

## Desarrollo de control electrónico para el sistema neumático del Laboratorio 29

Oscar Baltuano\*, Javier Gago, Yuri Hernández

Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear,  
Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

### Resumen

Un módulo electrónico para el control del sistema neumático, recientemente instalado en el Laboratorio 29 del reactor RP-10, ha sido desarrollado íntegramente en el Laboratorio de Desarrollo Electrónico del centro nuclear de Huarangal. Este módulo está basado en la misma arquitectura usada en el sistema neumático "Rabbit" pero se le han incluido nuevas capacidades, un control más preciso de las operaciones de envío/retorno, así como una interface a una red CAN (Controller Area Network).

### Abstract

An electronic module for controlling the pneumatic system, which recently has completed its installation in the Laboratory 29 of RP-10 reactor, has been developed at the Electronic Development Laboratory of Huarangal Nuclear Center. This module is based on the same architecture used in the "Rabbit" pneumatic system but new capabilities have been included, such as, a more precise control of the send/return operations and a CAN interface (Controller Area Network).

### 1. Introducción

El reactor RP-10 desde su puesta en operación está equipado con diversos sistemas que permiten el uso de las facilidades tanto internas como externas al núcleo del reactor. Una de ellas es el sistema de transporte de muestras desde el laboratorio 29, instalado inicialmente por la Comisión de Energía Atómica (CNEA) de Argentina. Debido a su complejidad, en un inicio, estaba conectado con facilidades similares en la Planta de Producción de Radioisótopos (PPR). Este sistema no llegó a ser ampliamente utilizado y fue reemplazado poco tiempo después, por el Sistema Neumático Finlandés Rabbit, mucho más compacto y autónomo, y por tanto más confiable.

Aspectos de seguridad radiológica por parte de los usuarios de los sistemas neumáticos de envío de muestras, hicieron necesario el replanteamiento de la utilización del sistema neumático de procedencia argentina que operaba desde el laboratorio 29. Sin embargo, debido a su complicado diseño y operación, se optó por el diseño y construcción de un nuevo sistema en reemplazo del sistema argentino, utilizando la filosofía de operación simple y autonomía del sistema finlandés. Este nuevo sistema incluyó el montaje y la

instalación de 6 electroválvulas en configuración puente (Figura 1) y una bomba de vacío, la instalación de las mangueras para el transporte de las muestras y el montaje de un tablero eléctrico para el control manual de la secuencia de operación [1].

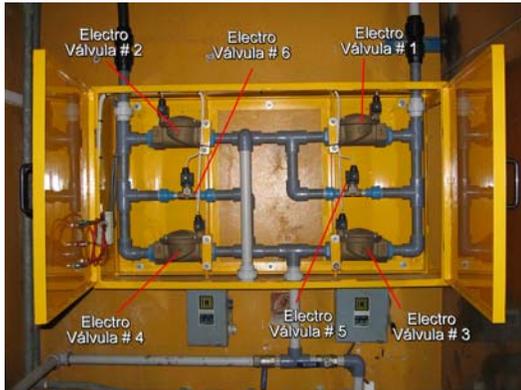
Recientemente, se finalizó el montaje de todos los elementos anteriores y una vez verificada la adecuada operación, usando el tablero manual, se hizo evidente la necesidad de contar con un control totalmente electrónico para automatizar las tareas de envío/retorno de muestras.

Se utilizó la experiencia ganada en el desarrollo del control electrónico para el sistema finlandés "Rabbit" [2] para el diseño de un equipo similar pero adaptado a las necesidades de este nuevo sistema neumático; incluyéndole además, mayores prestaciones de cara al usuario, mejores niveles de seguridad durante la operación y fundamentalmente la posibilidad de interconectarse en el futuro a la Red Integrada de Control y Comunicación de Instrumentos Analíticos (RICCIA) [3], proyecto en proceso de ejecución y que se basa en la interconexión de los instrumentos analíticos a través de microcontroladores

---

\* Correspondencia autor: obaltuano@ipen.gob.pe

comunicándose sobre una red CAN (Controller Area Network) [6].



**Figura 1.** Primer plano de las electroválvulas neumáticas instaladas en configuración puente.

## 2. Diseño Electrónico

### 2.1 Consideraciones de diseño

Dentro de los requerimientos usuales se tuvieron en cuenta los necesarios para brindar escalabilidad, facilidad de uso, facilidad de actualización, confiabilidad y comunicación remota. Se han considerado; un teclado matricial para programación y operación, un módulo LCD de 20 x 4 caracteres para visualización de mensajes, un módulo CAN para comunicación, el uso de 3 sensores ópticos para monitorear el recorrido de la muestra en todo el trayecto y un modo de funcionamiento adicional denominado “batch”, para centralizar la operación del sistema en una computadora maestra y sincronizar las tareas con el resto de instrumentos analíticos.

