

Tiempo de retardo en las paradas de emergencia del reactor nuclear RP-10

Rolando Arrieta*, Agustín Urcia, Dionisio Canaza, Arturo Ramón, Edgard Ovalle,
Emilio Veramendi, Alberto Salazar

Departamento de Operación de Reactores, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Avenida Canadá
1470, Lima 41, Perú

Resumen

En una parada de emergencia, al tiempo de caída libre de las barras de seguridad, se suma el tiempo de respuesta de la instrumentación asociada y del propio conjunto de izaje electromagnético, este último denominado "Tiempo de retardo". En el presente trabajo se muestra la medición del tiempo de retardo para la iniciación de una acción de parada de seguridad y la determinación de la corriente de trabajo de los electroimanes en cumplimiento a lo exigido por las especificaciones técnicas del reactor RP-10.

Abstract

In an emergency shutdown, at free-fall time of the rods adds up response time and associated instrumentation own set of electromagnetic lifting, the latter is called "Delay Time". This paper comes to measuring the time delay for the initiation of a safety stop action, and determination of the working current of the electromagnets in compliance with the technical specifications required by the RP-10 reactor.

1. Introducción

En un reactor nuclear se construyen sistemas de seguridad [1] que "ordenan" acciones de protección automática, para evitar que cualquier variable del proceso (de producción de neutrones) pueda exceder los límites de seguridad exigidos en las especificaciones técnicas [2], siendo el sistema de control y extinción de particular importancia.

En el reactor RP-10 el control y extinción son realizados por cinco barras que absorben neutrones [3], tres de ellas cumplen funciones de seguridad y las dos restantes son para el control. Cada barra está asociada a su respectivo mecanismo de izaje por medio de un embrague y acople electromagnético a un motor paso a paso [4]. A una señal de la lógica de seguridad, cuando se produce algún evento fuera de los límites y condiciones operacionales, los acoples de las cinco barras se desenergizan y caen por gravedad dando lugar a una parada de emergencia.

La actuación oportuna del sistema de extinción del reactor RP-10, es garantía para la no ocurrencia de daños al núcleo imposibilitando así el deterioro de los elementos combustibles [5], especialmente en accidentes por inserción brusca de reactividad [6].

El sistema de accionamiento automático está basado en las leyes del electromagnetismo [7] aplicados al esquema del presentado en la figura 1.

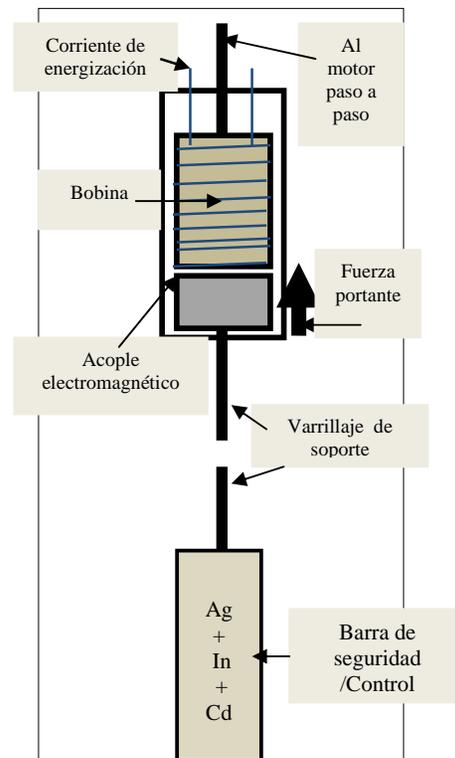


Figura 1. Esquema de funcionamiento del sistema de izaje de una barra de control.

* Correspondencia autor: rarrieta@ipen.gob.pe

La fuerza portante [8] está regida por:

$$F = \frac{B^2 A}{2\mu_0} \quad \text{y} \quad B = \frac{\mu NI}{L} \Rightarrow F = \frac{\mu N^2 I^2 A}{2L^2}$$

Donde:

- F es la fuerza en Newton
- B es el campo magnético en tesla
- A - área de las caras de los polos en m^2
- μ es la permeabilidad magnética
- N es el número de vueltas del cable en torno al electroimán
- I es la corriente en amperios
- L es la longitud del circuito magnético

Para el electroimán dado y un tiempo determinado, se tiene:

$$F = K_1 * (I^2) \quad \text{y} \quad T_r = K_2 * (I)$$

De lo que se deduce para el “RP-10”:

La Fuerza portante varía con el cuadrado de la corriente de energización y el tiempo de retardo es función lineal de dicha corriente.

