

Modernización electrónica del sistema neumático finlandés “Rabbit”

Oscar Baltuano*, Javier Gago

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

Resumen

Se describe el desarrollo de un nuevo módulo electrónico para el control del sistema neumático Finlandés “Rabbit”, utilizado rutinariamente para el envío de muestras al núcleo del reactor RP-10. El control electrónico analógico original es bastante antiguo y los repuestos son difíciles de obtener. Por esta razón, el sistema frecuentemente se encontraba fuera de operación. Un nuevo sistema de control electrónico, totalmente digital ha sido desarrollado en el Laboratorio de Desarrollo Electrónico del Centro Nuclear de Huarangal. Este sistema es configurable, confiable y más fácil de usar. Se muestran aquí los detalles de diseño, consideraciones de operación y sus resultados.

Abstract

This paper describes the development of a new electronic module for control of the Finnish pneumatic system “Rabbit”, which usually use to send samples to RP-10 reactor core. The original analog electronic control is very old and replacement parts are very hard to obtain. Because of this, the system frequently was inoperative. A new electronic control system, fully digital, has been developed in the Electronic Development Laboratory of Huarangal Nuclear Center. This system is configurable, reliable and easier to use. Design details, operating considerations and its results are shown here.

1. Introducción

El sistema neumático finlandés “Rabbit” forma parte de los diversos equipos que se disponen para la utilización del reactor RP-10. Fue fabricado en el Reactor Laboratory del Technical Research Centre of Finland (TVV) y se adquirió en la década de los años 80 con la finalidad de facilitar el envío de muestras para ser irradiadas en el núcleo del reactor. Este sistema está formado por la unidad neumática que incluye una compresora, un conjunto de electroválvulas y los sistemas eléctricos (transformadores y relays de alta potencia) necesarios para su control, todo ello dentro de un gabinete cerrado (Figura 1). También dispone de un módulo electrónico, el cual realiza el control del sistema neumático para el envío y/o retorno de las muestras, además de controlar del tiempo de irradiación. Completan el sistema, el cabezal de irradiación y el conjunto de mangueras a través de las cuales se transporta la muestra.

Este sistema neumático se puso en operación en el año 1993 y durante un período prolongado ha venido funcionando de manera rutinaria sin presentar problemas significativos. Sin embargo, desde hace algunos años, las tareas de mantenimiento del

módulo de control electrónico han sido cada vez más frecuentes y muchas de las funciones originales han sido deshabilitadas al dañarse alguno de sus componentes, los cuales por antigüedad, ya no están disponibles en el mercado.



Figura 1. Imagen de las electroválvulas y relays de alta potencia.

* Correspondencia autor: obaltuano@ipen.gob.pe

Por esta razón y contando con la disponibilidad tecnológica para realizar la repotenciación del módulo de control electrónico, mediante el uso de una solución digital confiable y económica, se procedió al desarrollo y posterior puesta en operación de un nuevo módulo de control electrónico que no solo cumple las funciones del antiguo módulo analógico, sino que además se agrega nuevas opciones de operación.

2. Diseño Electrónico

2.1 Consideraciones de diseño

Se plantearon algunos requerimientos para facilitar el uso del sistema electrónico por parte del usuario, brindándole mejores prestaciones así como funciones de escalabilidad y facilidad de actualización. En las opciones para el usuario se incluyó un teclado matricial para la programación y operación, un módulo LCD para visualización de mensajes y una interface serial RS-232 para interconexión con otros periféricos o una PC.

La secuencia misma de operación de las electroválvulas fue establecida mediante ingeniería inversa, porque no se encontró la documentación detallada de la secuencia de operación.