La secuencia de operación de las electroválvulas, la bomba de vacío y demás componentes ya fue establecida durante el proceso de diseño de las etapas neumáticas [1], por tal razón esta información es la que determinó el funcionamiento de la máquina secuencial.

### 2.2 Secuencia de funcionamiento de electroválvulas

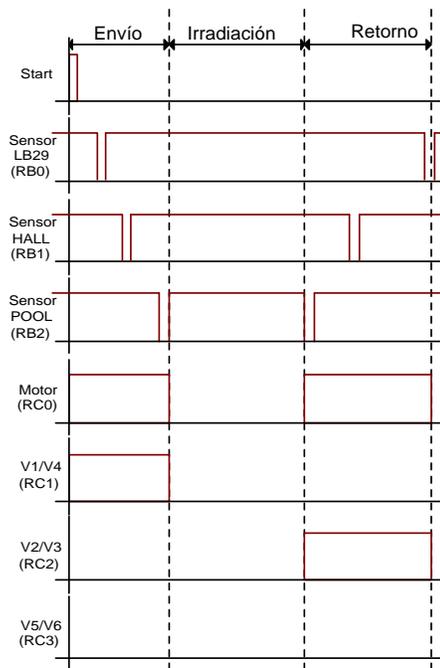
El sistema neumático de válvulas es muy similar al utilizado en el sistema “Rabbit”. 4 electroválvulas en configuración puente permiten cambiar la dirección del flujo de aire. Dos válvulas más pequeñas controlan el caudal de aire para permitir modificar la

velocidad con que se trasladan las muestras por las tuberías. La Tabla 1 resume la operación de estas válvulas.

**Tabla 1.** Descripción de electroválvulas.

#	Descripción
EV1, EV4	Envío de muestra
EV2, EV3	Retorno de muestra
EV5, EV6	Control de flujo de aire

El control de las electroválvulas se realiza mediante 3 relays de baja corriente instalados en el gabinete del control electrónico. El uso de relays de baja corriente, es posible debido a que las válvulas operan directamente con 220VAC, lo que permite que el consumo de corriente esté por debajo de 100 mA.



**Figura 2.** Secuencia de operación simplificada para funcionamiento en modo automático.

La bomba de vacío opera con un motor trifásico accionado por un contactor electromecánico que a su vez es controlado mediante un relay de baja corriente en el gabinete del control electrónico.

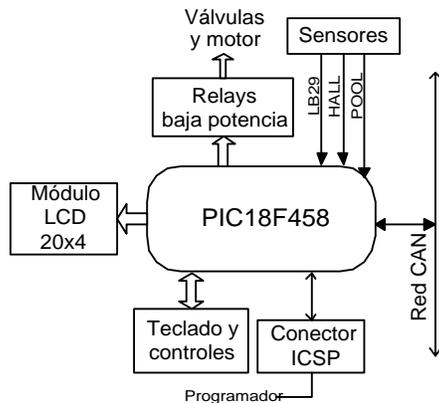
El seguimiento de la muestra a través de la tubería de transporte se realiza mediante 3 sensores ópticos instalados en la manguera principal, denominados LB29, cerca de la estación de envío de muestras; HALL, en la sala experimental del RP-10 y POOL, en boca de tanque del reactor.

Excepto por EV5 y EV6 que tienen lógica invertida y los 3 sensores para el seguimiento de la muestra, el funcionamiento es idéntico al del sistema finlandés Rabbit [2]. La Figura 2 es una representación simplificada de la lógica de operación.

### 2.3 Ingeniería básica

Las consideraciones de diseño son similares a [2], sin embargo fue necesario realizar algunas modificaciones importantes.

Previendo la conexión de este sistema a la red de instrumentos analíticos, se cambió el módulo LCD, por uno de 20 caracteres x 4 líneas que permite visualizar mayor cantidad de información. Se mantuvo el teclado matricial de 4x4 para la configuración y se adicionaron algunos botones para incluir nuevas funcionalidades.



**Figura 3.** Diagrama de bloques del control electrónico.

Un juego de 4 relays de baja corriente y 12VCC instalados directamente sobre la tarjeta de impreso son utilizados para controlar las electroválvulas y el contactor que activa/desactiva la bomba de vacío, todos operando a 220VAC.

