

Evaluación de la tasa de fuga del sistema de contención del reactor nuclear RP-10

Rolando Arrieta*, Roberto Giol, Agustín Urcia, Alberto Salazar, José Félix, Dionisio Canaza, Emilio Veramendi, Edgard Ovalle, Luis Zapata, Fernando Ramos, Mariano Vela

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

Resumen

Se presentan los resultados experimentales de la evaluación para la tasa de fuga de la contención del edificio del reactor nuclear RP-10, bajo condiciones normales de trabajo (luego de una salida abrupta del sistema de ventilación) y en una situación accidental. Los valores encontrados para ambas condiciones son de $54,12 \pm 4,16$ % y $49,99 \pm 3,83$ % de volúmenes diarios, respectivamente. Debe especificarse la tasa de fuga de la atmósfera confinada por el sistema de contención a la presión de diseño, teniendo en cuenta todas las penetraciones. Esta tasa de fuga debe ser verificable a la presión de diseño durante las pruebas preliminares y a intervalos periódicos durante la vida útil del reactor. En este último caso, la tasa de fuga deberá ser estimada ya sea con pruebas a la presión de diseño o a presión reducida.

Abstract

We present experimental results of the evaluation for the rate of leakage of reactor containment building of nuclear RP-10, under normal working conditions (after an abrupt departure from the ventilation system) and an accidental situation. The values for these conditions are: $54,12 \pm 4,16$ % of daily volumes and $49,99 \pm 3,83$ % of daily volumes, respectively. You must specify the rate of leakage from the confined atmosphere of the containment system design pressure, taking into account all penetrations. The leakage rate must be verifiable to the design pressure during preliminary testing and at periodic intervals during the reactor lifetime. In the latter case, the leak rate must be estimated with either test the design pressure or reduced pressure.

1. Introducción

Los sistemas de seguridad de los reactores nucleares [1] como el reactor RP-10 deben evaluarse periódicamente con el fin de garantizar su adecuado funcionamiento. El RP-10 cuenta, entre los sistemas previstos en su diseño [2], con un sistema de confinamiento que se divide en: un sistema de contención y un sistema de remoción de productos de fisión.

El sistema de contención está compuesto por el edificio del reactor y las persianas de las válvulas de aislamiento. A su vez, el edificio del reactor está formado por una estructura (antisísmica) que posee puertas y pasamuros con características especiales que permiten tener una depresión variable hasta 20 mm ca. Las puertas poseen burletes a base de neopreno con un perfil de cierre especial.

Las puertas tipo exclusiva, de acceso normal al recinto del reactor, están comandadas

mediante una lógica que impide la apertura simultánea de ambas puertas. Los pasamuros están diseñados de tal manera que permiten conservar la hermeticidad del recinto [3].

El edificio del reactor cumple funciones de contención, blindaje biológico y estructural, por lo que bajo ninguna circunstancia la tasa de fuga debe ser mayor al 100 % por día [4]. La función principal de este sistema es aislar del medioambiente la contaminación radioactiva eventualmente generada en una situación accidental.

En caso de accidente con emisión de material radiactivo detectado en chimenea, según el informe del oficial de radioprotección y con la autorización del Jefe del reactor [5] se procede a pasar el sistema de ventilación del modo “normal” al modo “emergencia” en

* Correspondencia autor: rarieta@ipen.gob.pe

forma manual.

El peor escenario que se puede esperar en estos casos son situaciones incidentales que no hagan posible el aislamiento del edificio del reactor, como es el caso de la pérdida total de alimentación eléctrica, que impida el accionamiento de los ventiladores del sistema y no se produzca la contención prevista.

Este reporte presenta una metodología para la evaluación periódica de la tasa de fuga realizada por el plantel de operación basada en [6] que nos permite verificar el estado del sistema de contención y poder cumplir con los requerimientos de la documentación mandatoria.

