

## **TERCER EJERCICIO**

### **GRUPO A: SEGURIDAD NUCLEAR**

**Tema 27: Guías de gestión de Accidentes Severos.**

#### **Í N D I C E**

1. DEFINICIÓN DE GESTIÓN DE ACCIDENTES.....	4
2. DIFERENCIAS ENTRE LOS POES Y LAS GUÍAS DE GESTIÓN DE ACCIDENTES SEVEROS .....	5
3. GUÍAS DE GESTIÓN DE ACCIDENTES SEVEROS EN CENTRALES PWR DISEÑADAS POR WESTINGHOUSE.....	5
3.1. CONDICIONES DE ENTRADA A LAS GUÍAS.....	6
4. LAS GUÍAS DE GESTIÓN DE ACCIDENTES SEVEROS DESDE SALA DE CONTROL.....	6
5. GUÍAS DEL CAT: GUÍAS DE ACCIDENTES SEVEROS Y GUÍAS DE RIESGO GRAVE .....	7
5.1. EL DFD. LAS GUÍAS DE ACCIDENTE SEVERO (GAS) .....	7
5.2. EL ÁRBOL DE RIESGO GRAVE Y LAS GUÍAS DE RIESGO GRAVE.	10
6. GUÍAS DE SALIDA.....	11

6.1. LA PRIMERA GUÍA: VIGILANCIA A LARGO PLAZO POR PARTE DEL  
CAT ..... 11

6.2. LA SEGUNDA GUÍA. FINALIZACIÓN DE LAS GAS .....	11
---	----

7. GUÍAS DE GESTIÓN DE ACCIDENTES SEVEROS EN CENTRALES BWR ...	11
7.1. DEFINICIONES .....	11
7.2. CONDICIONES DE ENTRADA EN LAS GAS .....	12
8. LA SAG-1. INUNDACIÓN DE LA VASIJA Y DE LA CONTENCIÓN .....	13
8.1. RC/F. VIGILANCIA Y CONTROL DEL NIVEL DE AGUA EN LA VASIJA Y LA CONTENCIÓN.....	13
8.2. RC/P CONTROL DE PRESIÓN EN LA VASIJA .....	17
8.3. RC/Q CONTRPOL DE POTENCIA DEL REACTOR .....	18
9. LA SAG-2. CONTROL DE LA CONTENCIÓN Y DE LAS EMISIONES AL EXTERIOR DE LOS PRODUCTOS RADIOACTIVOS.....	18
9.1. SP/T. VIGILANCIA Y CONTROL DE LA TEMPERATURA DE LA PISCINA DE SUPRESIÓN .....	19
9.2. DW/T. VIGILANCIA Y CONTROL DE LA TEMPERATURA DEL POZO SECO .....	19
9.3. PC/P. VIGILANCIA Y CONTROL DE LA PRESIÓN DE LA CONTENCIÓN PRIMARIA	19
9.4. PC/R. VIGILANCIA Y CONTROL DE LA RADIACIÓN DE LA CONTENCIÓN PRIMARIA	19
9.5. SC/T. VIGILANCIA Y CONTROL DE LA TEMPERATURA DE LA CONTENCIÓN SECUNDARIA .....	20
9.6. SC/R. VIGILANCIA Y CONTROL DE LA RADIACIÓN DE LA	
6.2. LA SEGUNDA GUÍA. FINALIZACIÓN DE LAS GAS .....	11

9.7. SC/L.VIGILANCIA Y CONTROL DEL NIVEL DE AGUA DE LA CONTENCIÓN SECUNDARIA .....	20
9.8. RR. VIGILANCIA Y CONTROL DE LA LIBERACIÓN DE PRODUCTOS RADIOACTIVOS .....	21
<b>10. GAS-3. CONTROL DE HIDRÓGENO.....</b>	<b>21</b>
10.1. CONTENCIÓN MARK I. CONTROL DE HIDRÓGENO/OXIGENO .	21
10.2. CONTENCIÓN MARK III .....	22
<b>11. OTROS ASPECTOS DE LA GESTIÓN DE ACCIDENTES SEVEROS</b>	<b>22</b>
11.1. LAS AYUDAS DE CÁLCULO.....	23
11.2. INSTRUMENTACIÓN .....	24
11.3. LOS PROGRAMAS DE ENTRENAMINETO .....	25
12.BIBLIOGRAFÍA .....	26
13.RELACIÓN CON OTROS TEMAS DEL TEMARIO.....	26

---

## RESUMEN EJECUTIVO

La gestión de un accidente son las medidas tomadas por la Organización de Emergencia para prevenir el daño al núcleo, finalizar el daño al núcleo si no se ha podido evitar, mantener la integridad de la contención y reducir todo lo posible el escape de productos de fisión al exterior. Los Procedimientos de Operación de Emergencia son los encargados de prevenir el daño al núcleo. Las guías de gestión de accidentes severos se aplican cuando se está en un accidente severo y su objetivo es conseguir que la central alcance un estado estable. Las guías de gestión de accidentes se aplican desde el CAT y no desde la sala de control y no contiene pasos prescriptivos, sino que proporciona estrategias para conseguir llevar a la central a un estado estable. Antes de aplicar una estrategia el CAT debe sopesar las ventajas para la planta y sus inconvenientes. Las guías de accidentes severos de las centrales PWR

proporcionan las estrategias para controlar una serie de parámetros de la central. Los parámetros están priorizados. Si se detecta un riesgo alto para la integridad de la contención, se prestará toda la atención al control de este parámetro. Las guías de gestión de accidentes severos de las centrales BWR contienen las estrategias a emplear para inundar la contención o la vasija del reactor lo suficiente para enfriar el corium y conseguir un estado estable en la planta. También hay que vigilar los parámetros ambientales de la contención primaria, piscina de supresión y contención secundaria, así como el hidrógeno. No se dispone de instrumentación específica para el seguimiento de un accidente severo, por tanto, más importante que la lectura proporcionada por la instrumentación es la tendencia. También se pueden y se deben emplear medios alternativos para obtener información sobre un parámetro. Cada central preparará un programa de entrenamiento para la aplicación de las guías de gestión de accidentes severos.

### 1. DEFINICIÓN DE GESTIÓN DE ACCIDENTES

Se puede definir la gestión de accidentes de la siguiente forma: aquellas medidas tomadas durante el curso de un accidente por la Organización de Emergencia con objeto de:

- Evitar que el accidente progrese hacia daño al núcleo.
- Finalizar el daño al núcleo, si este se ha producido.
- Mantener la capacidad de la contención tanto tiempo como sea posible.
- Reducir al mínimo el escape radiactivo, tanto dentro de la planta como al exterior.

El primer objetivo está dentro del alcance de los procedimientos de operación de emergencia (POEs). Los tres últimos están dentro del alcance de las guías de gestión de accidentes severos.

Los POEs se crearon como consecuencia del accidente de TMI, que también impuso requisitos más estrictos sobre formación de operadores. Los POEs son

esencialmente preventivos y se aplican mientras pueda asegurarse la refrigeración del núcleo.

Como consecuencia del accidente de Chernobil en 1986, los organismos reguladores solicitaron mejoras en la mitigación y gestión de accidentes severos. En 1988, la NRC requiere la realización del llamado IPE, siglas que se corresponden con “Individual Plant Examination”, que consiste en la realización de un APS de nivel 1 y de nivel 2 específico para cada central nuclear. Más adelante, solicitó la implantación de las guías de gestión de accidentes severos en cada central. En España, se ha seguido la misma metodología para las centrales de diseño norteamericano. Por tanto, las guías de gestión de accidentes severos tienen como objetivo proteger las barreras que impiden la emisión de productos radiactivos al exterior.

Finalmente, el accidente de Fukushima, ocurrido en Japón en 2011, ha tenido implicaciones muy significativas en cuanto a la gestión del daño extenso, en el cual se contempla el impacto en la seguridad de combinaciones desfavorables de accidentes con sucesos externos o internos, como grandes incendios, terremotos, inundaciones, caídas de avión e, incluso, acciones humanas malevolentes, junto con la pérdida total prolongada de suministro eléctrico. Las nuevas guías de gestión plantean escenarios en los que se produce la pérdida del control de la operación de la planta, tanto desde la sala de control principal como desde los paneles de parada ubicados en otras áreas.

