

## **Desarrollo de un sistema de vigilancia remota, por medio del monitoreo de parámetros claves de seguridad, para un reactor nuclear de investigación**

Agustín Urcia<sup>1\*</sup>, Oscar Baltuano<sup>2</sup>, Renzo Chan<sup>2</sup>, Jean Pierre Tincopa<sup>3</sup>, Rolando Arrieta<sup>1</sup>,  
Rafael Urquiza<sup>4</sup>, Bernick Salvador<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Dirección de Producción, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470. San Borja, Lima 41, Perú

<sup>2</sup> Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470. San Borja, Lima 41, Perú

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Nacional del Callao, Av. Juan Pablo II 306, Bellavista, Callao, Perú

<sup>4</sup> Facultad de Ingeniería Electrónica, Universidad Tecnológica del Perú, Av. 28 de Julio 826, Lima 15046, Perú

<sup>5</sup> Facultad de Ingeniería Electrónica, Universidad Nacional de Ingeniería, Av. Túpac Amaru 210, Rimac, Lima, Perú

### **Resumen**

Se presenta detalladamente el desarrollo, instalación y puesta en operación de sensores de nivel de agua y tasa de exposición gamma en el nivel 11 metros (boca de tanque) del reactor nuclear RP-10 utilizados para monitorear permanentemente estos valores y usarlos como vigilancia durante los períodos de no presencia de personal de operación (situación de desatención) con el reactor en estado apagado. Los niveles de estos parámetros son empaquetados y transmitidos a un controlador en la Sala de Control del reactor para su visualización y activación de niveles de alarma. Adicionalmente, se muestra el acondicionamiento de estas señales de alarma conjuntamente con la de detección de incendios en el edificio del reactor y laboratorios auxiliares para ser transmitidas al edificio de seguridad física a una distancia de 500 metros.

### **Development of a remote monitoring system, through monitoring of key safety parameters for a research nuclear reactor**

#### **Abstract**

This paper presents the detailed development, installation and commissioning of water level sensors and exposure rate range in the 11 meters level (mouth of tank) of the RP-10 nuclear reactor used to continuously monitor these values and use them as security for the periods of no presence of operating personnel (overlooking situation) with the reactor in shutdown state. The levels of these parameters are packaged and transmitted to a controller in the control room of reactor for display and activation of alarm levels. Additionally, the design of these warning signs is shown in conjunction with the fire alarm in the building of reactor and auxiliary laboratories to be transmitted to the Physical Security facility, located at a distance of 500 meters.

### **1. Introducción**

Aun cuando el reactor nuclear RP-10 está totalmente extinguido [1,2], no se descarta la posibilidad que alguna de las tres condiciones de seguridad nuclear: extinción, refrigeración y contención sean vulneradas debido a alguna condición de falla o situación de emergencia [3]. De estas tres condiciones, la de refrigeración y contención dependen del volumen de agua presente en el tanque del reactor [4]. Los parámetros claves de seguridad que indican el margen de seguridad son: el nivel de agua del tanque del reactor y

la tasa de exposición gamma (X) en boca de tanque [5]. Durante una operación rutinaria la vigilancia es directa mediante controles de zonas por el grupo de operación [6]. Sin embargo, la instalación se hace vulnerable a fallos en períodos de ausencia del personal en horas y días no laborables, por lo que la instalación y principalmente el reactor pasa a una situación de desatención por parte de personal calificado [7]. Por esta razón, durante los períodos de desatención es

---

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

necesario realizar un monitoreo permanente de los parámetros independiente de la instrumentación del reactor. Este monitoreo es complementario al realizado a través de las cámaras de video vigilancia. Las señales de alarma deben ser visualizadas tanto en la Sala de Control del reactor como en el sistema integrado de vigilancia de la instalación. Como medida de respuesta, el personal de seguridad inicia un rápido proceso de evaluación, notificación y atención de las alarmas para el control de la emergencia por el personal calificado [8,9].