Teniendo en cuenta las dos situaciones presentadas, el objetivo del estudio es evaluar la tasa de fuga, verificando experimentalmente que los dispositivos de cierre de las salidas de aire del edificio del reactor se encuentren en condiciones satisfactorias, de tal forma que puedan proporcionar un confinamiento adecuado a cualquier emisión gaseosa radioactiva producida dentro del mismo.

Los resultados de la evaluación son aplicables al sistema de contención del edificio del reactor para una situación:

- Incidental (Pérdida de energía eléctrica externa) en condiciones normales, es decir se apaga abruptamente todo el sistema de ventilación.
- Accidental (En recirculación en situación de emergencia). En este caso se simula una emergencia radiológica y el sistema entra en recirculación. Sigue funcionando el sistema de acondicionamiento.

2. Definición de términos

a. Sistema de contención: Es aquella estructura física diseñada para prevenir o reducir la liberación de sustancias radiactivas durante un accidente. Evita la liberación al ambiente de los productos de fisión, cuando fallan una serie de barreras múltiples que impiden el escape de la radiación y de los productos radiactivos; además, actúa como enfriador en accidentes que impliquen liberación de productos de fisión al hall del reactor.

b. Productos de fisión: Isótopos (general-

mente radiactivos) formados como resultado de la fisión nuclear. A menudo se utiliza este término para referirse a todo el material radiactivo contenido en el núcleo del reactor o un elemento combustible.

c. Sistema de remoción de productos de fisión: Conjunto de estructuras y componentes necesarios para mantener el inventario de los productos de fisión en cantidad y con niveles de dosis por debajo de los límites de seguridad prefijados. Está constituido por los filtros químicos (lecho mixto) del sistema de purificación continuo para los productos de fisión disueltos en el agua (efluentes líquidos) y por los bancos de filtros del sistema de ventilación del reactor, para los productos de fisión gaseosos liberados en el recinto del reactor (efluentes gaseosos).

d. Situación incidental: Para el presente estudio se entiende como la situación que simula un corte abrupto del suministro de energía eléctrica, significando el apagado total del sistema de ventilación.

e. Situación accidental: Se entiende como la situación que simula una emergencia radiológica, donde el sistema de ventilación pasa a trabajar “en modo emergencia”.

f. Modo de emergencia del sistema de ventilación: En esta situación el sistema se aísla del medioambiente, cerrando las persianas de ingreso y salida, se apaga el equipo N° 8 (de inyección) y el grupo N° 9 pasa a recircular el aire a través de diversos filtros, mientras que el equipo N° 7 continua acondicionando el aire dentro del recinto del reactor.

g. Sistemas auxiliares [7]: Asociados al sistema de confinamiento y compuestos por:

- El sistema de alimentación eléctrica –para el accionamiento de los ventiladores- consta de: Tablero de alimentación y un tablero de ventilación del edificio reactor desde barra de emergencia (tablero de emergencia). La tensión de alimentación y frecuencia es de 3 x 220V y 60Hz, respectivamente.
- El sistema de aire comprimido –para el accionamiento de persianas de toma y descarga- consta de: Líneas, válvulas relacionadas con presión de alimentación que se logra por medio de dos conjuntos de compresores con un tanque de reserva.

3. Fundamento para el cálculo de la tasa de fuga

3.1 Consideraciones para la deducción de la relación utilizada para la evaluación

- La presión barométrica afecta por igual a las presiones absolutas consideradas en las mediciones.
- El aire contenido en el recinto está a una determinada temperatura y no sufre variaciones sustanciales de un punto a otro.
- El volumen del recinto no sufre cambios significativos con la presurización o despresurización en su interior.
- Las presiones iniciales y finales durante la experiencia están basadas en puntos predeterminados, pudiendo continuar su evolución en sentido positivo o negativo, según sea el caso.

