

Situación de los Sistemas de Seguridad Pasivos.

J.F. Villanueva, F. Sánchez-Sáez, S. Carlos, S. Martorell
Universitat Politècnica de València
Camino Vera s/n
Telf: +36963877631
E-mail: jovillo0@iqn.upv.es

Resumen – *¿Qué es un sistema de seguridad pasivo? Un sistema de seguridad pasivo proporciona enfriamiento al núcleo mediante mecanismos como la transferencia de calor por convección natural, condensación de vapor, evaporación líquida, inyección de refrigerante impulsada por presión o inyección de refrigerante impulsada por gravedad. No se basa en la energía externa mecánica y/o eléctrica, señales o fuerzas tales como pueden ser bombas eléctricas.*

Frente a una idea erróneamente extendida, es importante señalar que los sistemas de seguridad pasiva pueden proporcionar un grado de seguridad igual o mayor que los sistemas de seguridad activa, utilizados en las plantas convencionales. Como ejemplo, se constata que, para obtener la aprobación final de diseño de un reactor en los EE.UU., una planta nuclear pasivamente segura debe demostrar que en el peor de los casos las condiciones de accidente de la planta se pueden enfriar pasivamente sin energía externa o sin acciones del operador durante un mínimo de 3 días.

El ámbito de esta ponencia incluye la descripción de los principales sistemas pasivos y los fenómenos de circulación natural pertinentes a las actuales plantas o en fase de diseño.

De este estudio se contempla que entre otros hay que valorar tanto aspectos térmico-hidráulicos del diseño, como evaluar la seguridad y la fiabilidad de los sistemas pasivos en determinadas situaciones en términos completamente diferentes a los sistemas activos.

1. INTRODUCCIÓN.

Los sistemas pasivos están integrados en el diseño y la seguridad de los reactores nucleares desde el inicio de su desarrollo tecnológico. En relación con el primero, el diseño de los sistemas primarios tanto de los reactores de agua presurizada (PWR) como de los reactores de agua en ebullición (BWR) se fijan en función de la circulación natural: las posiciones tanto de los generadores de vapor como del núcleo en el caso de los PWR y la elevación del punto de inyección del agua de alimentación en las vasijas BWR, están diseñados para garantizar la eliminación del calor residual del núcleo cuando los sistemas activos – principalmente, bombas centrífugas – no están disponibles. En relación con la seguridad, el acumulador es un ejemplo de sistemas pasivos termohidráulico-hidráulicos estrictamente necesarios para mitigar las consecuencias del accidente de pérdida de refrigerante por rotura grande (LB-LOCA).

Inmediatamente después del accidente de Chernóbil en 1986, los sistemas pasivos recibieron una atención mayor. Los sistemas pasivos se tomaron como remedio para situaciones imprevisibles, es decir, capaces de mitigar o incluso evitar la progresión de accidentes eventualmente originados o causados por sistemas activos. Los diseños del Simplified Boiling Water Reactor (SBWR) y del Advanced PWR (AP-600 y, más recientemente, AP-1000) avanzaron en ese sentido. El accidente de Fukushima en 2011 reforzó el interés por los sistemas pasivos, aunque en última instancia, esos sistemas no demostraron su eficacia durante el hecho en cuestión.

El accidente de Three Mile Island en 1979 también contribuyó ya que centró la atención en los accidentes Small Break LOCA (SB-LOCA), donde la circulación natural que constituye un fenómeno clave en la base del diseño de sistemas pasivos.

Se puede apreciar por tanto que la mayoría de los grandes accidentes nucleares que han ocurrido tienen una conexión con los sistemas pasivos.

En general se han definido los sistemas de seguridad pasiva como aquellos sistemas utilizados para realizar funciones de seguridad sin necesidad de una fuente de energía activa. Según (Reyes, 2010), un sistema de seguridad pasiva proporciona refrigeración al núcleo mediante procesos tales como transferencia de calor por circulación natural, condensación de vapor, evaporación de líquidos, inyección de refrigerante a presión o por gravedad. Es un sistema que no depende de la energía mecánica y/o eléctrica externa, o de señales o fuerzas tales como bombas eléctricas. Esta definición está en línea con la del OIEA, (OIEA, 2018), que indica que las características pasivas son aquellas que toman ventajas de fuerzas naturales o fenómenos como la gravedad, las diferencias de presión o la convección de calor natural.

