

Avances en la construcción del sistema neumático de transporte de muestras para el reactor RP-10

Javier Gago*, Mario Mendoza, Ever Cifuentes, Yuri Hernández, Patricia Bedregal, Pablo Mendoza, Oscar Baltuano

Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Lima 41, Perú

Resumen

En el presente trabajo se describe el diseño y construcción de un sistema neumático de transferencia de muestras para su irradiación, en una posición de la grilla del núcleo del reactor, y la aplicación de la técnica de análisis por activación neutrónica. Dicho sistema se ubica en uno de los laboratorios auxiliares y permitirá reducir la exposición del personal a la radiación, así como la automatización del proceso de irradiación. También se presentan los cálculos y pruebas de la estimación del tiempo de recorrido de la muestra encapsulada y los avances en la instalación del sistema.

Abstract

This paper describes the design and construction of a sample pneumatic transfer system to an irradiation position in the core of the RP-10 reactor, for the application of the neutron activation analysis technique. The system is located inside the laboratory and will permit minimize radiation exposure of personnel, as well as, the automation of the irradiation process. The calculations and tests of the estimated time, at which encapsulated samples take from the laboratory to the irradiation position and the progress in installing the system, are also presented.

1. Introducción

Desde la puesta en operación del reactor RP-10, el Departamento de Química, para el envío de muestras al reactor ha empleado un sistema neumático, como la principal vía de irradiación y obtención de radioisótopos con fines analíticos.

El sistema instalado, en un principio, por la Comisión de Energía Atómica de Argentina (CNEA) presentaba fallas técnicas y era de operación compleja. Esto hizo necesario la instalación del sistema Rabbit finlandés (VTT –Finlandia), de diseño simple y funcional, el cual viene operando aceptablemente hasta la fecha.

Sin embargo, el cumplimiento con el sistema de gestión de la calidad, se hace necesario el registro de los datos generados en el proceso de irradiación como evidencia de trazabilidad analítica, labor que actualmente es realizada en forma manual.

Asimismo, es indispensable minimizar la tasa de exposición del personal involucrado disminuyendo el tiempo de manipulación de las muestras y/o fuentes radiactivas en concordancia al concepto establecido por ALARA (utilizar una dosis tan baja como

razonablemente sea posible, concepto establecido por ICRP en 1965).

Con la finalidad de implementar mejoras en el proceso de irradiación, se elaboró un proyecto interno multidisciplinario que involucra la construcción de un sistema neumático de transferencia rápida de muestras con un alto nivel de automatización y control digital de la información adquirida; considerando además, los aspectos de protección y seguridad radiológica.

Este reporte, detalla, el diseño y desarrollo estructural de la parte electromecánica del nuevo sistema neumático.

El transporte neumático es un sistema mecánico para el traslado de muestras encapsuladas, de un lugar a otro en un tiempo menor y de forma segura. Los puntos importantes se describen a continuación:

- Une ambientes críticos: como es el núcleo de irradiación y el laboratorio para su respectivo análisis.
- Tiene una gran flexibilidad: admite cualquier configuración, distancia o definición del sistema.

* Correspondencia autor: jgago@ipen.gob.pe

- Disminuye significativamente el tiempo de manipulación de las muestras irradiadas reduciendo la tasa de exposición del personal involucrado.

2. Descripción del Sistema Neumático

2.1 Sistema mecánico

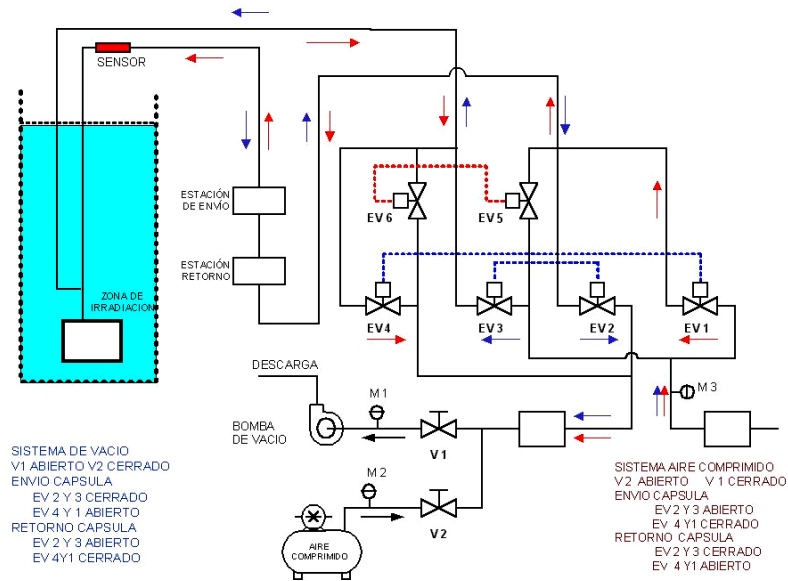


Figura 1: Representación esquemática del sistema neumático.