El objetivo del presente desarrollo es contar con un sistema de vigilancia remota de los parámetros de seguridad de un reactor de investigación en situación de desatención, sobre la base de sensores asociados a una alarma integrada al sistema de monitoreo de la oficina de seguridad física de la planta.

## 2. Desarrollo experimental

### 2.1 Sensores de medición

Para cumplir con los requerimientos anteriores; en primer lugar se definió el tipo de sensores que serán utilizados. Para la medición del nivel de agua se descartó el uso de sensores con partes mecánicas, tales como boyas o flotadores y se optó por un sensor ultrasónico impermeable y resistente a condiciones ambientales adversas, como es el caso de los niveles elevados de humedad existente en boca de tanque del reactor. Se utilizó un sensor ultrasónico [10] que posee una resolución de 1 cm y una distancia máxima de medición de 300 cm. Éste es un sensor integrado con una unidad de procesamiento y posee comunicación serial con una tasa de muestreo de 10 muestras por segundo.



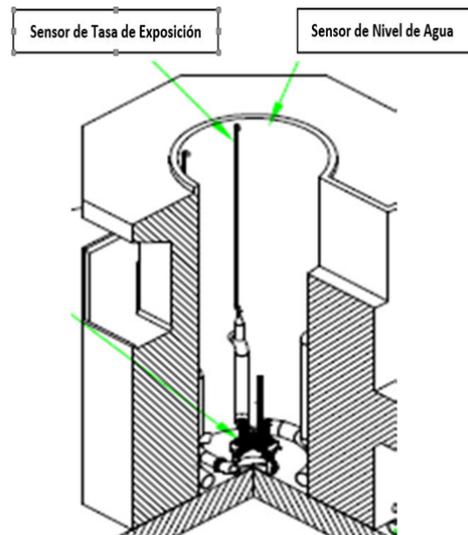
**Figura 1.** Sensor ultrasónico y su instalación en boca de tanque del reactor RP-10.

Para la instalación del sensor ultrasónico se fabricó un gabinete en plástico ABS como soporte mecánico y de conexiones, el mismo que se instaló sobre un asiento de aluminio ubicado a 44 cm sobre el nivel de rebalse del tanque del reactor (Figura 1).



**Figura 2.** Detalle de la instalación del medidor de tasa de exposición.

Para la medición de la tasa de exposición (X) se utilizó un detector Geiger Müller LND 714 [11] operando con una fuente de alta tensión 500 V no regulada y que debido a su tamaño (37 mm de longitud x 6.2 mm de diámetro) se instaló dentro de una carcasa cilíndrica de aluminio junto al circuito de acondicionamiento (Figura 2). La salida obtenida es una señal digital cuya tasa de pulsos es directamente proporcional al nivel de radiación gamma. Ambos sensores han sido instalados en el nivel 11 metros del edificio del reactor RP-10 (Figura 3).



**Figura 3.** Diagrama simplificado mostrando las posiciones de instalación de los sensores de nivel de agua y tasa de exposición gamma.

## 2.2 Módulo controlador remoto (Boca de tanque del reactor)

El módulo controlador remoto está construido alrededor de una tarjeta Arduino Leonardo [12], el mismo que recibe la señal del sensor ultrasónico de nivel de agua a través del puerto software serial y realiza las correcciones en el valor medido, teniendo en cuenta la altura del sensor con respecto al nivel de rebose de agua; igualmente, a través de un pin de entrada de señal digital recibe los pulsos gamma (cuentas) generados por el detector Geiger Müller.

La información sobre el nivel del agua y los pulsos (cuentas) gamma son empaquetados y codificados en una trama para ser enviados por el puerto Serial 1 al módulo controlador local instalado en la Sala de Control a una distancia aproximada de 35 metros. Por la distancia, la transmisión de la data se realiza mediante comunicación serial sobre el estándar físico RS-485, para evitar pérdidas y errores de transmisión [13], habiéndose fijado una velocidad de 9600 baudios. El módulo controlador remoto se encuentra instalado dentro de la bandeja de cables en el nivel 11 metros del hall del reactor RP-10 (Figura 4) a una distancia aproximada de 3.5 metros de los sensores de nivel de agua y radiación gamma.