2.2 Secuencia de funcionamiento de electroválvulas

La etapa neumática del sistema Rabbit, consta básicamente de 6 electroválvulas trabajando en pares, 4 de estas válvulas forman una configuración tipo “puente”, la cual permite cambiar el flujo de aire para realizar el envío (válvulas 1 y 4) y el retorno (válvulas 2 y 3) de la muestra a, y desde el cabezal de irradiación. Las válvulas 5 y 6 son de menor tamaño y su configuración permite cambiar el flujo de aire para disminuir la velocidad con que es transportada la muestra. Las válvulas 1 a 4 son normalmente cerradas (bloqueado el flujo de aire), en tanto las válvulas 5 y 6 son normalmente abiertas. Adicionalmente cuenta con una bomba centrífuga multicelular de aire para crear el flujo neumático necesario para impulsar la muestra. Dos sensores ópticos infrarrojos montados sobre el tubo cerca a la piscina del reactor, permiten determinar cuando la muestra ha llegado a la piscina, lo cual

desactiva el motor de la bomba centrífuga y las válvulas correspondientes. El motor es controlado por un contactor trifásico de alta corriente. Este contactor y las electroválvulas son controladas a través de 4 relays de alta corriente instalados dentro del gabinete que contiene los elementos neumáticos. Todo el sistema eléctrico es alimentado por un autotransformador de alta potencia que proporciona los 24VAC requeridos para la operación de las electroválvulas.

El sistema de control electrónico original del Rabbit está formado por varios módulos totalmente analógicos, que durante los años de uso se le habían realizado diversas modificaciones. Debido a la falta de disponibilidad de los componentes, algunas funcionalidades habían dejado de operar como por ejemplo el modo automático y el temporizador por lo cual únicamente estaba disponible el modo de operación manual.

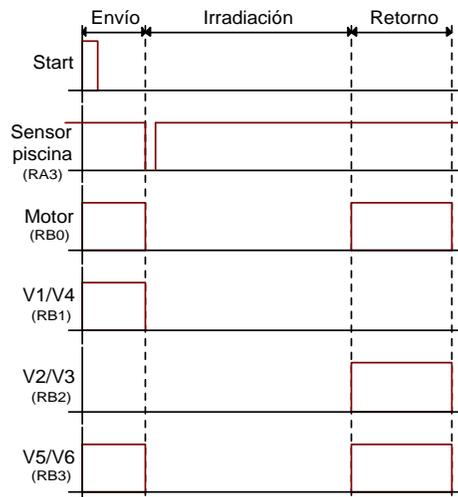


Figura 2. Secuencia de funcionamiento para operación en modo automático.

Utilizando ingeniería inversa se determinó la mejor secuencia de funcionamiento de los componentes neumáticos para la operación del sistema. Esta secuencia se observa en la Figura 2, una de las consideraciones tomada en cuenta fue la de prescindir el uso de dos sensores en boca de tanque de la piscina del reactor. Los dos sensores eran utilizados para determinar la dirección de movimiento de la muestra, que en este caso no era determinante. Por otro lado, la activación o no de las válvulas 5 y 6 no representaban cambios significativos en el flujo de aire, se observó que manteniendo las válvulas

cerradas (solenoides activados) el flujo de aire era mayor y por tanto menores los tiempos de envío y retorno. La variación del tiempo oscilaba en el orden de 1 a 2 s.

2.3 Ingeniería básica

De acuerdo con las consideraciones de diseño, se optó por una solución totalmente digital. Teniendo en cuenta que el sistema de control no sería dependiente de una PC excepto para algunas tareas de sincronización y/o transferencia de información, éste debería operar en modo stand-alone. Debido a los requerimientos de un teclado, un módulo LCD y un puerto de comunicación serial se decidió la utilización de un microcontrolador PIC16F877 de Microchip [2]. Este dispositivo posee 33 líneas de entrada y salida, un puerto RS-232 entre otros periféricos. Un teclado matricial de 4x4 permite realizar toda la configuración del dispositivo y junto con algunos pulsadores adicionales es posible realizar la operación completa del mismo. Un módulo LCD de 16x2 caracteres es utilizado para visualizar los mensajes durante la operación y configuración del sistema.