El (IAEA, 1991), clasifica los sistemas pasivos en cuatro grandes grupos:

A. Barreras físicas y estructuras estáticas (muro de tuberías, edificio de hormigón, ...)

Los sistemas de seguridad pasiva que operan bajo esta categoría no utilizan ningún disparador de señal activo, fuentes de energía externas o fuerzas, piezas mecánicas móviles o fluido de trabajo móvil. Las barreras de producto de fisión o los componentes estáticos de los sistemas de seguridad pasiva, como tubos, soportes y escudos pertenecen a esta categoría.

B. Movimiento de fluidos de trabajo (refrigeración por convección libre, ...)

Esta categoría se caracteriza por criterios similares a la categoría A. Sin embargo, en este caso, se permite que el fluido de trabajo se mueva. Ejemplos de características de seguridad incluidas en esta categoría son: sistemas de refrigeración de apagado/emergencia del reactor o sistemas de refrigeración de contención basados en la circulación natural del aire que fluye alrededor de las paredes de contención.

C. Movimiento de piezas mecánicas (válvulas de retención, ...)

Esta categoría se caracteriza por: no tener señales de entrada "inteligentes", no tener fuentes de energía externas o fuerzas; pero las partes mecánicas móviles, ya sean o no fluidos de trabajo móviles también están presentes. Los acumuladores o tanques de almacenamiento y las líneas de descarga equipadas con válvulas de retención son ejemplos de características de seguridad de esta categoría.

D. Señales externas y energía almacenada (ejecución pasiva/accionamiento activo, por ejemplo, sistemas scram)

Esta categoría se refiere a situaciones en las que se utilizan formas activas y pasivas del sistema de seguridad o tienen interacciones mutuas (mismo sistema o sistemas diferentes). Aunque la función de seguridad se ejecuta a través de métodos pasivos como se describe en las categorías A, B y C, el proceso se activa mediante una señal externa activa. PRHR, sumidero de contención, gravedad y tanques core-make-up son ejemplos de sistemas que pertenecen a esta categoría.

2. FIABILIDAD E INCERTIDUMBRE

Dentro de los fenómenos termo-hidráulicos que se producen en los sistemas pasivos, también general en los activos, hay dos grandes conceptos que son de gran importancia: la fiabilidad del sistema (como probabilidad de que un sistema cumpla una determinada función bajo ciertas condiciones durante un tiempo determinado) y la incertidumbre (de los cálculos de los fenómenos térmicos hidráulicos que se producen en los sistemas pasivos).

Estos conceptos son ampliamente conocidos en multitud de aplicaciones y sistemas. A continuación, se centra la aplicación de estos conceptos a la evaluación de sistemas:

- El concepto de fiabilidad de un sistema o componente puede derivarse sencillamente si al accionar o comprobar dicho sistema para su puesta en funcionamiento 100 veces, por ejemplo, un interruptor, este no funciona 3 veces (no conduce corriente eléctrica), puede concluir que la fiabilidad del sistema (es decir, el interruptor) es del 97%.
- El concepto de incertidumbre es más complejo ya que se incluyen varios tipos de incertidumbres, desde aquellas asociadas a los propios fenómenos termohidráulicos presentes en cuanto a su grado de conocimiento, como a su modelización, los códigos termohidráulicos utilizados y su propagación

Cabe señalar que la aplicación del concepto de fiabilidad necesita una función objetivo para el sistema, es decir que se entiende cuando se dice que un sistema cumpla una determinada función y unas medidas para comparar la misión objetivo con el rendimiento real del sistema.

En este punto se pueden identificar dos cuestiones críticas:

- A) La función objetivo para la evaluación de confiabilidad no es tan simple como en el caso del accionamiento del interruptor utilizado para conducir o no la corriente eléctrica. Más bien, la misión objetivo debe estar conectada con fenómenos termohidráulicos que inevitablemente impliquen una naturaleza transitoria.
- B) El cálculo de la misión objetivo implica el uso de códigos termohidráulicos y por tanto la aparición de incertidumbre.

Por un lado, tenemos que estudiar el grado de ejecución de un función objetivo por parte de un sistema, su fiabilidad, que no es conocida, pero para poder evaluarlo se hace uso de códigos termohidráulicos afectados por tanto por incertidumbre.

Por otra parte, podemos decir que la fiabilidad de un sistema pasivo puede reducirse a la fiabilidad de los fenómenos termohidráulicos durante el funcionamiento del sistema, y la fiabilidad puede distinguirse y desconectarse de incertidumbre cuando se realizan los análisis.