3.2 Masa de aire que fuga del recinto

Aplicando la ley de los gases perfectos (Asumiendo factor de compresibilidad $z=1$)

$$M_i = \left(\frac{P_i}{T_i} - \frac{V}{R} \right) \quad (1)$$

$$M_f = \left(\frac{P_f}{T_f} - \frac{V}{R} \right) \quad (2)$$

El cambio de masa es igual a la fuga en el sistema, por lo tanto:

$$\Delta M = M_i - M_f = \left(\frac{P_i}{T_i} - \frac{P_f}{T_f} \right) x \frac{V}{R} \quad (3)$$

Donde:

P_i = Depresión inicial (mmca)

P_f = Depresión final (mmca)

T_i = Temperatura inicial del ambiente (°R)

T_f = Temperatura final del ambiente (°R)

$R = 53,35 \text{ (pie x lb}_f\text{) / (lb}_m\text{ x °R)}$;

El promedio de la masa de aire que fuga es obtenido al dividir el total del flujo másico entre el intervalo del tiempo considerado:

$$\bar{m} = \frac{\Delta M}{\Delta t} \quad (4)$$

Donde:

Δt = Lapso de tiempo entre P_i y P_f . (min)

Reemplazando (3) en (4) se obtiene:

$$\bar{m} = \left(\frac{P_i}{T_i} - \frac{P_f}{T_f} \right) * \frac{V}{(R * \Delta t)} \quad (5)$$

Convertido a tasa de fuga (caudal) con un sistema Standard basado en la densidad del aire de $0,075 \text{ lb}_m/\text{ft}^3, \rho_s$

$$\bar{Q} = \frac{\bar{m}}{\rho_s} \left(\frac{P_i}{T_i} - \frac{P_f}{T_f} \right) x \frac{V}{(R * \Delta t) * 0.075} \quad (6)$$

3.3 Tasa de fuga

De (6) se obtiene la relación final que nos permite evaluar directamente la tasa de fuga en volúmenes diarios.

$$T_{fuga} = \frac{73.561}{\Delta t} \left(\frac{P_i}{T_i} - \frac{P_f}{T_f} \right) \quad (7)$$

Donde:

P_i = Depresión inicial (mmca)

P_f = Depresión final (mmca)

T_i = Temperatura inicial del ambiente (°R)

T_f = Temperatura final del ambiente (°R)

La constante 73,561 tiene unidades de °R / mm ca.

4. Desarrollo del experimento

4.1 Consideraciones previas

- Este ensayo debe ser realizado con depresión, por lo cual, debe revisarse todo el sistema de medición (manómetro inclinado, reguladores de presión, válvulas, etc.).

- Se debe verificar el sellado adecuado y cierre de todas las puertas, ductos, pasa muros, etc.

- Verificar el correcto funcionamiento de los ventiladores involucrados en los ensayos.

4.2 Equipos y herramientas

- Para medir la pérdida de presión en el recinto del reactor: Manómetro inclinado de vidrio con indicador de agua SPEZIALM, modelo: P082, con escala máxima de 30 mmca y con una precisión de 0,2 mmca.

- Para medir el tiempo en la pérdida de presión: Dos cronómetros digitales (idénticos) marca Casio, con una precisión de 0,001 segundos.

- Para las condiciones ambientales: Humedad relativa y Temperatura: Tri Sense Kit, Model 37000 – 95 Cole Parmer Instrument

Company Illinois – USA, que posee una precisión de: 01 % y 0,1 °C.

Para esta experiencia no se utilizó ningún material específico, salvo las de uso común.

4.3 Condiciones ambientales

Este experimento es muy sensible al cambio de condiciones ambientales por lo que el promedio para las experiencias: accidental e incidental se muestran en las Tablas 1 y 2, respectivamente.

Tabla 1. Condiciones ambientales de la experiencia accidental (10/05/10).

