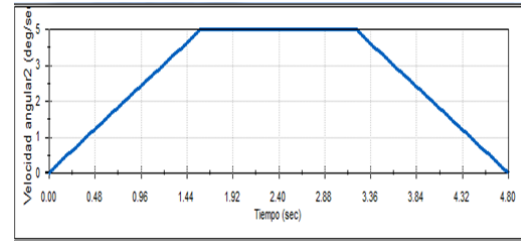
Una vez determinado la aceleración angular se procederá a determinar el torque mínimo

que debe tener el motor paso a paso mediante la fórmula.

$$T = I \cdot \alpha \dots (4)$$

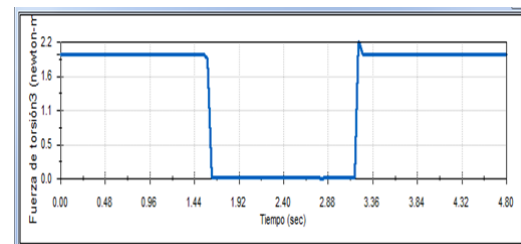
Reemplazando los datos ya obtenidos se tiene:

$$T = 2.006 \text{ N mm}$$



**Figura 10.** Velocidad versus Tiempo.

En la Figura 11 se muestra la simulación en la determinación del torque.

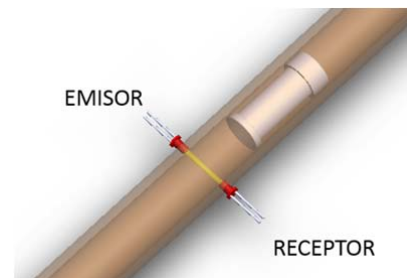


**Figura 11.** Torque del motor en función del tiempo.

El tiempo para recibir la cápsula en el disco intercambiado DI2 es de 4.8 segundos.

### 3.4 Sensores de paso de cápsulas (Automatización)

Para registrar o sensar el paso de la cápsula durante su recorrido por las diferentes zonas, según la Figura 1, es necesario la instalación de sensores infrarrojos en el modo de transmisión (Figura 12) similar a los que se encuentran instalados en proyectos anteriores [7,8].



**Figura 12.** Representación de instalación de sensores.

Estos sensores van conectados a un microcontrolador, su longitud de onda de trabajo está en el rango entre los 760 nm-1000 nm.

En la Figura 12 se observa que cuando pasa el envase de polietileno (transportando la muestra) por el tubo, obstruye el paso del haz de luz (representado de color amarillo) que se encuentra entre el “EMISOR” y “RECEPTOR”, produciendo una perturbación o interrupción de la señal, la cual será registrada por el microcontrolador.

#### 4. Conclusiones

El sistema automático nuevo para el envío de hasta 19 muestras se encuentra en proceso de implementación. Las pruebas de evaluación de la potencia del actuador en las válvulas intercambiadoras VII...VI5 nos indican un consumo de 1.5 amperios con carga y la ficha técnica del motor lineal señala como máximo 5 Amperios de consumo.

Este diseño es propio según nuestros requerimientos ya instalados (tuberías, tamaño de cápsulas) y permitirá disminuir el tiempo de exposición del operador.

#### 5. Bibliografía

[1] Gago J, Mendoza M, Cifuentes E, *et al.* Avances en la construcción del sistema neumático de transporte de muestras para el reactor RP-10. Informe Científico Tecnológico. 2007; 7: 127-132.

[2] Li X, Henkelmann R, Baumgartner F. An automated fast transfer system at the research reactor Munich. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. 2004; 522: 470-476.

[3] Gaheen MA, Shaat MK. Utilization of egyptian research reactor and modes of collaboration. In: IAEA Technical Meeting on Research Reactor Application for Materials under High Neutron Fluence. Vienna: Austria; 17-21 Nov 2008. IAEA-TECDOC-1659. p. 15-20.

[4] Fircelli Automations. [Homepage]. Disponible en: <https://www.fircelliauto.com/products/light-%20duty-rod-actuator#ptab-specifications>

[5] Alonso M, Finn E. Física. Volumen I: Mecánica. México: Fondo Educativo Interamericano S.A.; 1970.

[6] Huang TC. Mecánica para ingenieros. Tomo II. Dinámica. México: Fondo Educativo Interamericano; 1985.

[7] Baltuano O, Gago J, Hernández Y. Desarrollo de control electrónico para el sistema neumático del Laboratorio 29. Informe Científico Tecnológico. 2008; 8: 157-161.

[8] Gago J, Baltuano O, Montoya E, Munive M, Bedregal P, *et al.* Modernización del analizador automático de muestras de uranio “RAPIDURAN”: Primera Parte. Informe Científico Tecnológico. 2008; 8: 169-174.