3. TIPOS DE SISTEMAS PASIVOS

Algunos de los conceptos de diseño más relevantes utilizan sistemas de seguridad pasiva (IAEA-TECDOC-1624, IAEA, 2009), como los diseños AP600, AP1000, ESBWR, ABWR y NuScale Power Module. A continuación, alguno de estos sistemas para extracción del calor residual tras scram de reactor.

- Tanques de drenaje por gravedad

En condiciones de baja presión, los tanques elevados llenos de agua borada fría se pueden utilizar para inundar el núcleo por la fuerza de la gravedad. En algunos diseños, el volumen de agua en el tanque es lo suficientemente grande como para inundar toda la cavidad del reactor.

- Tanques acumuladores (tanques de inundación de núcleo prepresurizados)

Los tanques acumuladores rellenan el RPV después la fase de blowdown tras un LBLOCA en condiciones de presión media (la presión del núcleo cae por debajo de la presión del gas de llenado del tanque). Los tanques contienen agua borada presurizada con nitrógeno.

- Tanques make-up del núcleo (bucles de circulación natural del tanque elevado)

Inyección a alta presión por los tanques make-up del núcleo, llenos de agua borada, se llaman a los siguientes transitorios donde el sistema makeup normal no es suficiente para eliminar el calor residual del núcleo del reactor.

Dos tanques de reposición del núcleo, dispuestos en dos trenes paralelos, están diseñados para funcionar utilizando sólo la gravedad y las diferencias de temperatura y elevación de la rama fría del sistema refrigerante del reactor como fuerza motriz para cualquier presión del sistema de refrigerante del reactor.

- Sistema de despresurización automática (APS)

Este sistema consiste en válvulas de despresurización que permiten que el agua de inyección de seguridad de menor presión entre en el recipiente del reactor y el núcleo. Se activa mediante un setpoint de nivel en los tanques de reposición del núcleo. Se puede ubicar por encima del presurizador o directamente a la rama caliente. En este último caso, si la presión del RPV se reduce al nivel atmosférico, permite la inyección por gravedad del IRWST. Esto eventualmente evoluciona a un modo de enfriamiento a largo plazo con recirculación del sumidero de contención.

- Sistema pasivo de eliminación de calor residual (PRHR)

El subsistema PRHR protege la planta contra los malfuncionamientos de los sistemas normales de evacuación de calor del sistema primario a través de los generadores de vapor de agua y sistemas de vapor. Actúa en condiciones de baja presión o nivel.

- Tanque de almacenamiento de agua de reabastecimiento de contención (IRWST)

El IRWST cumple el papel del disipador de calor para el sistema PRHR. El volumen de agua IRWST es suficiente para absorber el calor residual del núcleo. También se utiliza para condensar el vapor de las válvulas de despresurización automática durante la despresurización del reactor.

- Sumidero de circulación natural

El espacio de la cavidad del reactor puede servir como un depósito adicional de refrigerante para la refrigeración del núcleo en el evento LOCA. El refrigerante perdido del sistema del reactor se recoge en el sumidero de contención inferior hasta que el reactor se sumerge completamente en agua. En este momento se abren las válvulas de aislamiento. El calor del núcleo se transfiere a través de la ebullición del refrigerante. Mientras que las válvulas del sistema de despresurización automática ventilan el vapor generado en la contención, el gradiente de densidad se genera entre el núcleo del reactor y el depósito de sumidero y comienza la circulación natural del agua.

- Sistemas de seguridad pasiva de refrigeración por contención

Incluya piscinas de supresión de presión de contención, sistemas pasivos de eliminación de calor/supresión de presión y pulverización pasiva de contención. Supresión se refiere a condensar el vapor después de que se ha liberado del sistema de refrigeración primario debido a una rotura



importante. En un tipo de reactor BWR, la cámara de supresión o la piscina que almacena un gran volumen de agua se denomina pozo húmedo. Los sistemas pasivos de eliminación de calor/supresión de presión incorporan una piscina elevada como disipador de calor. El vapor liberado del núcleo se ventila en la contención y se condensa en las superficies del tubo del condensador de contención para proporcionar supresión de presión y enfriamiento. Además, una piscina elevada proporciona un spray accionado por gravedad (pulverización de contención pasiva) de agua fría para proporcionar refrigeración adicional en una pérdida de refrigerante transitorio.