2.1.1 Cabezal de irradiación

Es la parte que irá sumergida en el tanque del reactor, esta compuesta por tubos de aluminio de código 1070 (pureza de 99.70 de Al) para evitar la activación de otros elementos metálicos y requieran un mayor tiempo de decaimiento. Esta estructura está conformada por tubos de aluminio de 32 mm de diámetro exterior y de 26 mm diámetro interior. La parte inferior denominado cabezal, es la sección alojada en la caja de irradiación, y es también donde la cápsula reposa en la parte interna de la tubería, posee un diámetro de 60 mm y zona donde convergen las dos tuberías de menor diámetro, mencionadas anteriormente.

2.1.2 Sistemas de electroválvulas

El control de envío de ensayos se basa en un conjunto de válvulas solenoides como se observa en la figura 1 y 2, el flujo de transporte es el aire generada por una bomba de vacío.

Además cuenta con una variante en caso de emergencia, para poder trabajar con aire

Es la encargada del soporte y medio por donde se transporta una muestra encapsulada. El mecanismo que posibilita el envío y retorno de la cápsula, esta gobernada por las válvulas controladas electrónicamente, llamadas válvulas solenoide o electroválvulas como se observa en la Figura 1:

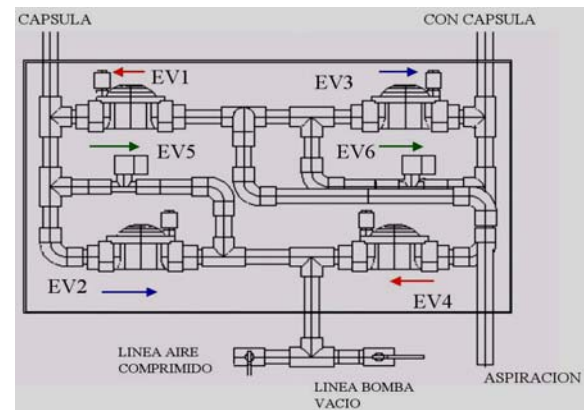


Figura 2: Representación pictográfica del sistema de electroválvulas.

comprimido. Posteriormente, este sistema será automatizado para un control programable.

2.1.3 Instalación de tuberías para transporte de muestras

Transporte neumático de la muestra desde el laboratorio N° 29 del Departamento de Química hacia el Reactor (Figura 3).

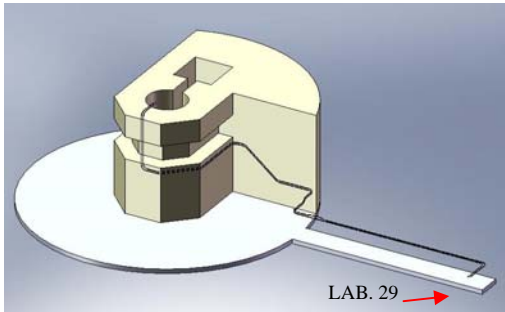


Figura 3: Recorrido de las tuberías del sistema neumático desde Nivel 11 m del reactor hasta el laboratorio N° 29.

2.2 Sistema de control eléctrico

Este sistema de control va orientado al orden de funcionamiento de las electro-válvulas, que hacen cambiar la dirección del flujo de aire (o gas inerte) según requerimiento, para el envío de muestras desde el laboratorio hasta la zona de irradiación y retorno de las mismas.

2.2.1 Diagrama Espacio – Tiempo[1]

Posee 6 electro-válvulas ensambladas de tal manera que, 4 de ellas están agrupadas de dos en dos, tienen la función de cambiar la dirección de recorrido del flujo de aire.

Para la acción de envío están destinadas las aperturas de las electro válvulas EV 1 y 4. Para retorno se activan la apertura de las electro válvulas EV 2 y 3. Para el registro del paso de la cápsula, antes de llegar a la celda de irradiación o retorno a la campana extractora del laboratorio, están destinadas las electro válvulas EV 5 y 6 que permitirán el ingreso de aire en sentido contrario a la dirección del flujo inicial, de tal manera que atenuará la velocidad de la cápsula al llegar a su destino. Asimismo, simultáneamente se apagará el sistema una vez registrado el envío o retorno de la muestra.