La actuación de este mecanismo está asociado al funcionamiento de los relés del sistema actuador (Figura 2).

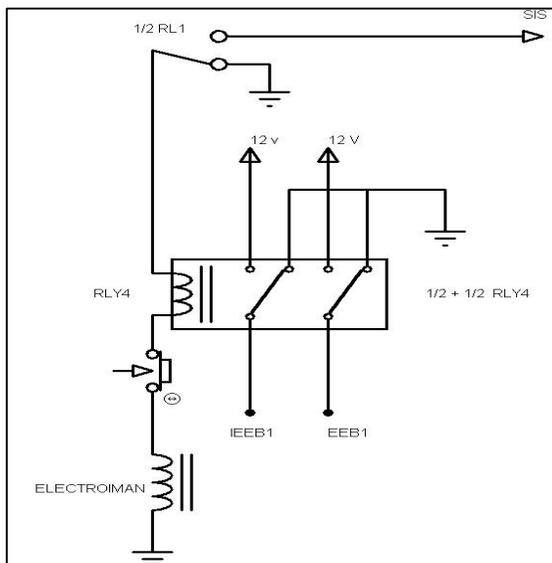


Figura 2. Esquema de sistema actuador de electroimán [9].

El tiempo de retardo es el intervalo que se produce entre la detección y la “orden” de acción, debido principalmente al proceso de magnetización variable de un material ferromagnético [10] conocido como histéresis, que tiene como fenómeno principal

el retraso de la desaparición de la inducción magnética (B) cuando la intensidad de campo magnético (H) junto a la corriente de energización se haga cero.

Por otro lado, uno de los eventos iniciantes de un accidente por inserción brusca de reactividad es el arrastre de un elemento combustible de control y su posterior caída [11,12]. Con la finalidad de mejorar la eficacia de una parada de emergencia, además de evitar el arrastre de un elemento combustible y asegurar la fuerza necesaria para que una barra no caiga, es necesario realizar ensayos que nos permitan medir, controlar y optimizar este tiempo de retardo sin perjuicio de la disponibilidad de la planta con un procedimiento estricto [13].

2. Desarrollo experimental

2.1 Materiales y equipos

- Osciloscopio Tektronix (digital) TDS 420 A [14], configurado en modo “Eventos”. Ancho de banda: 200 MHz. Número de canales: 04 Resolución Vertical: 11 Bits como promedio. Sensibilidad vertical: 01 mV – 10 V /div. Precisión: ± 1.5 %. Tasa de muestreo: 100 ms/ en todos los canales.

-Impresora compatible con el osciloscopio,

2.2 Metodología

Para la medición del tiempo retardo durante la iniciación de una parada de emergencia, por las magnitudes involucradas, se realiza el seguimiento y grabación de dos señales en el osciloscopio:

- Señal de evento iniciante elegido y
- Señal de desenergización de los electroimanes de las barras de seguridad (señal EEi).

2.3 Procedimiento

Instalar el Osciloscopio Tetronix TDS 420 A con la configuración en modo “Eventos”, usando CH2 para la señal de Scram y CH1 para la señal de LAi1Y4 [15] para cada barra de control/seguridad.

Predeterminar en el osciloscopio el modo de Auto Set para verificar que se encuentren las señales en:

$$CH1 = LAi1Y4, \text{ y}$$

$$CH2 = EEi.$$

Seleccionar Trigger Menu (Menú de disparos) en modo Hold Off y poner en automático el disparo con Untrigid – Roll. Trigger–Menu, Modo Hold Off, Normal (Trigid – Roll), seleccionar Source CH1 y finalmente Clear Menu.

En la parte inferior de la pantalla debe aparecer:

CH1 10V - CH2 10V -M 100ms - CH1 0V

Fijar los parámetros de voltaje para cada canal y tiempo de barrido horizontal, si fuera necesario, para cumplir lo anterior.

Para el flanco de disparo:

Seleccionar canal 1: CH1.

Trigger Menu.

Slope: seleccionar flanco de bajada.

Poner el reactor en condición de operación rutinaria, modo IV [16].

Elegir la barra a ser ensayada y con la señal de energización EE repuesta.

Colocar en espera el osciloscopio mediante Shift, Single Trig (pre Trigger), aparecen en pantalla los dos canales en un barrido horizontal a media escala. Se fijará una señal para el evento iniciante y, como fin de la acción, la señal de desenergización de los electroimanes (EEi).

Disparar el evento iniciante ensayado (señal LAi1Y4), como consecuencia de ello la señal de energización (EEi) se desconecta, en este intervalo de tiempo se debe realizar la medición. Observar proceso en pantalla de osciloscopio.

