

Automatización del sistema de ventilación del reactor RP-10

Oscar Baltuano^{1,*}, Agustín Urcia², Dionisio Canaza², Rolando Arrieta²

¹Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear,
Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

²Dirección de Producción, Instituto Peruano de Energía Nuclear,
Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

Se presentan los resultados del estudio para la automatización del sistema de ventilación y acondicionamiento de aire del reactor nuclear de investigación RP-10. Este reporte detalla el diseño, la estructura operativa, la ingeniería básica y el programa (firmware) empleado para la primera etapa, que consiste en la automatización del encendido y apagado para tiempos prefijados de todos los equipos que forman parte del sistema de ventilación y acondicionamiento, sin intervención de ningún operador, para su funcionamiento rutinario y sentando las bases para el paso automático al modo de emergencia, cuando las condiciones radiológicas lo ameriten.

Abstract

It presents the results of the study for the automation of the ventilation system and air conditioning in the RP-10 research reactor. This paper describes the design, operational structure, basic engineering and the program (firmware) used for the first phase consisting of automation on and off to pre set times of all devices as part of the ventilation and conditioning system without intervention of any operator for routine operation and laying the groundwork for the automatic emergency mode, when the radiological conditions warrant.

1. Introducción

En el diseño del sistema de ventilación y acondicionamiento del reactor nuclear RP-10 [1] se ha tomado en cuenta dos estados básicos de trabajo: Normal y Emergencia. El criterio del sistema se esquematiza en la Figura 4.

Condición Normal. El aire exterior ingresa a través de la unidad de entrada de aire Equipo N° 8 (equipo de inyección con filtro absoluto) y es expulsada al exterior, después de un proceso de filtrado con pre-filtro y carbón activado, por medio del grupo extractor N° 9. La diferencia de presión de aire entre los equipos N° 8 y 9 generan una depresión dentro del edificio del reactor (15 mm de columna de agua) para fines de protección radiológica al medioambiente en caso de accidente nuclear. El equipo N° 7, de recirculación, brinda homogenización y confort al edificio del reactor. El sistema de ventilación en su condición "normal" está diseñado para operar de forma ininterrumpida durante las 24 horas proporcionando condiciones adecuadas de seguridad y protección radiológica, además del confort en los lugares de trabajo.

Por razones de ahorro en el consumo de energía eléctrica y la necesidad de contar con personal operador para el accionamiento manual de los equipos, este sistema solo opera durante la jornada laboral normal, de lunes a viernes de 08:00 a 16:00 horas.

Condición de Emergencia. En caso de accidente con emisión de material radiactivo proveniente del núcleo del reactor, detectado en chimenea (detector gamma en Rad/hora), se procede a cambiar el modo de funcionamiento de ventilación "normal" a ventilación de "emergencia" del reactor [2], para esta fase el sistema actúa de la siguiente manera:

Apaga el equipo N° 8, cierra herméticamente las persianas de toma de aire exterior, los 3 montantes de inyección: recinto, sala de intercambiadores y sala de máquinas.

El equipo N° 9 cierra la persiana de expulsión al exterior, abriendo la persiana de recirculación, de este modo se establece un circuito de aire cerrado a través del banco de filtros. El equipo N° 7 (de recirculación) permanece en funcionamiento cumpliendo su función de homogenización, contribuyendo

* Correspondencia autor: obaltuano@ipen.gob.pe

al mantenimiento de la depresión y evitando que la temperatura del recinto se eleve debido a cargas propias del local.

Proyecto para automatizar el sistema. El horario de operación adoptado por las razones anteriormente mencionadas, cumple con los requisitos para la protección del personal durante la jornada laboral, empero se ha observado que las condiciones de temperatura y humedad dentro del recinto están afectando el funcionamiento adecuado de los equipos y deteriorando parte de la infraestructura interna; por ejemplo, la pintura de las paredes del recinto esta desprendiéndose y los equipos electrónicos, tanto de comunicación como de laboratorio, presentan fallas frecuentemente, por esas razones se ha visto por conveniente lo siguiente:

a) Implantar un sistema de control, para la condición “normal” que automatice el encendido y apagado de forma temporizada de todos los equipos que forman parte del sistema de ventilación, sin intervención de ningún operador, con la finalidad de ampliar el período de funcionamiento después de la jornada laboral.

b) Plantear el paso automático del sistema de ventilación de condición “normal” a “emergencia”, cuando la dosis de radiación supere el límite prefijado [3]. Para ello se tiene implementado un sistema de detectores de radiación gamma en la chimenea de salida del sistema y todos los controles para ejecutar la recirculación del aire en el recinto. En este trabajo se detalla la fase (a) y se deja la propuesta para la fase (b).