**Figura 4.** Imagen mostrando la instalación en la bandeja de cables del módulo controlador remoto.

## 2.3 Módulo controlador local

Este módulo se ha construido alrededor de una tarjeta Arduino Leonardo. El firmware de la tarjeta permite recibir y decodificar la trama de datos enviada por el módulo controlador remoto. Este módulo cuenta con una pantalla LCD para visualizar los datos medidos en tiempo real y a su vez activa las

señales de alarma cuando los niveles prefijados de seguridad son superados.



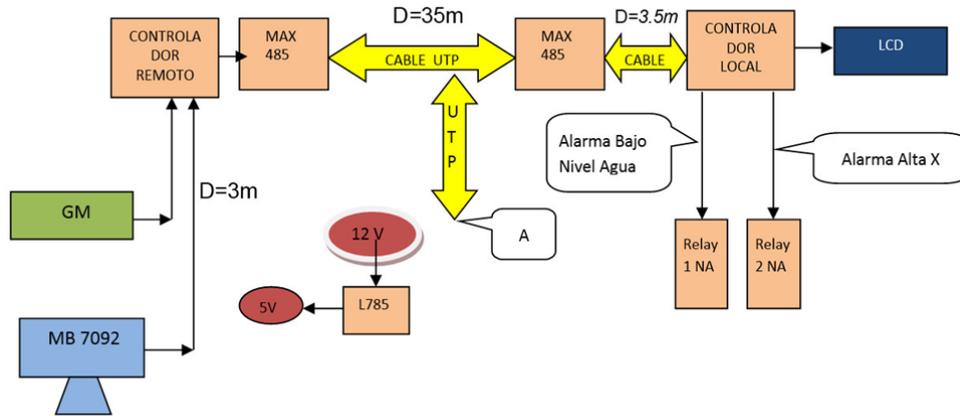
**Figura 5.** Arriba: Módulo controlador local, display LCD indica nivel de agua y tasa de exposición gamma. Abajo: Vista del montaje del módulo controlador local sobre el rack de instrumentación convencional del reactor RP-10.

El valor del nivel de altura del agua es obtenido directamente del sensor ultrasónico y no se requiere hacer ningún cálculo o conversión. La tasa de muestreo o tasa de refresco del valor obtenido del sensor es 10 Hz con una resolución de 1 cm.

Para el cálculo de la tasa de exposición ( $X$ ), el controlador remoto realiza la integración de pulsos (cuentas) durante un período de 10 segundos, enviado este valor dentro de la trama de datos hacia el controlador local. De acuerdo con las especificaciones del detector LND 714, posee una sensibilidad gamma de 1.5 cps/mR/h (para una fuente de Co-60), de allí que en el controlador local se calcula la tasa de exposición según la siguiente expresión:

$$\dot{X} = \frac{(\text{Pulsos contados en 10 seg})}{10} 0.667 \text{ mR/h}$$

Debido a la integración que se realiza en el conteo de los pulsos para mejorar la estadística de la medición, el valor de la tasa de exposición se refresca en el display cada 10 segundos. El controlador local está ubicado en sala de control del reactor, montado sobre el rack de instrumentación convencional (Figura 5).