La experiencia se repetirá variando la corriente de energización para cada barra, con estos datos se obtendrá la curva tiempo de Retardo versus Corriente de Energización.

Instalar la impresora en el puerto de salida del osciloscopio, para imprimir los gráficos obtenidos en cada barra ensayada.

2.4 Experimental

Fijación de los parámetros

Se elige la señal con la que se va a trabajar: LAi1Y4 [15] en lógica 2/3 (ordenará acción si se “disparan” dos de tres señales). Mantener disparada la señal LA31Y4 en el canal de arranque 3 de la instrumentación

nuclear, fijando un valor arbitrario para tal fin.

Disparar manualmente la señal LA21Y4 desde el comparador de canal de arranque 2 de la instrumentación nuclear y verificar la aparición de la señal EEi desenergizado (este evento queda grabado en pantalla del osciloscopio). Se imprime el resultado.

3. Resultados y Discusión

Para la obtención de resultados se tuvo que realizar los siguientes pasos:

3.1 Buscar corriente de izaje para que pueda subir a la barra con todo y varillaje.

3.2 Acotar límite superior de fuerza portante para que no arrastre al elemento de control.

3.3 A partir de 3.1 medimos las corrientes de energización y sus respectivos tiempos de retardo hasta llegar a 3.2.

3.3 Graficamos la relación anterior para las cinco barras de control / seguridad.

Se obtuvo resultados para todas las barras involucradas. En el presente informe por razones de espacio, presentamos solo el correspondiente a la barra de seguridad 1 (BS1) (Tabla 1). Los valores de la variación del tiempo de retardo en función de la corriente de energización, su curva correspondiente (para ver la linealidad) se presenta en la Figura 3 y el resultado de uno de los tiempos de retardo medido (con la corriente óptima) que nos presenta el osciloscopio en la Figura 4.

Tabla 1. Valores medidos de corriente de energización y tiempo de retardo para BS1.

<i>I</i> de energización (mA)	<i>t</i> de retardo (ms)
37,0	50
39,0	56
43,0	76
44,5	84
46,0	92
48,0	104
50,0	120
52,0	128

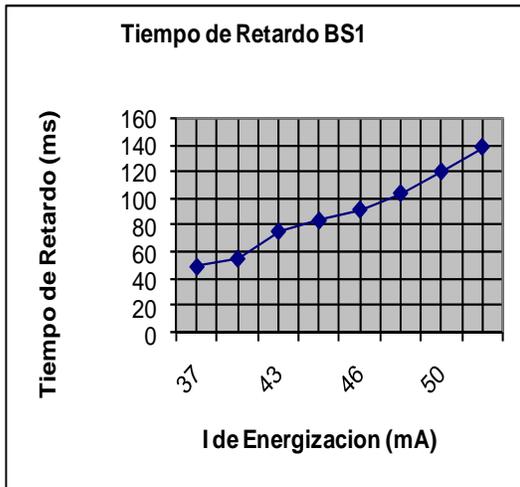


Figura 3. Curva de corriente energización vs. Tiempo de retardo de BS1.

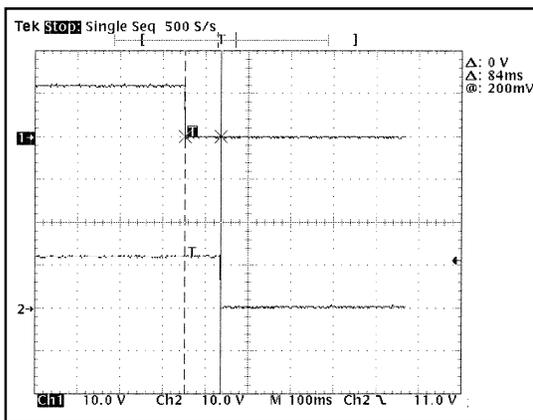


Figura 4. Tiempo de retardo medido en el osciloscopio para BS1 (con la corriente elegida).

Estos ensayos se realizaron para las cinco barras de seguridad / control y los resultados obtenidos nos indican claramente que por efecto electromagnético, existe un valor de corriente óptimo (corriente de trabajo) que hace el menor tiempo de retardo posible a la vez que brinda al electroimán la fuerza necesaria para izar el mecanismo de barras hasta un valor tal que impida arrastrar el elemento de control. Este valor es el adecuado para el mecanismo de la barra en estudio.

Las corrientes de trabajo obtenidas y sus correspondientes tiempos de retardo para las barras de control y seguridad del RP-10 se muestran en Tabla 2.

Tabla 2. Corrientes de energización y sus tiempos de retardo para las cinco barras del RP-10.