Parámetros	Inicio : 11:00 horas				Fin: 11:10 horas			
	1	2	3	Promedio	1	2	3	Promedio
Temperatura (°C)	26	26	26	26	25	25	25	25
Presión (mm c.a)	16,4	16,4	16,4	16,4	1,1	1,1	1,1	1,1
Humedad relativa (%)	49	49	49	49	50	50	51	50,33

Tabla 2. Condiciones ambientales de la experiencia incidental (10/05/10).

Parámetros	Inicio : 11:00 horas				Fin: 11:10 horas			
	1	2	3	Promedio	1	2	3	Promedio
Temperatura (°C)	26	26	26	26	25	25	25	25
Presión (mm c.a)	16,4	16,4	16,4	16	1,1	1,1	1,1	1,1
Humedad relativa (%)	49	49,33	49	49,11	50	49,66	50	49,88

4.4 Toma de datos

La tasa de fuga es determinada a partir de la pérdida de depresión dentro del recinto del reactor, para esto se registran los valores de depresión a intervalos de 10 segundos hasta que la depresión decaiga hasta un 75 % del valor de la depresión de trabajo (para ambas condiciones):

4.4.1 Condición incidental:

Con el sistema de ventilación funcionando normalmente, se apagan todos los equipos y grupos (7,8 y 9) simultáneamente (simulando un corte de energía eléctrica externa) y se registran los valores de ΔP vs. Tiempo, estos resultados mostramos en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores de depresión en función del tiempo * (Incidental) (10/05/10).

Tiempo (s)	Depresión (mm c.a)	Tiempo (s)	Depresión (mm c.a.)
0	16,2	90	9,1
10	16,0	100	8,2
20	15,6	110	7,4
30	14,9	120	6,6
40	13,9	130	6,0
50	13,1	140	5,4
60	12,0	150	4,9
70	11,0	160	4,4
80	10,1	170	4,0

4.4.2 Condición “En emergencia”

Con el sistema de ventilación funcionando en condiciones normales, se pasa el sistema a modo de emergencia produciéndose el apagado del equipo N° 8, pasando el grupo N° 9 a modo de recirculación y quedando encendido el equipo N° 7. Estos resultados se encuentran en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores de depresión en función del tiempo* (Emergencia) (10/05/10).

Tiempo (s)	Depresión (mm c.a.)	Tiempo (s)	Depresión (mm c.a.)
0	16,4	90	9,5
10	16,4	100	8,5
20	16,1	110	7,7
30	15,6	120	7,0
40	14,8	130	6,2
50	13,8	140	5,7
60	12,7	150	5,1
70	11,6	160	4,6
80	10,5	170	4,1

4.5 Metodología de cálculo

Para la evaluación de la tasa de fuga a través de ductos y contención se ha utilizado el método de decaimiento de la depresión dentro de la contención [6].

4.5.1 Cálculo de la tasa de fuga

En el apéndice B de la norma ANSI N510 [6] se tiene que la tasa de fuga de aire a través de todas las penetraciones existentes en una contención típica (puertas, penetraciones para cableado eléctrico y dispositivos mecánicos, persianas, etc.) son determinadas por medio de la siguiente ecuación:

Ecuación de la tasa de fuga:

$$T_{fuga} = \frac{Q}{V} \quad 1/\text{min} \quad (8)$$

Como se ha visto en el desarrollo teórico, se llega a la relación (7):

$$T_{fuga} = \frac{73.561}{\Delta t} \left(\frac{P_i}{T_i} - \frac{P_f}{T_f} \right)$$

Donde:

- P_i = Depresión inicial (absoluta) (mm ca)
- P_f = Depresión final (absoluta) (mm ca)
- T_i = Temperatura inicial del ambiente (°R)
- T_f = Temperatura final del ambiente (°R)
- Δt = Lapso de tiempo entre P_i y P_f .(min)

5. Resultados y Discusión

Aplicando las relaciones desarrolladas se obtienen las siguientes tasas de fuga:

- a) Para condición incidental:
T.F.1= 54,12 ± 4,16 % volúmenes diarios.
- b) Para condición accidental:
T.F. 2= 49,99 ± 3,83 % volúmenes diarios.