## **2. DIFERENCIAS ENTRE LOS POES Y LAS GUÍAS DE GESTIÓN DE ACCIDENTES SEVEROS**

Los POEs son herramientas que se aplican desde sala de control y son un conjunto prescriptivo de instrucciones que el turno de operación debe de aplicar en caso de que se produzcan síntomas de emergencia.

Las guías de gestión de accidentes severos son herramientas del denominado centro de apoyo técnico (CAT). Las guías de accidentes severos son guías, no procedimientos. Los pasos de una guía sirven para facilitar el proceso de toma de decisiones en caso de accidente severo. Por cada uno de los pasos de la guía, se puede pasar las veces que el personal del CAT lo crea conveniente.

El personal del CAT decide cual es la estrategia mas adecuada para frenar el accidente severo, una vez que ha sopesado las ventajas y los inconvenientes de dicha estrategia.

Las guías de gestión de accidentes severos sólo se aplican cuando se haya formado el CAT. La entrada en las guías de gestión de accidentes severos implica el abandono simultáneo de los POEs. Si se produce una señal de entrada a POEs mientras se están aplicando las guías, hay que seguir las guías de gestión de accidentes severos sin entrar en POEs.

## **3. GUÍAS DE GESTIÓN DE ACCIDENTES SEVEROS EN CENTRALES PWR DISEÑADAS POR WESTINGHOUSE**

Las guías de gestión de accidentes severos en las centrales PWR diseñadas por Westinghouse se pueden dividir en tres grupos:

- **Guías de gestión de accidentes severos desde sala de control.** Son las primeras en aplicarse después de abandonar los POEs. Estas guías se explican en la sección 4.
- **Guías del CAT: guías de accidentes severos y guías de riesgo grave.** Estos dos tipos de guías se aplican simultáneamente, cuando se abandonan las guías anteriores. La sección 5 explica estas guías.
- **Guías de salida.** Estas guías se aplican cuando se alcanza un estado estable y controlado. La sección 6 explica estas guías.

El objetivo de las guías de gestión de accidentes severos es terminar la condición de emergencia, es decir, devolver el núcleo y la contención a un estado estable y controlado, y terminar cualquier liberación de productos de fisión al exterior. Se alcanza un estado estable y controlado, cuando los siguientes parámetros están por debajo de sus puntos de tarado o disminuyendo:

- Temperatura del núcleo menor de 376°C o disminuyendo.
- Liberaciones de productos de fisión al exterior, por debajo de valores que causen daño inaceptable al público o disminuyendo.
- Presión en contención menor que 0.42 kg/cm<sup>2</sup> o disminuyendo.
- Concentración de hidrógeno por debajo del límite de inflamabilidad o disminuyendo

### 3.1. CONDICIONES DE ENTRADA A LAS GUÍAS

Se entra en las guías de gestión de accidentes severos desde los siguientes POEs:

- **POE ECA-0.0 “Pérdida Total de Corriente Alterna”.** Este POE sólo se aplica a sucesos que implican la pérdida total de corriente alterna. La transición está al final de un lazo de instrucciones, lo que garantiza que antes de entrar en las guías se han realizado todas las acciones posibles para refrigerar el núcleo.
- **POE FR-C.1 “Respuesta a la refrigeración inadecuada del núcleo”.** La transición se produce al final de un lazo de instrucciones, cuando la temperatura de los termopares situados a la salida del núcleo es superior a 649 °C y las acciones tomadas por los operadores no son suficientes para asegurar la refrigerabilidad del núcleo.
  - **POE FR-S.1 “Respuesta ante una generación no deseada de potencia/ATWS”.** Este POE está pensado para el caso de ATWS. La transición se produce al final de un lazo de instrucciones, si se produce el sobrecalentamiento del sistema de refrigeración del reactor.

## 4. LAS GUÍAS DE GESTIÓN DE ACCIDENTES SEVEROS DESDE SALA DE CONTROL

Para facilitar una transición suave desde POEs de sala de Control a las guías de gestión de accidente severo del CAT se han elaborado dos guías de accidentes severos que se ejecutan desde sala de control.

La primera guía se pone en marcha antes de que el CAT esté operativo. Aunque el formato y contenido son muy similares al de los POEs, cada paso no es prescriptivo. Las actuaciones que lleva a cabo sala de control son las siguientes:

- Bloquear los equipos de salvaguardias que no estén en funcionamiento.
- ~~Intentar realizar acciones correspondientes a los objetivos básicos de las tres primeras guías de gestión de accidentes severos: alimentar los generadores de vapor, despresurizar el RCS e inyectar agua en el RCS.~~

La segunda guía entra en vigor cuando el CAT asume la responsabilidad del diagnóstico del accidente y la evaluación de estrategias. Sala de Control continua en esta segunda guía hasta que el CAT dé por finalizada la ejecución de esta guía.

Mientras se está en esta guía, sala de control vigila las condiciones de la planta y, siguiendo las instrucciones del CAT, realiza el siguiente tipo de acciones: alineamientos, arranque de equipos que no están en funcionamiento, etc.

Esta fase requiere una fluida comunicación entre el CAT y sala de control.

## **5. GUÍAS DEL CAT: GUÍAS DE ACCIDENTES SEVEROS Y GUÍAS DE RIESGO GRAVE**

El CAT comienza el control de un accidente severo siguiendo simultáneamente dos diagramas de flujo: el diagrama de flujo de diagnóstico (DFD) y el árbol de riesgo grave.

El DFD vigila una serie de parámetros en el orden especificado en las guías. Cada parámetro lleva asociado un punto de tarado que lleva a la aplicación de la correspondiente guía de accidente severo (GAS). El DFD se ejecuta continuamente hasta llegar al estado estable y controlado.

El árbol de riesgo grave se utiliza para la vigilancia de liberaciones de productos de fisión al exterior que dan lugar a una emergencia general y cuando hay un riesgo alto para la integridad de la contención. Como en el caso del DFD, los parámetros se vigilan en el orden especificado por las guías. Si todos los parámetros del árbol de riesgo grave están por debajo del punto de tarado, entonces el CAT permanece en el DFD y la GAS asociada. En caso contrario, el CAT procederá, de forma inmediata, a la ejecución de la guía de riesgo grave asociada.

### **5.1. EL DFD. LAS GUÍAS DE ACCIDENTE SEVERO (GAS)**

Se describen \_\_\_\_\_ en esta sección los parámetros vigilados por el DFD y las estrategias diseñadas para controlarlas. La prioridad de los parámetros es una consecuencia de los APS de nivel 2. El CAT, frente a una estrategia de accidente severo, responde a las siguientes preguntas:

- ¿Es posible aplicar la estrategia?.
- ¿Cuál es el balance de beneficios y efectos negativos de la estrategia?.
- ¿Cómo se conoce la efectividad de la estrategia?.
- ¿Cuáles son los problemas a largo plazo, que se derivan de la aplicación de la estrategia?.

A continuación, se describe cada una de estas guías.

#### **5.1.1. SAG-1. Inyección de agua a los generadores de vapor.**

Se entra en esta guía cuando el nivel de agua de los generadores de vapor está por debajo de un valor especificado. La SAG-1 y SAG-2 son aplicables para accidentes severos con alta presión en el primario.

Los objetivos de SAG-1 son impedir la rotura por fluencia de los tubos de un generador de vapor (un modo de fallo temprano de la contención, que, aunque de muy baja probabilidad, es conveniente prevenir), despresurizar el primario y para filtrar los productos radiactivos que pasan al secundario, si hay fugas primario-secundario y el generador de vapor está lleno de agua.

La guía contiene todas las posibles fuentes de agua, así como los equipos y caminos disponibles para inyectar agua al generador de vapor y contiene los medios necesarios para despresurizar los generadores de vapor (PORV y steam dump) así como el condensador.

El principal impacto negativo que puede tener la aplicación de esta guía es la posible rotura de un tubo del generador de vapor por choque térmico.