Mecanismo de barra	Corriente de energización (mA)	Tiempo de Retardo (ms)*
BS1	44.5	84 ± 2
BS2	41.0	92 ± 2
BS3	40.0	88 ± 2
BC1	39.0	80 ± 2
BC2	40.0	88 ± 2

4. Conclusiones

Con los tiempos de “retardo” medidos se tiene garantía para que la caída de barras introduzca gran cantidad de reactividad negativa garantizando la subcriticidad del RP-10 ante eventos que escapen de los límites y condiciones operacionales fijados.

Según el procedimiento detallado con las corrientes de trabajo establecidos obtenemos tiempos de retardo entre 84 y 92 milisegundos (ms). Estos valores en tiempo son una solución de compromiso entre la fuerza que genera la corriente de energización para el izaje de la barra y el mínimo tiempo de retardo, esto garantiza que la fuerza portante no podrá arrastrar el elemento combustible de control, evitando así incidentes operacionales.

Los valores obtenidos cumplen holgadamente con lo exigido en el Informe de Seguridad del RP-10 [1] que señala “El tiempo de retardo” para la iniciación de una situación de emergencia, en el circuito de parada de emergencia para liberar las barras que cumplen la función de seguridad, no deberá exceder los 120 milisegundos.

No obstante el diseño del núcleo del RP-10 contempla mecanismos intrínsecos de seguridad, vía coeficientes de realimentación negativos que inicialmente protegen al reactor, son la caída de barras (SCRAM) las que extinguen al reactor y cuanto menos sea el tiempo de retardo es mucho mejor; por lo

tanto, se debe vigilar y ensayar este parámetro para cumplir siempre con los límites y condiciones operacionales.

5. Agradecimientos

A los profesionales y técnicos del grupo de operación y mantenimiento del reactor RP-10 por su valiosa colaboración en la realización del presente trabajo.

6. Bibliografía

- [1] Glasstone S, Sesonske A. Ingeniería de reactores nucleares. Barcelona: Ed. Reverté; 1975.
- [2] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de seguridad del RP-10. Capítulo XX Límites y condiciones operacionales. Dirección de Producción. Lima: IPEN; Octubre 2008. [Informe interno].
- [3] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de seguridad del RP-10. Capítulo V El reactor. Dirección de Producción. Lima: IPEN; Octubre 2008. [Informe interno].
- [4] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de seguridad del RP-10. Capítulo X Sistemas Auxiliares. Dirección de Producción. Lima: IPEN; Octubre 2008. [Informe interno].
- [5] Gallardo A. Análisis de seguridad para el accidente de inserción de reactividad en el núcleo 28 del reactor RP-10. Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2006. Lima: IPEN; 2007. p. 125-128.
- [6] García P, *et al.* Tecnologías energéticas e impacto ambiental. Madrid: Ed. McGraw-Hill; 2001.
- [7] Kuznetsov M. Fundamentos de electrotecnia. Moscú: Ed. MIR; 1972.
- [8] Feynman RP, Leighton RB, Sands M. Lecturas de Física. Vol. 2. Electromagnetismo y Materia. 4ª ed. Madrid: Addison Wesley-Iberoamericana; 2000.
- [9] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Manual: Módulo de energización de electroimanes, modelo CNEA 531. 1992. [Informe interno].
- [10] Fitzgerald AE, Kingsley C, Umans SD. Maquinas eléctricas. México: McGraw-Hill; 2004.
- [11] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de seguridad del RP-10. Capítulo XVI Análisis de accidentes. Dirección de Producción. Lima: IPEN; Octubre 2008. [Informe interno].
- [12] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Secretaria Técnica de la Autoridad Nacional. Comité asesor técnico especializado para el licenciamiento del RP-10. Lima: IPEN; Agosto 1989. [Informe interno].
- [13] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Operación y Mantenimiento RP-10. Reporte Técnico 06/2000. Lima: IPEN. Julio 2000. [Informe interno].
- [14] Tektronix Test and Measurement. Digitizing Oscilloscopes Service. Instruction TDS 420A. 1992. Disponible en: <http://www2.tek.com/cmswpt/madetails.lotr?ct=MA&cs=msv&ci=11023&lc=EN>
- [15] Instituto Peruano de Energía Nuclear, Comisión de Energía Atómica de Argentina. Manual de disposición de borneras de sala de control RP-10. Lima: IPEN-CNEA. Agosto 1988. [Informe interno].
- [16] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de Seguridad del RP-10. Capítulo VI Sistema de refrigeración y sistemas conexos. Dirección de Producción. Lima: IPEN; Octubre 2008. [Informe interno].