2. Materiales y Métodos

2.1 Consideraciones de diseño

Se plantearon algunos requerimientos para facilitar el uso del sistema electrónico [4] por parte del usuario, brindándole mejores prestaciones, así como también funciones de escalabilidad y facilidad de actualización. En las opciones para el usuario se incluyeron 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 por cuanto no se encontró la documentación detallada de la secuencia de operación.

2.2 Secuencia de operación

El sistema de ventilación para cumplir con los criterios de funcionamiento, en ambas situaciones de operación, está constituido por un grupo de ventiladores, una bomba impulsora de agua y una unidad enfriadora de acuerdo con el siguiente detalle:

Tabla 1. Distribución de equipos en el sistema de ventilación del RP-10.

<p>Equipo 7: Homogenizador de aire y acondicionador Ventilador 1, caudal de 22,000 m³/h Ventilador 2, caudal de 22,000 m³/h</p>
<p>Equipo 8: Inyección de aire al edificio del reactor Ventilador 1, caudal 6,000 m³/h Ventilador 2, caudal 6,000 m³/h</p>
<p>Equipo 9: Extracción de aire del edificio del reactor Ventilador 1, caudal 6,000 m³/h Ventilador 2, caudal 6,000 m³/h</p>
<p>Bomba de agua: Motor de 1/2HP Caudal: 100m³/h</p>
<p>Unidad enfriadora: Potencia de 15kW</p>

Adicionalmente, el sistema cuenta con clapetas accionadas por aire comprimido (sistema neumático).

En la sala de control está ubicado el tablero de mando del sistema de ventilación para el encendido y apagado de los ventiladores, selector manual de normal/emergencia e indicadores de habilitación y marcha de la unidad enfriadora. La secuencia de funcionamiento es la siguiente:

- En sala de máquinas del secundario:
 - a. Habilitación de la unidad enfriadora.
 - b. Encendido de compresor de aire para los actuadores neumáticos (clapetas) del sistema de ventilación.
 - c. Encendido de bomba de impulsión de agua.
 - d. Habilitación del tablero de control de los ventiladores.
- En sala de control:
 - a. Encendido de los equipos del sistema de ventilación según días calendario. En

condiciones normales de operación se encienden tres ventiladores, uno por cada equipo (7, 8 y 9). Por razones de funcionalidad los días impares del calendario operan los tres ventiladores '1', y los días pares los tres ventiladores '2'.

El control del encendido/apagado de los ventiladores se realiza mediante pulsadores de "marcha" y "parada" en el tablero de control. Los controles en el tablero están agrupados en dos sistemas: 1 y 2 para cada uno de los equipos (7, 8 y 9). Hay en total 6 pulsadores para el arranque de cada ventilador y 6 pulsadores para la parada de cada uno de ellos. Se ha etiquetado cada uno de ellos como: S1-V7, S1-V8, S1-V9, S2-V7, S2-V8 y S2-V9. Adicionalmente, sobre el tablero se ubican leds indicadores que señalan el instante en el cual cada ventilador se encuentra en "marcha" y es posible habilitar el siguiente equipo.



Figura 1. Imagen del tablero de control del sistema de ventilación del edificio del RP-10. Se observa, al medio, los pulsadores de arranque y parada de los ventiladores.

2.3 Ingeniería básica

Un sistema embebido totalmente autónomo y fácilmente configurable por el usuario, fueron las consideraciones básicas de diseño. Para las tareas de configuración se consideró incluir en el sistema de control un teclado matricial y un módulo LCD. Diversas alternativas están disponibles; sin embargo, considerando la experiencia ganada en el diseño de sistemas similares anteriormente construidos [4,5], se optó por utilizar un microcontrolador PIC16F877 [6]. Este dispositivo posee 33 líneas de entrada y

salida, suficientes para cubrir las necesidades de diseño y una velocidad de operación adecuada a los requerimientos. El teclado matricial de 4 x 4 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 16 x 2 caracteres es utilizado para visualizar los mensajes durante la operación y configuración del sistema.

Una consideración importante que ha sido tomada en cuenta en la etapa de diseño, es no modificar en absoluto las conexiones del tablero de control manual que se utiliza para controlar cada uno de los dispositivos del sistema de ventilación.