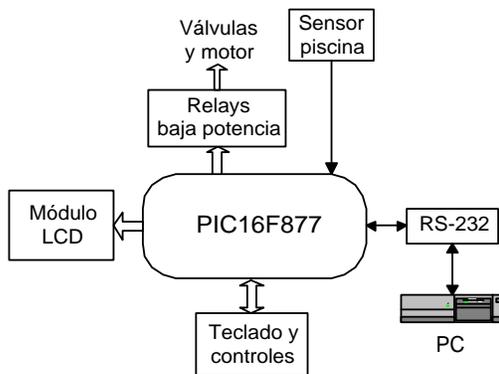


Figura 3. Diagrama de bloques del control electrónico.

Un juego de 4 relays de baja corriente y 12VCC instalados directamente sobre la tarjeta de impreso son utilizados para activar los relays de alta corriente y 24VAC ubicados en el gabinete de componentes neumáticos.

2.4 Firmware

El firmware o programa para el microcontrolador ha sido escrito en lenguaje C, utilizando el compilador Hi-Tech [3] para la familia PIC16F 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 serial es de 9600 baudios, 8 bits datos, 1 bit de parada y sin paridad. Se puede controlar de forma remota la unidad, a través de la conexión serial, para el envío o retorno de muestras. Las demás funciones de configuración deben hacerse a través del teclado. Aún cuando es posible adicionarle mayor funcionalidad por el puerto serial, esto no ha sido necesario por cuanto la unidad trabaja en modo stand-alone.

Se han utilizado las librerías de control LCD, comunicación USART, temporización Delay y acceso a la EEPROM que proporciona el propio compilador C de Hi-Tech, las cuales han sido configuradas para cumplir con los requerimientos de la aplicación.

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

- a. *Modo de funcionamiento:*
Automático, Manual
- b. *Sensores ópticos:*
Habilitados, Deshabilitados
- c. *Tiempo de irradiación:*
Mín: 10 seg, Máx: 6500 seg.
- d. *Tiempo de envío máximo:*
Mín: 10 seg. Máx: 60 seg.
- e. *Tiempo de retorno máximo:*
Mín: 10 seg. Máx: 60 seg.

El microcontrolador opera a partir de un cristal de 4MHz, con lo cual se obtiene una tasa de 1 MIPS (mega instrucciones por segundo) la cual es suficiente para cubrir los requerimientos de operación.

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 la irradiación. El TIMER1, adecuadamente configurado, nos da una exactitud de 99.95 % en la medición del tiempo.

Se ha procurado dotar al firmware de las mayores funcionalidades para facilitar al usuario la operación de equipo. Diversos mensajes son visualizados en el módulo LCD tanto en operación como durante la configuración. Se ha procurado una interactividad con el operador bastante simple e intuitiva. Para mayor información y detalles sobre el funcionamiento del equipo refiérase al Manual de Usuario [4] del mismo.

3. Puesta en Operación, Resultados y Discusión

Finalizado el proceso de montaje de todos los componentes y considerando los criterios de diseño, se procedió a realizar las pruebas de operación en las cuales se verificó que la operación de las válvulas 5 y 6 no producían cambios significativos durante los tiempos de envío/retorno. Sin embargo, estos tiempos fueron menores cuando dichas válvulas se encontraban activas (cerrando el flujo de aire). Por esta razón se optó por activarlas durante las operaciones de envío/retorno (Figura 2).

La secuencia de envío se habilita hasta que la muestra se haya detectado en el sensor óptico que se encuentra en boca de tanque del reactor. En caso de no detectarse la muestra, la operación de envío se prolonga hasta el valor que haya sido programado en el menú de configuración: *Tiempo de envío máximo*.

Debido a que no existe un sensor óptico cerca de la estación de envío de muestras, durante el retorno no es posible determinar la llegada de la muestra. Por esta razón, el tiempo de retorno es fijo y determinado por el valor de *Tiempo de retorno máximo* del menú de configuración.