#### **5.1.2. SAG-2. Despresurizar el primario.**

Se entra en esta guía cuando la presión del primario está por encima de un valor umbral (unos 28 kg/cm<sup>2</sup>). Los principales objetivos de esta guía son impedir el calentamiento directo de la contención, si se rompe la vasija y permitir la inyección de agua al primario por los sistemas de baja presión.

Los posibles efectos negativos en la aplicación de esta estrategia son los siguientes:

- Si hay fugas primario-secundario, la despresurización del primario empleando el secundario, puede originar la liberación de productos de fisión al exterior.
- El secado de los generadores de vapor puede originar la rotura de un tubo del generador de vapor por fluencia (debido a la combinación alta temperatura y alta presión diferencial primario-secundario), la reducción de la filtración de productos de fisión y la imposibilidad de extraer calor del primario.

#### **5.1.3. SAG-3. Inyección de agua al primario.**

Se entra en esta estrategia cuando la temperatura del núcleo excede un valor umbral (del orden de 376°C). Los objetivos de la guía son los siguientes:

- Evacuar la energía almacenada en el núcleo y el calor residual.
- Prevenir ó retrasar el fallo de la vasija.

La aplicación de esta estrategia puede aumentar el nivel de agua en la contención con el posible daño a equipos e instrumentos. Además, el uso del sistema de refrigeración de emergencia del núcleo en la fase de recirculación puede dañar la habitabilidad del edificio auxiliar.

---

#### **5.1.4. SAG-4. \_\_\_\_\_ Inyección de agua en la contención.**

Se entra en esta estrategia cuando hay bajo nivel de agua en la contención. Esta guía se aplica cuando se ha roto la vasija y su principal objetivo es impedir o mitigar la interacción núcleo fundido-hormigón y atenuar la liberación de productos de fisión en caso de fallo de la vasija.

Para inyectar agua en la contención, puede ser necesario emplear el sistema de rociado de la contención, lo que puede originar su desinertización y provocar una explosión de hidrógeno que, a su vez, puede romper la contención.

#### **5.1.5. SAG-5. Reducir la emisión al exterior de productos de fisión.**

Se entra en esta guía cuando la liberación de productos de fisión al exterior supera los niveles de emergencia en el emplazamiento. El objetivo de esta estrategia es evidente: proteger la salud y la seguridad del público.

En primer lugar, \_\_deben de localizarse los caminos de fugas al exterior. Si hay varios caminos de fugas, se asigna la siguiente prioridad:

- Fugas desde la contención.
- Fugas desde los generadores de vapor.
- Fugas desde el edificio auxiliar.

En caso de fugas desde la contención, se recomienda el empleo del sistema de extracción de calor de la contención (rociado o sistema de ventilación de emergencia).

Para las fugas desde el generador de vapor, la guía recomienda, entre otros medios, aislar el generador de vapor afectado ó llenarlo de agua ó el empleo de la descarga de vapor.

Para las fugas al edificio auxiliar, se recomienda el uso de la ventilación de dicho edificio.

Los posibles impactos negativos de esta estrategia están relacionados con el empleo del sistema de rociado de la contención. Su empleo puede desinertizar la contención, haciéndola más vulnerable a la combustión de hidrógeno y el consumo de agua por este sistema puede mermar la inyección de agua en la vasija.

#### **5.1.6. SAG-6. Control de la presión, temperatura y radiación en contención.**

Se entra en esta estrategia cuando la presión en contención es mayor que un valor umbral (unos 0.42 kg/cm<sup>2</sup>). Sus principales objetivos son impedir el fallo de la contención por alta presión y minimizar el riesgo de pérdida de equipos por las duras condiciones ambientales en contención.

El principal impacto negativo es la posibilidad de quemado de hidrógeno, si se desinertiza la contención.

#### **5.1.7. SAG-7 Reducir la concentración de hidrógeno en la contención**

Se entra en esta estrategia cuando la concentración de hidrógeno supera el 4%. La combustión de hidrógeno en la contención primaria puede originar un pico de presión que puede dañarla. Además, la alta temperatura y la onda expansiva podrían dañar equipos necesarios para la parada de la planta.

Esta estrategia pretende impedir que la combustión de hidrógeno pueda dañar la contención. Se emplean dos métodos:

- Si la combustión de hidrógeno no origina presiones que rompan la contención, se forzará el quemado de hidrógeno. La guía contiene una relación de equipos cuyo funcionamiento puede generar la chispa que, a su vez, provoque el quemado de hidrógeno.
- Inertizar la atmósfera con vapor hasta que pase el peligro de fallo de la contención por quemado de hidrógeno. Por ej., se hace una descarga de vapor a la contención a través de las PORV del presionador.

#### **5.1.8. SAG-8. Inundar la contención**

Se entra en esta guía cuando el nivel de agua en la contención supera un determinado nivel de tarado. El objetivo de la estrategia es refrigerar el núcleo a largo plazo y el principal impacto negativo es la posibilidad de que se desinertice la contención, con la posibilidad de que la combustión de hidrógeno origine su fallo.

### **5.2. EL ÁRBOL DE RIESGO GRAVE Y LAS GUÍAS DE RIESGO GRAVE.**

Se describen en esta sección las guías de riesgo grave, que contienen las estrategias a aplicar cuando ciertos parámetros superan un valor umbral. En este caso, no se hace un análisis de los posibles efectos negativos que puede tener la aplicación de una estrategia, porque si ésta no se aplica se rompe la contención.

#### **5.2.1. Primera guía de riesgo grave.**

Se entra en esta guía, cuando la liberación de productos radiactivos en el emplazamiento está por encima del nivel de alerta general. La guía indica que se deben de identificar los caminos de fugas y, de ser varios, se da la siguiente prioridad:

- 
- Fugas desde la contención.
  - Fugas desde los generadores de vapor.
  - Fugas desde el edificio auxiliar.

La guía proporciona las estrategias a seguir en cada caso.

#### **5.2.2. La segunda guía de riesgo severo**

Se entra en esta guía, cuando el aumento de presión en la contención puede amenazar su integridad. La guía proporciona métodos para poder despresurizar la contención.

#### **5.2.3. La tercera guía de riesgo severo**

Se entra en esta guía cuando la concentración de hidrógeno se acerca a valores que pueden originar el fallo de la contención, si se produce su combustión.

#### **5.2.4. Cuarta guía de riesgo severo**

Se entra en esta guía cuando la contención está a depresión respecto al exterior. Si la presión en la contención está muy por debajo de la presión en el exterior, puede producirse el colapso de la contención.

## **6. GUÍAS DE SALIDA**

### **6.1. LA PRIMERA GUÍA: VIGILANCIA A LARGO PLAZO POR PARTE DEL CAT**

Todas las estrategias explicadas anteriormente (tanto del DFD como del árbol de riesgo grave) llevan a esta estrategia. Una vez realizada y finalizada una estrategia, se tiene que hacer una vigilancia a largo plazo de una serie de parámetros. En esta estrategia se detallan los parámetros que deben de vigilarse una vez implantada la estrategia, las acciones que hay que tomar para asegurar que la estrategia puede seguirse a largo plazo y la necesidad de recuperar el equipo.

Ejemplos de parámetros que deben de vigilarse a largo plazo son los siguientes: niveles de radiación en los edificios por los que circula agua contaminada, temperatura de los filtros de carbón activo, nivel de agua en la contención, etc.

### **6.2. LA SEGUNDA GUÍA. FINALIZACIÓN DE LAS GAS**

El CAT se dirige a esta guía una vez que se ha alcanzado un estado estable y controlado. Contiene una serie de pasos identificando las precauciones, limitaciones y notas a tener en cuenta cuando se finalice el uso de las guías.

## **7. GUÍAS DE GESTIÓN DE ACCIDENTES SEVEROS EN CENTRALES BWR**

Las guías de gestión de accidentes severos de las centrales BWR son muy similares para los tres tipos de contención: Mark I (caso de C.N. “Santa María de Garoña”), Mark II y Mark III (caso de C.N. Cofrentes), excepto en el control de hidrógeno. Por lo tanto, las explicaciones y descripciones dadas en esta y posteriores secciones se centrarán en las centrales BWR con contención Mark I. Para el tema del control de hidrógeno, se ha incluido también la contención tipo Mark III.