- De los dos valores para la verificación del cumplimiento de uno de los condicionantes [8] para el funcionamiento del RP-10, tomamos la condición más desfavorable para cuando ocurra un accidente; es decir, cuando el reactor se quede sin suministro de energía eléctrica.

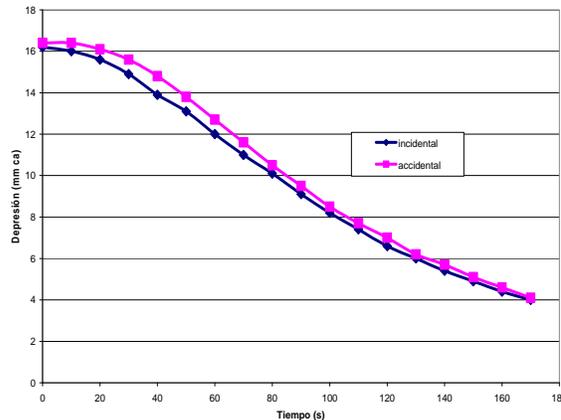


Figura 1. Curva de pérdida de depresión superpuestos en el recinto del RP-10.

- Los valores hallados en esta experiencia concuerda en el orden de magnitud con los resultados de mediciones anteriores. El “peor” valor hallado fue de 57,10 ± 8,55 % volúmenes diarios [9] para una condición

incidental (con condiciones no optimizadas en las puertas de acceso).

- La incertidumbre calculada [9] está dentro de lo previsto por el uso de instrumentos poco sofisticados y depende fuertemente del error con que se mide la pérdida de la depresión.
- En las Figura 1 se grafica los valores de la pérdida de depresión en función del tiempo para ambas condiciones y se nota que tienen el comportamiento esperado en una forma gradual y sostenida.

6. Conclusiones

Para ambos casos se cumple ampliamente con la especificación técnica requerida. El mayor valor es inferior a la tasa límite 100 % diario [4]: 54,12 % ≤ 100 %.

7. Agradecimientos

A todo el personal de operación, mantenimiento y radioprotección por su apoyo para la realización de las experiencias del trabajo.

8. Referencias

- [1] Organismo Internacional de Energía Atómica. Seguridad de los reactores de investigación. Proyecto de Requisitos de Seguridad DS272. GOV/2004/53. Viena: OIEA; 2004.
- [2] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de Seguridad del RP-10. Capítulo VII Características de seguridad e ingeniería. Dirección de Producción. Lima: IPEN. Octubre 2008. [Informe interno].
- [3] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de seguridad del RP-10. Capítulo IV Edificios y estructuras Dirección de Producción. Lima: IPEN. Octubre 2008. [Informe interno].
- [4] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de Seguridad del RP-10. Capítulo XII Limites y condiciones operacionales. Dirección de Producción. Lima: IPEN. Octubre 2008. [Informe interno].
- [5] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de Seguridad del RP-10. Capítulo XX Plan de emergencia. Dirección de Producción. Lima: IPEN. Octubre 2008. [Informe interno].
- [6] The American Society of Mechanical Engineers, Norma ANSI/ASME N 510-1980. Sección 6.4 y apéndice B.

[7] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de Seguridad del RP-10. Capítulo X Sistemas auxiliares. Dirección de Producción. Lima: IPEN. Octubre 2008. [Informe interno].

[8] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Reglamento de autorizaciones, fiscalización, control, infracciones y sanciones de la Ley N° 28028 Ley de Regulación del Uso de Fuentes de Radiaciones Ionizantes. 2008. Disponible en:

http://www.ipen.gob.pe/site/publicaciones/ley28028/reglamento_ley28028.pdf

[9] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Evaluación de la tasa de fuga de la contención del edificio del reactor nuclear RP-10. Grupo de Operación. Informe DRE-DOR-ME-0011. Junio 2004. [Informe interno].