Un problema de funcionamiento se evidenció durante las pruebas preliminares de operación. Se observó que luego de proceder a desactivar una carga inductiva, como son las bobinas de los relays y las bobinas de las electroválvulas, se producía un reset del microcontrolador. Este fenómeno muy conocido y difícil de eliminar es producido por el pulso de corriente inverso que se

genera al desconectar una bobina. Los filtros en las líneas de alimentación entre otras medidas no son suficientes, y considerando que estos dispositivos operan con tensión AC, se procedió a la instalación de redes snubber [5] (circuito RC) tanto en las bobinas de las electroválvulas como en los switches de los relays de baja potencia, Figura 4.

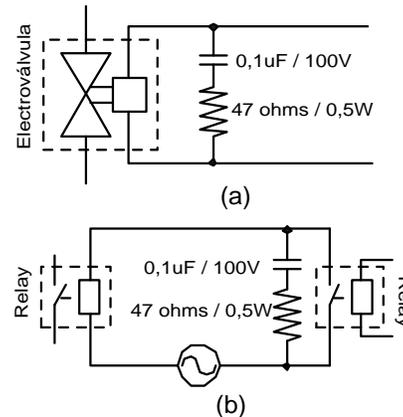


Figura 4. Redes snubber (a) directamente en la carga inductiva, recomendado, y (b) en el switch de contacto del relay.

A pesar de las precauciones tomadas para evitar los ruidos que alteran el funcionamiento del sistema electrónico, se observó que ocasionalmente se producían estas fallas, probablemente por lo ruidoso del ambiente eléctrico dentro del hall del reactor. Se añadió para ello la facilidad del firmware de poder identificar un evento de reset durante la operación de envío/retorno. Esto se logra almacenando el estado actual de la máquina secuencial en la memoria EEPROM del controlador. Durante un evento del reset del mismo, el controlador verifica si hubo una interrupción en la secuencia, y de ser así, continúa la secuencia pendiente a partir del punto en el que se produjo la interrupción.

Finalmente, las mediciones de los tiempos de envío y retorno, utilizando una muestra con un peso estándar, dieron un tiempo 12-14 segundos como promedio de envío y 8-10 segundos como promedio para el retorno.

4. Conclusiones

El módulo desarrollado ha cumplido todas las especificaciones iniciales y ha proporcionado mayor facilidad y confiabilidad a las tareas de envío de muestras al núcleo del reactor.

El uso de tecnología digital ha permitido reducir significativamente los costos del equipo y dotarlo de más funcionalidades que el módulo analógico original.

Dos características adicionales permitirían mejorar aún más la operación del mismo: la instalación de un sensor adicional muy cerca de la estación de envío de muestras para reducir el tiempo de operación de la bomba durante el retorno de la muestra, y por otro lado, la interconexión del módulo de control, vía puerto RS-232, con algún sistema integrado de gestión de los equipos electrónicos, lo que permitiría operarlo a distancia, reduciendo la dosis recibida por el usuario.



Figura 5. Módulo de control original (izquierda) y el nuevo módulo desarrollado (derecha).

5. Agradecimientos

Al personal del Taller Mecánico, Tec. Yuri Hernández e Ing. Mario Mendoza por su apoyo en las tareas de montaje del gabinete. Al personal de los Laboratorios de Química Analítica Lic. Pablo Mendoza, Lic. Marco Ubillus, Lic. Patricia Bedregal, Lic. Eduardo Montoya por su colaboración en calidad de usuarios finales.

6. Bibliografía

[1] Technical Research Centre of Finland Reactor Laboratory. Pneumatic Rabbit System Manual.

[2] Microchip Inc. PIC16F87X Data Sheet.

[3] Hi-Tech Software. PICC STD Compiler Manual, 2008.

[4] Baltuano O. Manual de Operación y Mantenimiento de Módulo de Control Electrónico Orión para Sistema Neumático Finlandés Rabbit. [Informe Interno]. 2008.

[5] Todd P. Snubber Circuits: Theory, Design and Application. Seminar Manual SEM-900. 1993.