La modificación más importante y que requirió cambiar totalmente el firmware fue el uso de un microcontrolador PIC18F458 [5]. Esto debido a la necesidad de una mayor potencia de cálculo y la inclusión de un módulo CAN que este tipo de dispositivo ya posee de forma integrada (Figura 3).

Aún cuando no se encuentran totalmente definidas las características de la red CAN, considerando la distancia máxima del cable de comunicación que será utilizado (300 m) y de acuerdo a las especificaciones del estándar

CAN, para esta longitud de cable se estableció una tasa de transferencia de datos de 100 kbps. Información que es necesaria para establecer los parámetros de comunicación de la red y por lo tanto de funcionamiento del microcontrolador.

Finalmente, se previó dotar al módulo de control electrónico de un conector para realizar la programación del microcontrolador mediante ICSP. Esto con la finalidad de no retirar frecuentemente el chip durante los procesos de grabación del firmware. Esto permite grabar el chip directamente en la tarjeta de impreso, sin necesidad de abrir el gabinete.

### 2.4 Firmware

El programa para el microcontrolador ha sido escrito en lenguaje C, utilizando el compilador MPLAB C18 e integrado dentro del entorno de desarrollo MPLAB IDE de Microchip. El módulo LCD ha sido configurado para operar en modo de 4 bits con retardos de software para la temporización. La tasa de transferencia para la interface CAN ha sido establecida en 100 kbps. La unidad puede ser operada de forma remota a través del módulo CAN sin embargo la implementación de todas las funciones de control remoto están por implementarse luego de establecer el protocolo sobre el cual operará la red CAN.

Las funciones de configuración se hacen a través del teclado matricial. En este punto, la unidad se encuentra totalmente operativa para funcionar en modo *stand-alone*.

El fabricante del microcontrolador proporciona una utilidad denominada Microchip Application Maestro, con la cual se generan los archivos fuente y de cabeceras para la configuración y utilización de diversas funciones del dispositivo. Se utilizó en esta aplicación, las librerías “XLCD for C Language” Rev. 1.0 y “CAN driver (Interrupt Driven) for C” Rev. 1.1. La librería XLCD configura el módulo LCD para operar en modo de 4 bits y retardo de software para la temporización. La librería CAN configura las rutinas de servicio para operar por interrupción y con los parámetros mostrados en la Tabla 2.

Las rutinas de acceso a la EEPROM han sido elaboradas de forma independientemente a

partir de las especificaciones del fabricante. El modo de operación normal permite identificadores de 11 bits, con lo cual se pueden configurar hasta 2048 mensajes correctamente priorizados.

Se utiliza un cristal de 16 MHz, que proporciona 4 MIPS (mega instrucciones por segundo). Con este valor y considerando los valores de la Tabla 2, se obtienen una velocidad de transferencia de 100 kbps.

Del mismo modo que [2], se utilizan dos tipos de temporizaciones: las de software para el control del LCD, el teclado, el acceso a la EEPROM entre otras; y la temporización de hardware utilizando el TIMER1 del microcontrolador. Esto permite que el funcionamiento de la máquina secuencial no se vea bloqueado al realizar una temporización, como por ejemplo durante el período de irradiación. El TIMER1, adecuadamente configurado, proporciona una exactitud de 99.98% en la medición del tiempo. Valor que satisface holgadamente los requerimientos del usuario.

El funcionamiento durante la operación de envío/irradiación/retorno está basado en una máquina secuencial en la cual cada estado configura los relays, verifica los sensores correspondientes y proporciona los retardos necesarios. Cuando el sistema no se encuentra en operación de envío/irradiación/retorno se puede acceder al menú de configuración, el cual permite modificar los siguientes parámetros:

- a. *Modo de funcionamiento:*  
Automático, Manual, Batch(lotes)
- b. *Sensores ópticos:*  
Habilitados, Deshabilitados
- c. *Tiempo de irradiación:*  
Mín: 10 seg, Máx: 6500 seg.
- d. *Tiempo de envío máximo I*  
Mín: 10 seg. Máx: 60 seg.
- e. *Tiempo de envío máximo II*  
Mín: 10 seg. Máx: 60 seg.
- f. *Tiempo de envío máximo III*  
Mín: 10 seg. Máx: 60 seg.
- g. *Tiempo de retorno máximo I:*  
Mín: 10 seg. Máx: 60 seg.
- h. *Tiempo de retorno máximo II:*  
Mín: 10 seg. Máx: 60 seg.
- i. *Tiempo de retorno máximo III:*  
Mín: 10 seg. Máx: 60 seg.
- j. *Módulo CAN:*  
Habilitado, Deshabilitado

Puede observarse que tanto el tiempo total de envío y retorno ha sido dividido en 3 tramos distintos, los cuales corresponden a los 3 tramos en los que divide el trayecto los 3 sensores ópticos (LB29, HALL, POOL). Esto permite ubicar la muestra en algunos de los tres intervalos.