Hay tres guías de gestión de accidentes severos en las centrales BWR, denominadas GAS-1, GAS-2 y GAS-3 que se explican en las secciones 8 a 10. El objetivo de estas guías es llevar la central a un estado controlado y estable. Se considera que un accidente severo está controlado cuando todo el combustible y debris están enfriados y sumergidos en agua. Si se rompe la vasija, el accidente está controlado, solamente cuando el nivel de agua de la contención primaria está por encima de TAF (“top of active fuel”, cota superior del núcleo activo).

### **7.1. DEFINICIONES**

Las siguientes definiciones facilitarán la comprensión de las guías de accidentes severos en las centrales BWR.

**Mínimo caudal de inyección para retención del debrís (MDRID).** El mínimo caudal de inyección de agua a la vasija del reactor que asegura que el debrís puede \_\_\_\_\_ ser retenido dentro de la vasija. Las guías de gestión de accidente severo consideran que el debrís que se deposita en el fondo de la vasija está refrigerado, cuando el nivel de agua en la vasija está por encima del BAF (siglas inglesas que significan “bottom active fuel”, cota inferior del núcleo activo) ó si se inyecta agua a la vasija con un caudal igual al MDRID.

**Presión de la Supresión de Presión (PSP).** Es la máxima presión que puede haber en la contención (el toro en el Mark I) para que la piscina pueda mantener la función de supresión de presión, es decir, ser capaz de condensar el vapor liberado desde el sistema de refrigeración del reactor.

**Límite de presión en la contención primaria.** Hay tres límites:

**Límite A.** Es la máxima presión permitida en contención que cumple los siguientes requisitos:

- Se mantiene la integridad de la contención.
- Se mantiene la capacidad de cierre y apertura de las válvulas de venteo de la contención.
- Se mantiene la capacidad de cierre y apertura de las válvulas de venteo de la vasija a presión del reactor.
- Se garantiza la operabilidad de las SRV.

**Límite B.** Igual que el límite A, salvo que en este caso no se garantiza la operabilidad de las SRV.

**Límite C.** Igual \_\_\_\_\_ que el límite A, salvo que en este caso ni se garantiza la operabilidad de las SRV, ni la operabilidad de las válvulas de venteo de la vasija.

## **7.2. CONDICIONES DE ENTRADA EN LAS GAS**

Si durante la evolución del accidente ó transitorio, se presenta la condición de “se requiere la inundación de contención primaria”, se transferirá el control de los diferentes parámetros de la planta desde los POEs a las GAS, quedando la operación sujeta a las acciones requeridas por éstas y bajo la responsabilidad del CAT. Se requiere la inundación de la contención primaria en las siguientes condiciones:

- En la contingencia 1, cuando no se puede restablecer y mantener el nivel de la vasija del reactor por encima del nivel mínimo para la refrigeración por vapor.
- En la contingencia 4, cuando no se pueden establecer las condiciones especificadas de inundación de la vasija del reactor.
- En la contingencia 5, ATWS, si no se puede restablecer y mantener el nivel de la vasija del reactor por encima del nivel mínimo para la refrigeración por vapor.

## 8. LA SAG-1. INUNDACIÓN DE LA VASIJA Y DE LA CONTENCIÓN

La SAG-1 tiene tres apartados que se ejecutan simultáneamente:

- **RC/F** que define una estrategia integrada de inundación de la vasija y de la contención.
- **RC/P** que despresuriza la vasija y evita su represurización mientras está en marcha la inundación de la contención.
- **RC/Q** que hace el reactor subcrítico.

A continuación se describirá cada uno de estos apartados.

### 8.1. RC/F. VIGILANCIA Y CONTROL DEL NIVEL DE AGUA EN LA VASIJA Y LA CONTENCIÓN

Los objetivos de este apartado de la GAS-1 son los siguientes:

- Retener el núcleo dentro de la vasija del reactor.
- Si no fuera posible conseguir el primer objetivo, reducir todo lo posible la interacción núcleo fundido-hormigón.
- Mantener la integridad de la contención.

Este apartado tiene seis secciones que se aplican según sea el estado de la planta.

#### 8.1.1. Sección 1. El nivel de agua en la vasija se mantiene por encima del BAF

Si el nivel de agua en la vasija está por encima del BAF ("bottom active fuel", cota inferior del núcleo activo) y se mantiene así, se espera que el corium que se deposita en el fondo de la vasija esté refrigerado y no pueda romperse la vasija. El objetivo es conseguir que el nivel de agua en la vasija esté por encima del TAF, para lo que se empleará cualquier sistema (sea o no de seguridad) capaz de inyectar agua a la vasija y a la contención, empleando si es posible fuentes de agua externas a la contención. Se eliminarán todos los enclavamientos que impidan el funcionamiento de estos sistemas y no se tendrán en cuenta las condiciones de NPSH ni de vórtice. Además, se pone en marcha el rociado del núcleo para asegurar la refrigeración del núcleo descubierto y el enfriamiento de los gases y componentes internos de la vasija.

Durante la ejecución de esta estrategia deben de tomarse las siguientes precauciones:

**Vigilar el límite-A de la presión en la contención.** Si la presión se aproxima a este límite, se detendrá la inyección de agua a la contención desde fuentes externas y si no puede mantenerse la presión por debajo de este límite se ventea la contención.

**El rociado del pozo seco.** Si la GAS-2 ó GAS-3 requieren el funcionamiento del rociado del pozo seco, se pondrá en marcha con las siguientes condiciones:

- Hay permiso de riego del pozo seco o contención, para evitar que se ponga a depresión la contención.

- No se resentirá la inyección de agua a la vasija (prioridad del núcleo frente a la contención).

**Venteo de la contención.** Se procederá a ventear la contención en las siguientes condiciones:

- Cuando sea necesario para favorecer la inundación de la contención.
- Se requiera para mantener el límite A de la presión en contención.
- Sea requerido por GAS-2 ó GAS-3.

El empleo del venteo de la contención envía al exterior productos radiactivos; por tanto, su uso debe considerarse como último recurso en caso de accidente.

#### **8.1.2. Sección 2. No es posible restablecer y mantener el nivel de la vasija por encima del BAF, pero se puede restablecer y mantener la inyección a vasija por encima del MDRIR**

Aunque no se \_\_\_ puede saber si el nivel de la vasija está por encima del BAF, el MDRIR asegura la integridad de la vasija. El objetivo es inundar la vasija por encima del TAF, empleándose los mismos medios de la sección 1.

Además, se deben de tomar las mismas precauciones que en la sección 1 para el venteo de la contención y el rociado de la contención. Por lo que respecta al límite de presión en la contención, se emplea el límite B cuando el nivel de agua en la vasija puede medirse. Si no puede medirse y permanece indeterminado, se emplea el límite A.

#### **8.1.3. Sección 3. El nivel y la presión de la contención están dentro de la PSP, pero no puede determinarse si se mantiene una inyección de agua a la vasija mayor que MDRID**

En esta sección no puede asegurarse que el nivel de agua en la vasija esté por encima del BAF, ni que la inyección de agua en la vasija sea mayor que MDRID, por lo que se puede romper la vasija en cualquier momento. Sin embargo, como la presión en contención está por debajo de la PSP, no se romperá la contención. El objetivo de esta sección es mantener la PSP y tratar de recuperar la inyección de agua a la vasija para evitar su fallo.

Para conseguir este objetivo, se inyectará agua a la vasija y a la contención desde cualquier sistema disponible empleando fuentes externas, si es posible.

Las precauciones que deben de tomarse durante esta estrategia son las siguientes.

**Mantener la PSP.** Se vigila este parámetro porque es más limitativo que el límite de presión en la contención.

La PSP es función del nivel de la piscina de supresión. Si no se puede mantener el nivel de agua en el toro por debajo del valor umbral, se detendrá la inyección desde fuentes externas.

Si no se puede mantener la presión del toro por debajo de PSP, se venteará la contención.