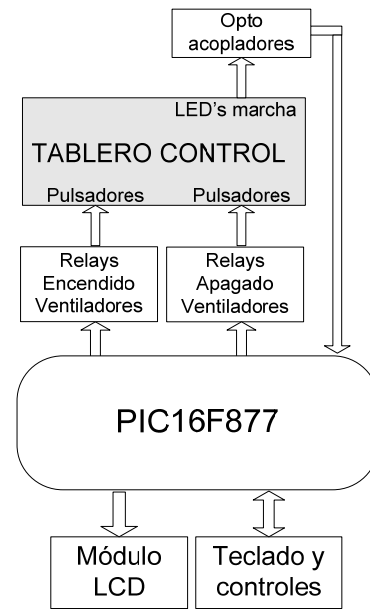


Figura 2. Diagrama de bloques simplificado del control electrónico.

Por tal motivo, se colocó un relay mecánico en paralelo con cada uno de los pulsadores de marcha y parada (total: 12) de los ventiladores del sistema. Los relays han sido elegidos considerando que los pulsadores activan señales con un voltaje de 220VAC. La bobina de cada relay es activada con una tensión de 12VDC y un par de circuitos integrados ULN2803 son utilizados como *drivers* para acoplar las salidas de control de 5V del microcontrolador con las bobinas de 12VDC de cada relay.

De la misma forma, para evitar hacer modificaciones en el tablero de indicadores, se optó por utilizar opto-acopladores H11L1 para acondicionar las señales indicadoras de

marcha (LEDs) de cada ventilador a las entradas del microcontrolador.

2.4 Firmware

El firmware o programa para el microcontrolador ha sido escrito en Lenguaje C, utilizando el compilador Hi-Tech [7] 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 configuración para las diferentes opciones de operación se realiza íntegramente a través del teclado matricial y el módulo LCD.

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 funcionamiento.

El firmware es una adaptación de [5] al cual se le han incluido las rutinas necesarias para manejar el hardware adicional utilizado.

El funcionamiento se basa en una máquina de estados secuenciales en la cual cada estado configura los relays y verifica los sensores correspondientes. El tiempo en el cual el sistema puede permanecer en cada estado es configurable por el usuario.

Se ha programado el firmware con 3 modos de operación básicos: solo sistema 1, solo sistema 2 y ambos. Esto permite que el usuario seleccione el sistema de ventiladores de acuerdo con el día programado.

Los tiempos de apagado de cada ventilador pueden ser configurados a través del teclado y el LCD en un intervalo desde 1 segundo hasta 10,000 segundos. La secuencia de apagado está pre-configurada de acuerdo con los requerimientos del usuario: grupo 9, grupo 7 y grupo 8 en forma secuencial.

En esta etapa de desarrollo únicamente se ha considerado la automatización del apagado de los ventiladores. Sin embargo, el software desarrollado contempla la posibilidad de incluir la secuencia de control de las máquinas en el secundario, quedando con ello configurado la opción del paso a emergencia cuando sea requerido.

3. Resultados y Discusión

Se ha realizado las pruebas preliminares del sistema de control, instalando el mismo en forma paralela con los pulsadores y leds en el tablero de mando de ventilación, ubicado en sala de control.

Las pruebas para la optimización en la condición “normal” han cumplido con los requerimientos y expectativas de operación, por lo cual se viene procediendo a la implementación de los controles requeridos para automatizar los equipos correspondientes en el sistema secundario.

Para el cambio de la condición de operación del modo “normal a” “emergencia” en forma automática, hace falta un transductor que permita accionar el paso con valores de contaminación en chimenea de salida del aire luego de un eventual accidente.

En este trabajo se detalla la parte que corresponde a la optimización y se deja la propuesta para la etapa del paso automático de “normal a “emergencia”. Se requiere realizar más pruebas y afinar detalles para su incorporación al capítulo de especificaciones técnicas luego de un riguroso análisis de seguridad. Se cuenta (por extensión) con el modo de apagado del ventilador que inyecta aire y el control de cierre de las clapetas de toma de aire, la de salida por chimenea y el de apertura de las clapetas que propician la recirculación.

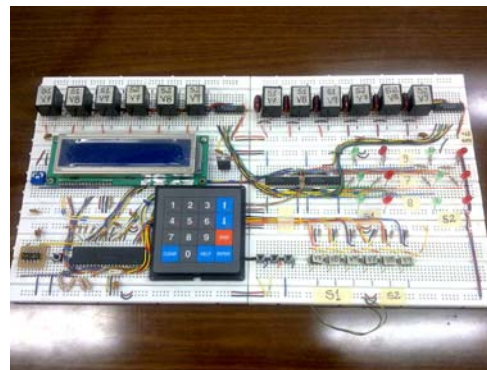


Figura 3. Imagen del controlador electrónico que ha sido montado sobre un protoboard para las pruebas preliminares de funcionamiento.