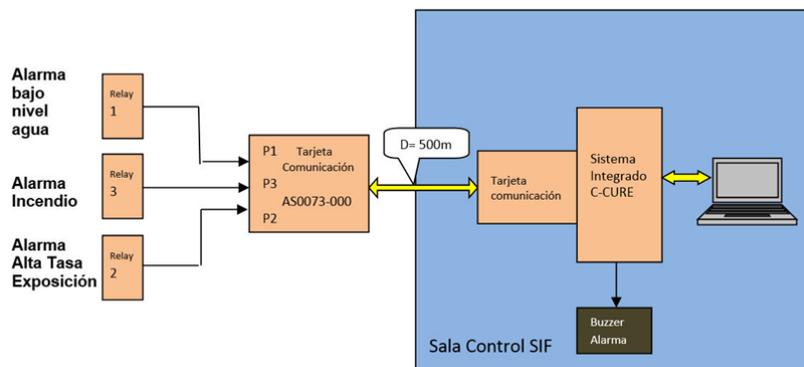


**Figura 6.** Diagrama de bloques de los sensores y los módulos controladores remoto y local con sus respectivas interconexiones.

### 2.4 Transmisión de datos

La instalación dispone de un sistema integrado de vigilancia de seguridad física, el mismo que es un sistema cerrado que cuenta con tarjetas de comunicación instaladas en la sala de control del reactor. A través de una tarjeta es posible enviar señales de activación de alarma entre los puntos anteriormente señalados y que pueden ser visualizadas en una computadora dedicada a esta función controlada por un operador; por esta razón, se hace innecesario enviar los niveles medidos de altura de agua y tasa de exposición, siendo importante únicamente enviar señales de alarma.

Teniendo en cuenta esta condición, el módulo controlador local maneja los estados de dos relays normalmente abiertos conectados a la bornera de la tarjeta de comunicación del sistema. Estos relays son activados únicamente en caso se superen los valores de seguridad prefijados para el nivel de agua y tasa de exposición gamma (X). La activación de estos relays dispara automáticamente señales de alarma en la sala de vigilancia. A la tarjeta de comunicación se añadió la señal de alarma de incendio en el edificio del reactor y los laboratorios auxiliares.

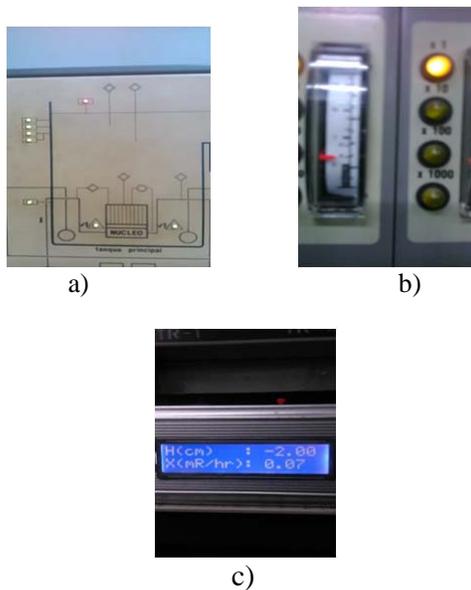


**Figura 7.** Diagrama esquemático de la configuración para el envío de señales de alarma.

## 3. Resultados

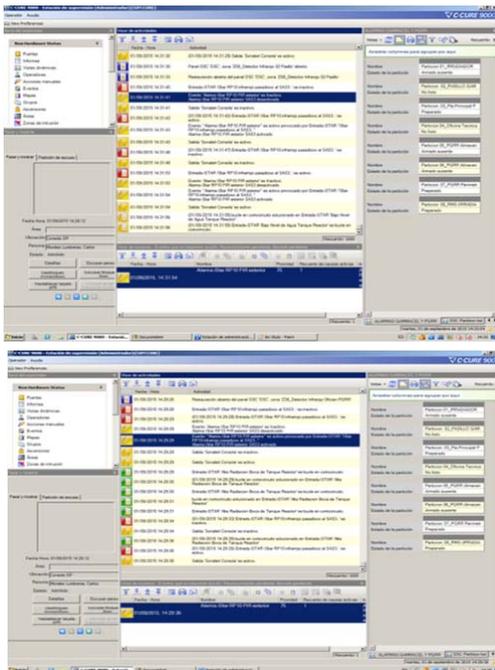
Los datos de nivel de agua y tasa de exposición en boca de tanque mostrados en el display LCD del controlador de sala de control coinciden con los datos que maneja la

instrumentación del reactor [14] (indicador de nivel de agua y monitores de scram del reactor) con lo que se establece la confiabilidad del sistema implementado.