**El rociado del pozo seco.** Si la GAS-2 ó GAS-3 requieren el funcionamiento del rociado del pozo seco, se pondrá en marcha con las siguientes condiciones:

- Hay permisivo de riego del pozo seco o contención, para evitar que se ponga a depresión la contención.
- Se pondrá en marcha el riego del pozo seco, aunque se reduzca la inyección de agua a la vasija, ya que el rociado del pozo seco puede ayudar a mantener la PSP.

**Venteo de la contención.** Se procederá a ventear la contención en las siguientes condiciones:

- Cuando sea necesario para favorecer la inundación de la contención ó de la vasija.
- Cuando se requiera para mantener la PSP.
- Cuando lo requieran las GAS-2 ó GAS-3.

#### **8.1.4. Sección 4. El nivel y la presión de la contención no están dentro de la PSP**

Si no se puede mantener el nivel de agua en la vasija por encima del BAF y no puede asegurarse un caudal a la vasija mayor que MDRIR, el corium puede romper la vasija. Si no se mantiene la PSP, la rotura de la vasija puede provocar el fallo de la contención primaria, ya que la piscina de supresión pueda que sea incapaz de condensar el vapor que se descarga desde la vasija.

El objetivo de esta sección es mantener la integridad de la contención y tratar de recuperar la inyección de agua a la vasija. Las estrategias propuestas son las siguientes:

- Maximizar inyección de agua a la vasija, siguiendo las pautas que se expone en la sección 1.
- Maximizar la inyección de agua a la contención desde fuentes externas, siempre que no se reduzca la inyección de agua a la vasija.

Se tomarán las siguientes precauciones.

**Vigilar el límite-A de la presión en la contención.** Si la presión se aproxima a este límite, se detendrá la inyección de agua a la contención desde fuentes externas y si no puede mantenerse la presión por debajo de este límite se ventea la contención.

**El rociado del pozo seco.** Si la GAS-2 ó la GAS-3 recomiendan el riego del pozo seco, se procederá a su activación siempre que se den las siguientes condiciones.

- Hay permisivo de riego del pozo seco o contención, para evitar que se ponga a depresión la contención y cualquiera de las tres condiciones siguientes:
  - Se pondrá en marcha el riego del pozo seco, si no se reduce la inyección de agua a la vasija, ya que el rociado del pozo seco puede ayudar a mantener la PSP ó
  - La vasija está despresurizada ó
  - El rociado del pozo seco ayuda a restablecer la PSP.

**Venteo de la contención.** Se procederá a ventear la contención en las siguientes condiciones:

- Cuando sea necesario para favorecer la inyección de agua a la vasija ó la inundación de la contención.
- Cuando se requiera para mantener el límite A de la presión en contención.
- Cuando sea requerido por GAS-2 ó GAS-3.

#### **8.1.5. Sección 5. Se puede mantener el nivel en la vasija por encima de TAF.**

No es posible entrar directamente a este procedimiento, ya que mantener el nivel de agua por encima del TAF asegura la adecuada refrigeración del núcleo. Por tanto, esta es la estrategia en la que acabarán las GAS, si se ha tenido éxito en la recuperación del nivel de agua en la vasija. Como el accidente severo no va a progresar, el objetivo de esta sección es mantener esta situación.

Para mantener el nivel en la vasija del reactor por encima del TAF, se emplean sólo sistemas de seguridad, si es posible. Se emplean fuentes de agua externas a la contención, sólo cuando sea necesario para mantener el nivel de agua en la vasija por encima del TAF.

Durante la ejecución de esta estrategia deben de tomarse las siguientes precauciones:

**Vigilar el límite-A de la presión en la contención.** Las mismas que las expuestas en la sección 1.

**El rociado del pozo seco.** Las mismas que las expuestas en la sección 1.

**Venteo de la contención.** Se procederá a ventear la contención en las siguientes condiciones:

- Cuando sea necesario para mantener y restablecer el nivel de la vasija por encima del TAF.
- Cuando se requiera para mantener el límite A de la presión en contención.
- Sea requerido por GAS-2 ó GAS-3.

#### **8.1.6. Sección 6. Se ha roto la vasija del reactor.**

No hay un síntoma claro y preciso que indique que se ha roto la vasija del reactor, por lo que cada central deberá de incluir un diagrama lógico que proporcione de la forma más fiable posible, si se ha roto la vasija.

El objetivo de esta sección es inundar la contención por encima del TAF, para refrigerar el corium depositado en su suelo. Para ello se inyecta agua en la contención con las siguientes prioridades:

- Maximizar la inyección de agua a la vasija desde fuentes externas.
- Maximizar la inyección de agua a la contención desde fuentes externas, si no se reduce la inyección de agua a la vasija.

- Maximizar la inyección de agua a la vasija desde la piscina supresión, si no se reduce el caudal de los puntos anteriores.

Durante la ejecución de esta estrategia deben de tomarse las siguientes precauciones:

**Vigilar el límite-B de la presión en la contención.**

- Cuando se aproxima o se excede el límite B, se venteará la contención.
- Si no puede mantenerse límite B y el caudal total a la vasija y a la contención es mayor que MDRID, se detiene la inyección a la vasija y la contención desde fuentes externas, excepto en el caso del riego del pozo seco.

**El rociado del pozo seco.** Cuando se entra en esta sección, hay que dar prioridad absoluta al riego del pozo seco. La única limitación es que haya permisiono del riego del pozo seco, para evitar que la contención esté a depresión. Se emplearán fuentes externas de agua, si el nivel de la contención lo permite y no se pone en peligro el límite B de presión de la contención.

**Venteo de la contención.** Se procederá a ventear la contención en las siguientes condiciones:

- Cuando sea necesario para favorecer la inundación de la contención.
- Cuando se requiera para mantener el límite B de la presión en contención.
- Cuando se requiera por GAS-2 ó GAS-3.

Cuando se ha inundado la contención a la altura del TAF, se detiene la inundación de la contención y se mantiene el nivel de la misma entre la cota del TAF y la del venteo de la contención.

## **8.2. RC/P CONTROL DE PRESIÓN EN LA VASIJA**

El objetivo de este apartado de GAS-1 es asegurar que la vasija del reactor está despresurizada durante las acciones tomadas para inundar la vasija y la contención. La despresurización de la vasija es beneficiosa para la seguridad de la planta ya que evitaría fenómenos como el calentamiento directo de la contención.

Los POEs requieren la despresurización de la vasija antes de comenzar la inundación de la contención. Sin embargo, es posible que cuando se entre en las SAG la despresurización de la vasija o no se haya podido efectuar o esté en marcha. Por tanto, se considera conveniente incluir en las SAG, las medidas correspondientes para despresurizar la vasija.

Se proponen las siguientes estrategias para despresurizar la vasija:

- Poner en funcionamiento el condensador de aislamiento. Este sistema permite una rápida reducción de la presión en la vasija sin pérdida de refrigerante en el sistema de refrigeración del reactor ni adición de energía a la piscina de supresión.
- Despresurizar rápidamente la vasija siguiendo empleando el ADS (“sistema de despresurización automática”). Si alguna válvula del ADS no puede abrirse, se abrirá otra válvula de alivio/seguridad.

- Si no es posible despresurizar la vasija con los medios anteriores, se emplearán medios alternativos, que se describen en la guía y que son específicos de cada planta.

Una vez conseguida la despresurización de la vasija, se mantendrá despresurizada usando cualquiera de los sistemas empleados para su despresurización.

A continuación, se llevará la planta a condiciones de parada fría.

### **8.3. RC/Q CONTRPOL DE POTENCIA DEL REACTOR**

Los requisitos pedidos de este apartado sólo se llevan a cabo si el reactor no es subcrítico. Los POEs requieren la subcriticidad del reactor antes de comenzar la inundación de la contención. Sin embargo, es posible que cuando se entre en las SAG, no se haya podido conseguir la subcriticidad. Por tanto, es conveniente incluir en las SAG las medidas correspondientes para hacer subcrítico el reactor.