2.2.2 Diseño del tablero de control eléctrico

El sistema de componentes eléctricos es ineludible para todo el sistema neumático. Además, es la base para ser adaptado a cualquier tipo de control automático computarizado.

Este sistema eléctrico consta de un tablero de control y permite realizar manualmente el envío y retorno de la muestra, en casos que no se encuentre funcionando el sistema de control automático o se requiera un trabajo especial.



Figura 4: Diagrama espacio - tiempo sobre apertura y cierre de las electroválvulas.

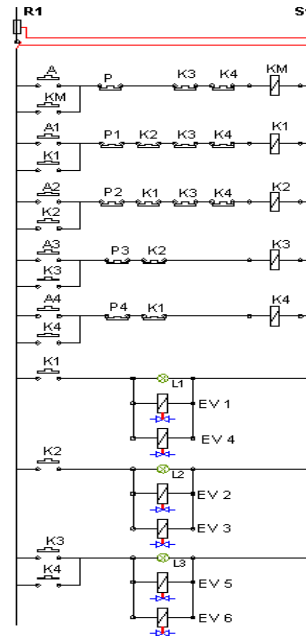


Figura 5: Esquema eléctrico del control de mando.

2.3 Sistema de control automático

El sistema eléctrico mecánico es controlado desde una computadora, donde se programará el intervalo de tiempo en que la muestra deberá permanecer en el sistema de irradiación. Adicionalmente, el sistema indicará el paso de la muestra por diferentes zonas de la tubería y medir la tasa de dosis con que retorna al laboratorio. Para ello es necesario, contar con un sistema electrónico que pueda controlar y hacer las interfases entre los diferentes componentes a controlar y medir.

3. Cálculos

Para este sistema neumático es necesario realizar los cálculos y estimar los parámetros de tiempo de envío, caudal del fluido,

presión, etc. y así, dimensionar y conocer los rangos de trabajo del sistema.

3.1 Cálculo de la fuerza de empuje

Se tiene como dato la presión con que trabaja la bomba de vacío. Manteniendo cerrado herméticamente el sistema de tuberías y válvulas debe alcanzar la presión de 0.022 psi. El trabajo de la bomba es generar una presión negativa respecto a la atmósfera (14.7 psi), pero en nuestro sistema funciona en el modo de circuito abierto, es decir no es hermético. A continuación se tiene una tabla de las diferencias de presiones que se generaría por variación de la instalación (pérdidas por presión, longitud de tubería, codos, válvulas). La presión existente genera una fuerza sobre el área de la cápsula según la siguiente relación:

$$P = \frac{F}{A}, \quad F = P * A \quad \dots\dots\dots (1)$$

El valor del área es:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * (2.6)^2}{4} = 5.31 \text{ cm}^2$$

Variando la presión se tiene la fuerza de empuje que podría desplazar. Se tiene el peso de la cápsula que oscila entre 12.5 y 16.5 gr. Estas cápsulas pueden ser transportadas con diferencias de presiones de 1400 kg.m⁻² (2 psi).

3.2 Caracterización del flujo (Número Reynolds)

Es un número adimensional que se obtiene como resultado de relacionar características del fluido, ducto y flujo. Es ampliamente utilizado en todos los campos de la mecánica de fluidos y también se usa para identificar los tres regímenes de flujo presentes en la inmensa mayoría de los procesos industriales.

Una propiedad notable de este número es que, con prescindencia de los valores que adopten cada una de las magnitudes intervinientes en su formulación, un determinado valor de Re indica un tipo de Régimen de Flujo[2,3]. Esto se define como:

$$Re = D.v. \frac{\rho}{\eta} \quad \dots\dots\dots (2)$$

donde:

D: Dimensión geométrica representativa de la sección del conducto (2.6 cm).

v: velocidad media del fluido que circula (25.1 m.s⁻¹).

ρ: Densidad del fluido en las condiciones de flujo (1.22x10⁻³ gr.cm⁻³, a 20 °C, 1 Atm).

η: Viscosidad absoluta o dinámica del fluido que circula. (1.73e-4 g.cm⁻¹s⁻¹).

Reemplazando datos, se obtiene:

$$Re = 44918 \quad \dots\dots\dots (3)$$

Con este valor se determina que el flujo es turbulento. Este tipo de flujo se caracteriza por trayectorias circulares erráticas, semejantes a remolinos. El flujo turbulento ocurre cuando las velocidades de flujo son generalmente muy altas o en fluidos en los que las fuerzas viscosas son muy pequeñas.