4. Conclusiones

Bajo el esquema planteado se logran tres impactos en el sistema de ventilación y acondicionamiento:

- Económico: Logrando optimizar el funcionamiento del sistema en el modo “normal” sin recurrir a mayores gastos por concepto de energía eléctrica y pagos al personal.
- Ambiental: El paso automático a la condición de emergencia del sistema evita posibles contaminaciones al medioambiente por no detectar a tiempo, la demora en las decisiones u otras fallas humanas en la actual situación.
- Tecnológico: El desarrollo de soluciones tecnológicas adaptadas a las necesidades específicas propias de las instalaciones del RP-10 aseguran el mantenimiento y la escalabilidad a futuro de las mismas.

5. Agradecimiento

Al grupo de operación y mantenimiento del reactor RP-10 por su apoyo y sugerencias.

6. Bibliografía

[1] Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN). Informe de seguridad. Capítulo X. Sistemas Auxiliares. Lima: IPEN; 1992.

[2] Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN). Plan de emergencia radiológica del reactor RP-10. Lima: IPEN; 1992.[Informe interno].

[3] Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN). Reglamento de Protección Radiológica. Lima: IPEN; 1997.

[4] Baltuano O, Gago J, Hernández Y. Desarrollo de control electrónico para el sistema neumático del Laboratorio 29. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2008. Lima: IPEN; 2009. p. 157-161.

[5] Baltuano O, Gago J. Modernización electrónica del sistema neumático finlandés “Rabbit. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2008. Lima: IPEN; 2009. p. 152-156.

[6] Microchip Inc. PIC16F87X Data Sheet.

[7] Hi-Tech Software. PICC STD Compiler Manual; 2008.

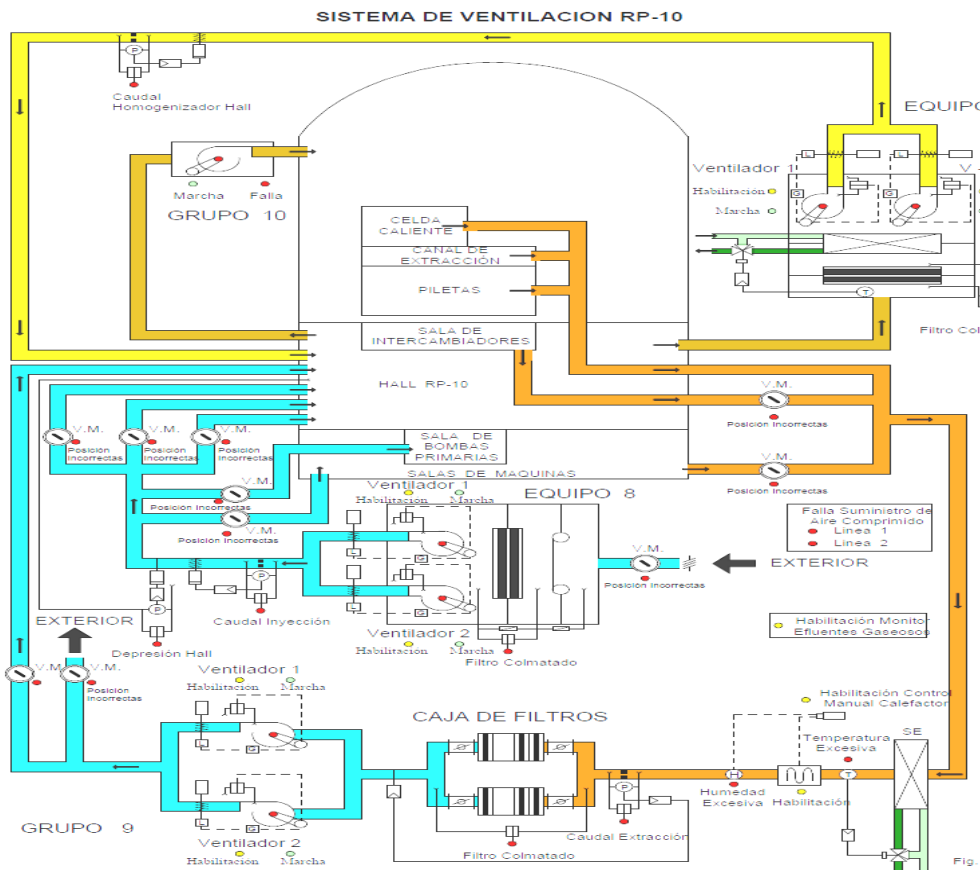


Figura 4. Esquema del sistema de ventilación del RP-10.