Se proponen las siguientes estrategias para hacer subcrítico el reactor:

- Colocar el selector de Modo del reactor en PARADA.
- Se genera una señal diversa y redundante de scram por el sistema de protección del reactor.
- Iniciar el ARI.
- Insertar las barras de control. La SAG 1 recoge todos los métodos posibles para insertar las barras de control, algunos de ellos son: desenergizar las válvulas solenoides de scram, ventear el colector de aire de scram, hacer scram individual de barras, etc.
- Inyectar boro en la vasija del reactor con el sistema de veneno líquido (SLC).

## **9. LA SAG-2. CONTROL DE LA CONTENCIÓN Y DE LAS EMISIONES AL EXTERIOR DE LOS PRODUCTOS RADIOACTIVOS**

Los objetivos de esta guía son los siguientes:

- Proteger los equipos situados en la contención primaria y secundaria.
- Mantener la integridad de la contención primaria y secundaria.
- Limitar la liberación de productos radiactivos al exterior procedentes de la contención primaria ó secundaria.

Los parámetros que controla esta guía son los mismos que se controlan en los POEs con la excepción de la radiación de la contención primaria. Cuando se tiene que utilizar la SAG-1, es decir, cuando se requiere la inundación de la contención, se abandonan los POEs y se entra en las tres SAG.

Las secciones siguientes se deben de ejecutar de forma simultánea.

### **9.1. SP/T. VIGILANCIA Y CONTROL DE LA TEMPERATURA DE LA PISCINA DE SUPRESIÓN**

El objetivo de esta sección es vigilar y mantener la temperatura de la piscina de supresión por debajo del límite permitido por las especificaciones técnicas de la central.

Para conseguir este objetivo, se pone en marcha el LPCI en el modo de refrigeración de la piscina de supresión, si se cumplen las siguientes condiciones:

- Se puede mantener el nivel de agua en la vasija por encima del TAF.
- No se va a reducir la inyección de agua a la vasija ni a la contención.

### **9.2. DW/T. VIGILANCIA Y CONTROL DE LA TEMPERATURA DEL POZO SECO**

El objetivo de esta sección es vigilar y mantener la temperatura del pozo seco por debajo del límite permitido por las especificaciones técnicas de la central.

Para conseguir este objetivo, se emplean los enfriadores del pozo seco disponibles (este sistema no es de seguridad en muchas centrales BWR).

Se pondrá en marcha el rociado del pozo seco, siempre y cuando lo permita la GAS-1, antes de alcanzar el menor valor de las dos temperaturas siguientes:

- Temperatura de diseño del pozo seco.
- Temperatura de cualificación del sistema de despresurización de emergencia del núcleo.

### **9.3. PC/P. VIGILANCIA Y CONTROL DE LA PRESIÓN DE LA CONTENCIÓN PRIMARIA**

El objetivo de esta sección es vigilar y controlar la presión de la contención primaria.

Para conseguir este objetivo, se proponen las siguientes estrategias:

- Antes de que la presión del toro alcance un valor umbral y si lo autoriza GAS-1, se pondrá en marcha el sistema de rociado del toro.
- Cuando la presión del toro supere el valor umbral anterior y si lo permite GAS-1, se pondrá en marcha el sistema de rociado del pozo seco.
- Antes de que la presión en la contención alcance el límite C, se venteará la contención.

### **9.4. PC/R. VIGILANCIA Y CONTROL DE LA RADIACIÓN DE LA CONTENCIÓN PRIMARIA**

El objetivo de esta sección es vigilar y controlar la radiación de la contención primaria. La radiación en la contención de las centrales BWR se mide en el pozo seco ó en el toro, pero raramente en los dos sitios.

Para conseguir este objetivo, antes de que el nivel de radiación en la contención alcance el valor que requiere la declaración de Emergencia General y si lo permite GAS-1, se pondrá en marcha el sistema de rociado del pozo seco y del toro.

### **9.5. SC/T. VIGILANCIA Y CONTROL DE LA TEMPERATURA DE LA CONTENCIÓN SECUNDARIA**

Las estrategias propuestas para mantener la temperatura de la contención secundaria dentro de valores aceptables son las siguientes:

- Poner en funcionamiento todos los enfriadores de sala disponibles.
- Si la radiación en la ventilación de la contención secundaria es baja, poner en marcha esta ventilación. Estos sistemas de ventilación funcionan en operación normal, pero no son de seguridad. Si tienen que estar aislados durante un accidente severo, se pondrá en marcha el sistema de reserva de tratamiento de gases. Este sistema de seguridad mantiene la contención secundaria a depresión en caso de accidente base de diseño, retiene en la contención secundaria los productos de fisión que se fugan de la contención primaria y los filtra antes de arrojarlos al exterior.
- Se aíslan todos los sistemas que están descargando en la contención secundaria, cuando la temperatura está por encima del nivel máximo de operación normal, siempre que dichos sistemas no sean requeridos para:
  - Apagar un fuego. Se considera prioritaria esta función por el peligro que esta situación tanto para la seguridad de la central como del personal que trabaja en ella.
  - Sistemas que tienen que funcionar por exigencias de GAS-1. Se consideran prioritarios los objetivos de GAS 1 frente al mantenimiento de la integridad de la contención secundaria.

### **9.6. SC/R. VIGILANCIA Y CONTROL DE LA RADIACIÓN DE LA CONTENCIÓN SECUNDARIA**

Un nivel de radiación alto en la contención secundaria puede indicar una fuga desde el sistema de refrigeración del reactor bien directamente o indirectamente a través de sistemas secundarios.

- Si la radiación en la ventilación de la contención secundaria es baja, poner en marcha esta ventilación. Ver el comentario sobre estos sistemas contenido en SC/T.
- Se aíslan todos los sistemas que están descargando en la contención secundaria, cuando el nivel de radiación esté por encima del valor de operación normal, siempre que dichos sistemas no sean requeridos para:
- Apagar un fuego. Ver el comentario sobre estos sistemas contenido en SC/T.
- Sistemas que tienen que funcionar por exigencias de GAS-1. Ver el comentario sobre estos sistemas contenido en SC/T.

### **9.7. SC/L.VIGILANCIA Y CONTROL DEL NIVEL DE AGUA DE LA CONTENCIÓN SECUNDARIA**

Se proponen las siguientes estrategias para evitar inundaciones de la contención secundaria.

- Se ponen en funcionamiento las bombas de sumideros disponibles.

- Se aíslan todos los sistemas que están descargando en el área afectada, cuando no puede mantenerse el nivel de agua de la operación normal, siempre que dichos sistemas no sean requeridos para:
- Apagar un fuego. Ver el comentario sobre estos sistemas contenido en SC/T.
- Sistemas que tienen que funcionar por exigencias de GAS-1. Ver el comentario sobre estos sistemas contenido en SC/T.

## **9.8. RR. VIGILANCIA Y CONTROL DE LA LIBERACIÓN DE PRODUCTOS RADIATIVOS**

Las estrategias propuestas en esta subsección son las siguientes:

- Se aíslan los sistemas conectados con el sistema de refrigeración del reactor que están descargando fuera de la contención primaria y secundaria, excepto los que se requieren por las GAS.
- Se arranca la ventilación de los edificios de turbina, desechos radiactivos y servicios. El acceso a estos edificios puede ser muy importante para la seguridad de la central, por lo que deben de garantizarse las mejores condiciones de habitabilidad. Además, al no ser edificios estancos, la posible radiactividad contenida en ellos se liberaría a nivel de suelo si no funciona la ventilación.

## **10. GAS-3. CONTROL DE HIDRÓGENO**

La contención Mark I está inertizada con N<sub>2</sub> durante la operación normal de la planta. En cambio, la contención Mark III no está inertizada pero si está equipada con quemadores de hidrógeno. Estas medidas de control de hidrógeno fueron solicitadas por la NRC como consecuencia del accidente de TMI.

La combustión de hidrógeno en la contención primaria puede originar un pico de presión que puede dañarla. Además, la alta temperatura y la onda expansiva podría dañar equipos necesarios para la parada de la planta, este modo de combustión del hidrógeno se denomina deflagración. El aumento de presión en la contención debido a una deflagración de hidrógeno depende de tres magnitudes: la concentración de hidrógeno, la concentración de vapor y la presión inicial en la contención. Se dice que estos tres parámetros están por debajo del límite de sobrepresión por deflagración de hidrógeno, cuando el pico de presión originado por una deflagración de hidrógeno no rompe la contención.