3.3 Pérdida de presión en electro válvulas

Para establecer el caudal de un fluido que pasa a través de una válvula a determinadas condiciones de presión diferencial, temperatura, densidad, viscosidad, etc. hay fórmulas, gráficos y tablas que se basan en el coeficiente de flujo de la válvula.

El valor se establece en forma experimental y se distingue como coeficiente de flujo “Kv” para el sistema métrico y como “Cv” para las medidas inglesas. Los cálculos son válidos solamente para la válvula totalmente abierta.

El coeficiente de flujo Kv es el caudal de agua en m³.h⁻¹ a temperatura normal que pasa a través de una válvula con una caída de presión de 1 bar. (Estos datos técnicos vienen indicados por fábrica).

Equivalencias.

$$Kv = 1 Cv = 1,17$$

Cálculo del Kv de dos o más válvulas.

- 2 o más válvulas iguales o de distintos tamaños dispuestas en serie:

$$\left(\frac{1}{Kv_t} \right)^2 = \left(\frac{1}{Kv_1} \right)^2 + \left(\frac{1}{Kv_2} \right)^2 + \dots \quad \dots\dots (4)$$

- 2 o más válvulas iguales o de distintos tamaños dispuestas en paralelo:

$$Kv_t = Kv_1 + Kv_2 + Kv_3 + \dots \quad \dots\dots (5)$$

Como dato se tiene Cv= 43[4] por lo tanto en Kv=36.679. El sistema de electro válvulas esta dispuesta en serie y agrupadas de dos en

dos, por lo tanto se aplicará la ecuación 4, para este caso:

$$\left(\frac{1}{Kv_t}\right)^2 = \left(\frac{1}{36.679}\right)^2 + \left(\frac{1}{36.679}\right)^2$$

$$Kv_t = 25.94 \quad \dots\dots (6)$$

Aplicando las siguientes relaciones:

$$\Delta P = \frac{P_1}{2} - \sqrt{\frac{P_1^2}{4} - C} \quad \dots\dots (7)$$

$$C = \delta_n \cdot T \cdot \left(\frac{Q}{500 \cdot Kv}\right)^2 \quad \dots\dots (8)$$

Donde

- ΔP : Caída de presión (Bar)
- P_1 : Presión aguas arriba (Bar)
- δ_n : Densidad relativa al aire en condiciones normales
- T : Temperatura en °K
- Q : Caudal (m³/h)
- Kv : Coeficiente de flujo (m³/h)

Con los datos complementarios de:

$$P_1 = 0.98 \text{ bar}, \quad T = 20^\circ\text{C},$$

$$Kv = 25.94 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}, \quad \delta_n = 1$$

Se obtiene la siguiente caída de presión en el sistema de válvulas según el recorrido del flujo de aire.

$$\Delta P = h_{f1} = 0.003 \text{ bar} = 28.3 \text{ kg/m}^2$$

Expresado en metros de aire:

$$h_{f1} = 28.3 \text{ m} \quad \dots\dots (9)$$

3.4 Caída de presión por longitud de tubería

Es necesario tomar en cuenta las pérdidas de energía por la fricción que se produce entre las paredes de las tuberías o de los diferentes accesorios que conforman un determinado equipo.

Ecuación General del movimiento de Fluidos: el comportamiento de un fluido en tuberías siempre esta acompañado del rozamiento de las partículas del fluido entre si, y consecuentemente, por la perdida de energía disponible, es decir, hay una pérdida de presión en el sentido del flujo.

La Fórmula de Darcy-Weisbach [2] es la fórmula básica para el cálculo de las pérdidas de carga en las tuberías y conductos. La ecuación es la siguiente:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (10)$$

y para flujo turbulento según Blasius[2]:

$$f = \frac{0.316}{Re^{0.25}} \quad \dots\dots\dots (11)$$

Donde h_f es la pérdida de energía en la tubería

L: longitud de la tubería

D: Diámetro interior

V: Velocidad mediale Fluido

f: Coeficiente de rozamiento

g: Gravedad terrestre 9.81 m.s⁻²

Reemplazando datos (Re= 44918), se tiene:

$$f = 0.0217 \text{ m} \quad \dots\dots (12)$$

La pérdida de presión por longitud de tubería es:

$$h_f = 0.0217 \cdot \frac{165}{0.026} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot 9.8} \quad \dots\dots (13)$$