**Figura 8.** a) Indicadores led RG de nivel de agua del tanque del reactor b) Indicador analógico de tasa de exposición gamma c) Presentación digital de nivel de agua y tasa de exposición gamma (X).

En los puntos de vigilancia y control se obtuvieron las notificaciones de alarmas de los distintos parámetros desarrollados, al simular los estados de alarma de los tres parámetros interconectados desde el reactor.



**Figura 9.** Notificación de alarmas (alerta) en monitor de eventos en (a) Bajo nivel de agua en tanque del reactor. (b) Alta tasa de exposición en boca de tanque.

#### 4. Conclusión

El sistema de vigilancia remota de parámetros claves para la seguridad desarrollado, cumple con las salidas de alarma establecidas en el diseño y su implementación permite incrementar el nivel de seguridad del reactor de investigación en situaciones de desatención.

#### 5. Agradecimiento

Al personal de operación del RP-10 por su apoyo en el cableado del sistema. Al personal de mantenimiento mecánico del RP-10 por su trabajo en el proceso de ensamblado de los módulos.

#### 6. Referencias

- [1] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de Análisis de Seguridad. Capítulo II: Objetivos de seguridad y requisitos de diseño de ingeniería. Subdirección de Reactores Nucleares. Lima: IPEN. 2013. [Informe interno].
- [2] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de Análisis de Seguridad. Capítulo XVII: Límites y condiciones operacionales. Subdirección de Reactores Nucleares. Lima: IPEN. 2013. [Informe interno].
- [3] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de Análisis de Seguridad. Capítulo XVI: Análisis de seguridad. Subdirección de Reactores Nucleares. Lima: IPEN. 2013. [Informe interno].
- [4] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de Análisis de Seguridad. Capítulo VI: Sistema de refrigeración y sistemas conexos. Subdirección de Reactores Nucleares. Lima: IPEN. 2013. [Informe interno].
- [5] Organismo Internacional de Energía Atómica – Colección de Normas de Seguridad – Requisitos de Seguridad N° NS-R-4, Viena, 2010
- [6] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Manual de Operación. Subdirección de Reactores Nucleares. Lima: IPEN. 1988. [Informe interno].
- [7] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Vigilancia remota por medio de parámetros claves de seguridad para operaciones desatendidas en el reactor nuclear RP-10. Subdirección de Reactores Nucleares. Lima: IPEN. [Informe interno].

- [8] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de Análisis de Seguridad. capítulo I: Introducción y descripción general de la instalación. Subdirección de Reactores Nucleares. Lima: IPEN. 2013. [Informe interno].
- [9] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Plan de seguridad física del reactor nuclear RP-10. IPEN. 2013. [Informe interno].
- [10] Alcabot. Sensores de Distancia por ultrasonido [Homepage]. Disponible en: <http://www.alcabot.com/alcabot/seminario2006/trabajos/diegoPerezDeDiego.pdf>
- [11] Engineering 360. Gamma detector – LND 714. [Homepage]. Disponible en: [/C1836999-E97A-4906-AA70-BC0A8C0E4962](http://datasheets.globalspec.com/ds/316/LND/C1836999-E97A-4906-AA70-BC0A8C0E4962)
- [12] Arduino Leonardo. [Homepage]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardLeonardo>
- [13] Texas Instruments. Características eléctricas de generadores y receptores para su uso en sistemas multipunto digitales balanceados. EIA-485-A.
- [14] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de Análisis de Seguridad. Capítulo VIII: Instrumentación y control. Lima. Perú, 2013. Subdirección de Reactores Nucleares. Lima: IPEN. 2013. [Informe interno].