### **10.1. CONTENCIÓN MARK I. CONTROL DE HIDRÓGENO/OXIGENO**

El objetivo de esta guía es controlar las concentraciones de gases combustibles en el pozo seco y en el toro.

Se vigilan y controlan las concentraciones de hidrógeno y oxígeno, porque ambos son necesarios para producir la combustión.

Se debe tener vigilada la concentración de hidrógeno y oxígeno en el pozo seco y en el toro. Si la instrumentación de vigilancia está inoperable se toman muestras a través del sistema de muestras post-accidente, siempre que las

condiciones radiológicas lo permitan. Las estrategias a emplear dependen de la concentración de hidrógeno y oxígeno. Aquí nos limitaremos a explicar el caso más limitante para la seguridad.

Si la concentración de oxígeno en el pozo seco está por encima de los límites de deflagración (5%) o indeterminada y la concentración de hidrógeno en el pozo seco ó en el toro está por encima del límite de deflagración (6%), se procederá de la siguiente forma:

- Se paran los ventiladores del pozo seco para evitar riesgo de chispas.
- Se ventea el pozo seco con independencia de los vertidos al exterior.
- Se purga el pozo seco con aire ó nitrógeno, el método más rápido para que no se alcancen los límites de inflamabilidad.
- Regar el pozo seco, si lo permite GAS-1.

### **10.2. CONTENCIÓN MARK III**

La guía recomienda que se tenga vigilada la concentración de hidrógeno en todo momento.

Si la concentración de hidrógeno en la contención y en el pozo seco está por debajo del límite de sobrepresión por deflagración de hidrógeno, se pondrán en funcionamiento los quemadores de hidrógeno.

No se pondrán en funcionamiento los quemadores de hidrógeno de la contención ó del pozo seco, hasta que no pueda determinarse que la concentración de hidrógeno en esas zonas está por debajo del límite de sobrepresión por deflagración de hidrógeno.

Cuando los quemadores de hidrógeno están desenergizados y cuando no se puede asegurar que la concentración de hidrógeno en la contención está por debajo del límite de sobrepresión por deflagración de hidrógeno; no se pondrán en funcionamiento ni el sistema de mezcla de hidrógeno, ni los recombinadores térmicos de hidrógeno y, además, se procederá a ventear la contención independientemente de los vertidos al exterior hasta que se pueda garantizar que se está por debajo del límite de sobrepresión por deflagración de hidrógeno.

## **11. OTROS ASPECTOS DE LA GESTIÓN DE ACCIDENTES SEVEROS**

Además de las guías de accidentes severos descritas en las anteriores secciones, hay otros aspectos que deben de tenerse en cuenta durante la gestión de un accidente severo:

- La ayudas de cálculo.
- La instrumentación.
- El entrenamiento.

A continuación se abordará brevemente cada uno de estos aspectos.

### 11.1. LAS AYUDAS DE CÁLCULO

Son gráficos que ayudan a diagnosticar la situación de la planta y a responder a ciertos aspectos plantados por las guías de gestión de accidentes severos.

En el caso de las centrales PWR son siete y se necesitan de uno a tres parámetros de entrada para obtener el resultado buscado. A continuación, se hará una breve descripción de alguna de ellas.

- **Caudal de inyección de agua a la vasija.** Indica el caudal necesario para extraer el calor de desintegración, oxidación, el calor almacenado en la vasija, y llenarla de agua. La respuesta de la ayuda de cálculo es la siguiente:

- Éxito probable.
- Caudal insuficiente.
- Éxito incierto.

- **Inflamabilidad del hidrógeno en contención.** La ayuda de cálculo consta de varias figuras que contienen gráficos lineales y de áreas. Los gráficos de área se utilizan para saber si una combinación de hidrógeno y presión en la contención es inflamable o no y si lo es, saber si representa un riesgo alto para la integridad de la contención.

Los gráficos lineales se utilizan para estimar la concentración de hidrógeno, si no se sabe la concentración real. Esta estimación se hace basándose en el Zr oxidado.

- **Posibilidad de fallo de la contención por desinertización.** Uno de los posibles impactos negativos de muchas guías de accidente severo en los PWR es que la actuación del sistema de rociado de la contención desinertice la atmósfera y la posible deflagración de hidrógeno rompa la contención. Estas hojas de cálculo proporcionan la información necesaria para conocer si la desinertización de la contención puede originar una deflagración de hidrógeno que lleve al fallo de la contención. También informan del valor máximo al que se puede reducir la presión en contención, sin crear un riesgo alto de fallo por deflagración.
- **Caudal liberado al exterior a través del venteo de la contención.** Esta ayuda de cálculo no se utiliza para decidir si se debe de ventear la contención, sino para conocer el máximo caudal de gases de la atmósfera de la contención que se arrojarían al exterior, si se decide emplear el venteo de la contención.
  - **Relación nivel-volumen de agua en contención.** El nivel de agua en la contención es muy importante para refrigerar el núcleo y prevenir la interacción núcleo fundido-hormigón. Pero no es aconsejable una subida del nivel de agua sin criterio, porque se pueden dañar equipos vitales. Esta ayuda de cálculo proporciona información para saber hasta donde se puede llenar de agua la contención.

Las guías de gestión de accidentes severos también contienen una serie de gráficas que ayudan en la implantación de la correspondiente estrategia. A continuación, se describen algunas de estas curvas.

- **Permisivo de riego del pozo seco.** En esta gráfica, los ejes de coordenadas son la temperatura y la presión en el pozo seco y representa los valores de estas dos variables en los que puede ponerse en marcha el rociado del pozo seco sin que se produzca su fallo por depresión.
- **Límite de presión de la contención primaria.** La presión límite de la contención es una función de la temperatura y del nivel de agua en la contención. Se encuentran gráficas de la presión límite en función del nivel de agua en la contención, con la temperatura de la contención como parámetro.

## 11.2. INSTRUMENTACIÓN

Hasta el momento, la NRC no ha solicitado la instalación de instrumentación adicional en las centrales nucleares para obtener información en caso de accidente severo. La instrumentación instalada por diseño en la planta no está cualificada para un accidente severo, pero puede proporcionar información útil en este tipo de accidentes.

Las adversas condiciones ambientales de un accidente severo hacen que sea secundario la exactitud de la lectura proporcionada por el instrumento. Por esta razón, no es aconsejable incluir en las guías datos sobre errores e incertidumbres de la instrumentación de la planta. En un accidente severo es muy importante analizar la tendencia en las medidas de los instrumentos y se debe emplear, siempre que se pueda, instrumentación alternativa para obtener información sobre la situación de la planta.

La ref. 5 da un breve resumen sobre la fiabilidad de la instrumentación en caso de severo en centrales PWR. Esta información es específica de la central de Farley, pero es ilustrativa del uso y limitaciones de la instrumentación de una central PWR diseñada por Westinghouse en caso de accidente severo.

- **Instrumentación en la vasija del reactor.** La medida de nivel en la vasija y el margen de subenfriamiento son inútiles en caso de fusión del núcleo. Los termopares de salida del núcleo no proporcionan mucha exactitud tras la relocalización del núcleo.

La presión de la vasija del reactor puede ser fiable para bajas presiones, pero sólo si se toman tendencias. La fiabilidad de los valores proporcionada por estos medidores es función de la presión en la contención, cuando la presión es alta la presión de la vasija es menor que la lectura obtenida.

- **Instrumentación de los generadores de vapor.** El nivel de agua del generador de vapor, especialmente el de rango ancho, puede ser útil en todas las fases del accidente, sobre todo para transitorios con alta presión en la contención. Los errores de la instrumentación tienen un impacto mínimo en la toma de decisiones.
- **Instrumentación en la contención.** Los medidores de presión pueden ser útiles durante todo el accidente severo, si bien presentan algunas limitaciones en el rango superior.