Para mayor información y detalle sobre el funcionamiento del equipo, refiérase al Manual de Operación y Mantenimiento [1] del mismo.

**Tabla 2.** Parámetros para operación del módulo CAN interno del controlador.

<i>Parámetro CAN</i>	<i>Valor</i>
Baud Rate Prescaler	8
Synchronized Jump Time	1 x Tq
Number of samples	1
Propagation Time	2 x Tq
Phase Segment 1	3 x Tq
Phase Segment 2	4 x Tq
Mode Operation	Normal

### 3. Puesta en Operación, Resultados y Discusión

El montaje de todo el sistema electrónico se realizó dentro de una caja o gabinete de acrílico sobre el cual se instalaron los componentes externos (Figura 4).

Durante las pruebas preliminares se observó que las válvulas EV5 y EV6 no cambiaban significativamente los tiempos de envío y retorno. Y debido a que el flujo de aire no representaba riesgo de rotura de las cápsulas porta muestras, se optó por no utilizar dichas válvulas como puede observarse en la Figura 2. Por otro lado, la secuencia de envío se habilita en 3 intervalos que van secuenciándose conforme la muestra es detectada en el sensor correspondiente; y finaliza cuando la muestra se detecta en el sensor óptico de boca de tanque (POOL). En caso de no detectarse la muestra en alguno de los intervalos, éste se prolonga hasta el valor que haya sido programado en el menú de configuración: *Tiempo de envío máximo I, II ó III* según corresponda. La secuencia de retorno tiene idéntica operación que en sentido inverso y se prolonga hasta que la muestra es detectada en el sensor LB29.

Durante la operación se observó ocasionalmente la reinicialización del microcontrolador, producto de los picos de

corriente inversos que se producen al desactivar cargas inductivas considerables. Se procedió entonces a instalar redes Snubber [7] en los contactos de los relays de baja potencia que controlan las válvulas. No fue necesaria una red similar en el relay que controla el contactor electromecánico que activa el motor de la bomba de vacío.

Finalmente, se registraron en promedio, tiempos de envío o retorno de 8 segundos. Pequeñas diferencias se observan dependiendo de las condiciones previas que se encuentran antes de la operación del sistema.

#### 4. Conclusiones

El módulo desarrollado ha cumplido con todas las especificaciones de diseño y las necesidades de los usuarios. Esto ha permitido poner en operación el sistema neumático cumpliendo mayores estándares de calidad y seguridad; lo que ha demostrado la capacidad de desarrollo e innovación que se tiene disponible.

La posibilidad de conectar el módulo electrónico a la red CAN para operar de forma remota le da un valor agregado particularmente importante, al facilitar el modo de trabajo por lotes.



**Figura 4.** Módulo de control electrónico a la izquierda y tablero para pruebas manuales a la derecha.

#### 5. Agradecimientos

Al personal de los Laboratorios de Química Analítica: Lic. Pablo Mendoza, Lic. Marco Ubillus, Lic. Patricia Bedregal, Lic. Eduardo Montoya, por su colaboración y aporte en calidad de usuarios finales. Al Ing. Mario Mendoza por su apoyo en las tareas de montaje del gabinete.

#### 6. Bibliografía

- [1] Gago J, Mendoza M, Cifuentes E, Hernández Y, Bedregal P, Mendoza P, Baltuano O. Avances en la construcción del sistema neumático de transporte de muestras para el reactor RP-10. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico y Tecnológico 2007. Lima: Perú; 2008. p. 127-132.
- [2] Baltuano O, Gago J. Modernización Electrónica del Sistema Neumático Finlandés Rabbit. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico y Tecnológico 2008. Lima: Perú [En prensa].
- [3] Baltuano O, Montoya E. Propuesta Técnica para Implementación de una Red Integrada de Control y Comunicación de Instrumentos Analíticos (RICCIA). [Informe Interno]. Lima: Perú; 2008.
- [4] Baltuano O. Manual de Operación y Mantenimiento de Módulo de Control Electrónico para el Sistema Neumático del Laboratorio 29. IPEN. [Reporte Interno].
- [5] Microchip Inc. PIC18FXX8 Data Sheet. USA. 2006.
- [6] Robert Bosch GMBH. CAN Specification. Stuttgart, 1991.
- [7] Todd P. Snubber Circuits: Theory, Design and Application. Seminar Manual SEM-900. 1993.