Para este caso sería la segunda pérdida de presión en función de la velocidad:

$$h_f = hf_2 = 7.026 \cdot V^2 \quad \dots\dots\dots (14)$$

3.5 Tiempo de transporte de la cápsula

Para determinar el tiempo en que se desplaza la cápsula en la tubería de polietileno, se utilizará como dato el caudal de la bomba de vacío, donde se indica el volumen de aire que desaloja por unidad de tiempo según la siguiente relación:

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{tiempo}} \quad \dots\dots\dots (15)$$

Q: Caudal de la bomba de vacío su valor es:

$$48 \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \left(0.0133 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

El volumen que debe desalojar la bomba de vacío es la que ocupa la tubería y tiene una longitud de 165 m aproximadamente y la sección correspondiente al diámetro interno de 26 mm es $5.31 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

Por tanto el tiempo que tarda en desalojar todo este volumen de aire reemplazando en la ecuación (14):

$$\frac{5.31 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times 165 \text{ m}}{t} = 0.0133 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$t = 6.59 \text{ s} \quad \dots\dots\dots (16)$$

Este valor sería para un recorrido libre de obstáculos (válvulas, codos, curvas, desniveles rozamiento, etc.) la velocidad con que se desplazaría la cápsula sería 25.1 m/s. Para este caso la explicación de los cambios de presión y caudal se basan en la ecuación de Bernuolli, que representa un balance de fuerzas sobre una partícula de fluido que se mueve a través de una línea de corriente, mientras que la primera ley de la termodinámica consiste en un balance de energía entre los límites de un *volumen de control*[2,3]. Dado que es más general y permite expresar los intercambios energéticos a lo largo de una corriente de fluido, como son las pérdidas por fricción que restan energía y las bombas o ventiladores que suman energía al fluido. La forma general para representar este fenómeno se expresa en la siguiente ecuación[2,5]:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_f \dots (17)$$

Se tiene los siguientes datos:

$P_1 = 7171.31 \text{ kg.m}^{-2}$ (valor absoluto obtenido a la salida de bomba), $V_1: 25.1 \text{ m.s}^{-1}$, $Z_1: 0 \text{ m}$, $P_2 = 10335.12 \text{ kg.m}^{-2}$, $Z_2: 1.3 \text{ m}$, $h_f: h_{f1}+h_{f2}$, obtenidas por las ecuaciones (9) y (14).

Reemplazando estos datos en la ecuación (17) se obtiene:

$$V_2 = 19.35 \text{ m.s}^{-1} \quad \dots\dots\dots (18)$$

Por lo tanto, se estima que la velocidad inicial se reduce en un 77%. El tiempo de envío sería 8.5 segundos.

En un ensayo experimental se estableció una longitud de 100 m para el recorrido de la cápsula, resultando un tiempo de 4.5 segundos, este ensayo presenta una eficiencia de un 88 % sin considerar las pérdidas. Por lo tanto, se estima que con el sistema instalado se puede tener una eficiencia de un 75 %.

4. Desarrollo de Actividades

- Retiro de tuberías de pvc y válvulas de control.
- Retiro de cableado y sensores eléctricos.
- Instalación de tuberías polietileno.
- Construcción e instalación del sistema de electro válvulas.
- Adaptación de accesorio de acero inoxidable para la recepción y envío de la cápsula.

5. Conclusiones

- Se ha calculado un tiempo de 8.5 segundos para el envío o retorno de una muestra encapsulada.
- Se proyecta una eficiencia del 75%, esto va influir aumentando el tiempo de transporte de la cápsula.
- El sistema va tener la función para poder ser adaptado y operar con bomba de vacío o con aire comprimido, para casos de ventilación o emergencia.
- Se ha seleccionado electroválvulas con un Cv que produce una pérdida de presión de 28.3 kg/m², este valor se reduciría al seleccionar electroválvulas de compuertas esféricas pero de costo relativamente alto para el presupuesto disponible.

6. Agradecimientos

A la Ing. Blanca Torres, Lic. Marco Ubillús, Ing. Rolando Arrieta, Ing. Rodión Santiváñez, Ing. Agustín Urcia, por el apoyo en la gestión para el desarrollo de este proyecto.

7. Bibliografía

[1] Carrobles M, Rodríguez F. Manual de Mecánica Industrial II Neumática e Hidráulica. Edición 2002, España.
 [2] Streeter VL. Mecánica de los Fluidos, 4º Edición 747.
 [3] Burghardt MD. Ingeniería Termodinámica. 2º Edición México, 1984.
 [4] Información técnica de Válvulas "ASCO" proporcionado por ABLCORP S.A. Lima Perú.
 [5] Miranda O, Campos D. Problemas de Mecánica de Fluidos e Hidráulica. CONCYTEC. Lima Perú, 1988.