Los medidores de radiación también serán útiles, aunque no sean una indicación directa para diagnosticar un accidente severo.

Los medidores de la concentración de hidrógeno sólo serán útiles hasta que falle la vasija. Una vez fallada, se considera que los aerosoles pueden taponar las líneas. Tampoco son capaces de medir la concentración de CO.

La medida del nivel de agua en la contención puede ser útil hasta el fallo de la vasija. Después del fallo, la ebullición del agua puede hacer inestable la lectura del instrumento. Además, el bajo rango de este instrumento en Farley le hace poco útil cuando se descarga a la contención una cantidad de agua mayor que un depósito de agua para la recarga.

### **11.3. LOS PROGRAMAS DE ENTRENAMIENTO**

Los programas de entrenamiento son muy específicos de planta. Por lo tanto, volveremos a usar la ref.5 para dar unas indicaciones de algunas de los problemas del entrenamiento. Al igual que en la sección 11.2, se subraya que esta información es específica de la central de Farley, pero es ilustrativa de las peculiaridades del entrenamiento en caso de accidente severo.

Esta central realiza periódicamente entrenamientos sobre aspectos concretos de las guías de accidentes severos.

Durante la aplicación de las guías de accidentes severos, se ha observado que es difícil de asimilar el empleo de la instrumentación en un accidente severo (más pendiente de las tendencias que de la exactitud del instrumento) y también causa extrañeza el hecho que no se incluyan errores e inexactitudes de los instrumentos.

Se ha comprobado que el manejo de las ayudas de cálculo no ha presentado problemas.

La transición de POEs a las guías de gestión de accidentes severos desde sala de control fue clara y bien entendida, si bien se han observado algunas dificultades en el paso desde el POE de refrigeración inadecuada del núcleo a las guías de accidentes severos.

Resultó muy dificultoso familiarizarse con las guías de accidente severo y de riesgo grave, debido a problemas de factores humanos. En concreto, se observó que las guías mandan consultar una serie de tablas que están al final de la guía. El ir y venir desde la guía a la tabla consume mucho tiempo y hace que el personal del CAT no pueda centrarse en la estrategia todo el tiempo que sería deseable. También dio muchos problemas, el balance entre aspectos positivos y negativos de las estrategias, así como el hecho de que no sean procedimientos sino guías causa problemas en el personal de la planta, muy acostumbrado a los procedimientos en todas las actividades de la central.

Se analizó con mucho detalle el instante inicial de la actuación del CAT, aquí en el que se utiliza el DFD y el árbol de riesgo severo. Se observó que un solo evaluador no puede atender toda la información procedente de quienes ponen en marcha una estrategia, se necesitan al menos dos evaluadores y métodos simplificados para facilitarles su trabajo.

## 12. INCORPORACIÓN NUEVAS GUÍAS POST-FIKUSHIMA. GENERALIDADES

Tras el accidente de Fukushima las acciones inmediatas en el contexto internacional, conocidas como “stress tests”, fueron dirigidas a la inspección y evaluación de la capacidad de respuesta de las instalaciones ante situaciones de pérdida total de potencia (SBO, *Station Blackout*), inundaciones y combinaciones de accidentes extremos fuera de su base de diseño, además de otras acciones de mejora. Entre otros, los aspectos más significativos abordados en los Planes de Acción Internacionales han sido:

- Diversidad y robustez de sistemas y estrategias de suministro eléctrico
- Instrumentación de la piscina de combustible gastado (nivel, temperatura, radiación)
- Sistema de venteo filtrado de la contención (SVFC)
- Robustez del diseño frente a inundaciones
- Robustez del diseño frente a sismo
- Diseño de estrategias y procedimientos, incluyendo las fases iniciales de gestión de la emergencia
- Diversidad y polivalencia de equipos de emergencia
- Comunicaciones y refuerzo de medios humanos
- Equipos FLEX.

Como consecuencia de estas acciones, la dimensión que ha adquirido la organización de la emergencia, tanto externa como interna, se ha desarrollado de forma muy relevante, en torno a dos conceptos nuevos:

**CONCEPTO FLEX:** Referido a la flexibilidad y polivalencia de los medios disponibles para gestionar la emergencia, como principal característica para hacer frente a las combinaciones de sucesos adversos, junto con un diseño de estrategias denominada “plug and play” para su acción rápida. Como resultado se pretende disponer de mayor capacidad de maniobra desde los puntos de vista tanto organizativo como operativo.

**CONCEPTO DE DAÑO EXTENSO:** Referido al impacto en la seguridad de la instalación como consecuencia de combinaciones desfavorables de accidentes en la instalación con sucesos externos o internos, como grandes incendios, terremotos, inundaciones, caídas de avión e, incluso, acciones humanas malevolentes, junto con la pérdida total prolongada de suministro eléctrico (ELAP, *Extended Loss of Alternating Current Power*, superior a 72 horas), de forma que se pierda el control de la operación de la planta tanto desde la sala de control principal como desde los paneles de parada ubicados en otras áreas.

La estructura de la organización de la emergencia en los casos de daño extenso ha desarrollado estrategias de gestión (GEDE) y estrategias de disponibilidad de equipos para la mitigación de las consecuencias accidentales

(GMDE). Funcionalmente, las estrategias priorizan el aporte de agua al primario, a la piscina de combustible gastado y a las ESC vitales para la extracción del calor generado en el reactor, para lo cual los equipos FLEX se dimensionan de forma que puedan acometer simultáneamente estas funciones con la extinción de incendios.

Las guías de daño extenso (GEDE, GMDE) se integran en la estructura de la emergencia de la instalación como un complemento a los Procedimientos de Operación de Emergencia (POE) y Guías de Gestión de Accidentes Severos (GGAS) ya existentes, con el fin de proporcionar la mayor flexibilidad que puede ser vital en una emergencia de daño extenso. Por tanto, es importante destacar que las GEDE y GMDE no sustituyen otros procedimientos o guías, sino que coexisten con estos a través de los propios planes de emergencia para incrementar el nivel de defensa en profundidad de la instalación en caso de que la evolución de cualquier accidente pueda ir más allá de la base de diseño hasta el daño extenso. Se indican a continuación las generalidades más relevantes sobre la aplicación de las guías de daño extenso:

- Las GEDE contienen acciones inmediatas en emergencias de daño extenso, contemplando la posibilidad de pérdida inicial de la estructura de mando y control de la emergencia e incluyendo la activación del Centro de Apoyo a la Emergencia (CAE).
- Las GMDE abordan la mitigación de consecuencias con el uso de sistemas portátiles (FLEX) y polivalentes (p.ej. Bombas portátiles de alta y baja presión, generador diesel portátil...) y estrategias flexibles que puedan ejecutarse simultáneamente (p.ej. extinción de incendio con rociado de piscina de combustible).
- Las GMDE contemplan la habilitación, en condiciones de daño extenso, de equipos ya disponibles en la instalación (p.ej. operación manual de la turbobomba de agua de alimentación auxiliar, aporte de agua a tanques, recuperar instrumentación, etc)
- Las GMDE contemplan el uso de equipos provenientes de la ayuda exterior, organizado desde el CAE.

Para poder implantar las estrategias contempladas en las GEDE y GMDE ha sido necesario implantar una serie de modificaciones de diseño, incluyendo no sólo equipos y sistemas, sino también nuevas estructuras para albergar centros de gestión y apoyo y equipos portátiles. Asimismo, se han realizado los programas de validación de las estrategias. Estas acciones se han integrado en los Planes Internacionales de Acción post-Fukushima de cada país. Todas las estrategias se encuentran actualmente incorporadas en los procesos de los titulares para la gestión de la formación del personal y el mantenimiento actualizado de estos documentos.

### **12.3 BIBLIOGRAFÍA**

1. Westinghouse Owner's Group "Severe Accident Management Guidance" June 1994.
2. BWR Owner's Group "Emergency Procedure and Severe Accident Guidelines". Revision 1. June 1998.
3. NEA/CSNI/R(91)16. "Proceedings of the Specialist Meeting on Severe Accident Management Programme Development; held in Rome; September 23-25, 1991".
4. L. Rebollo "La gestión de accidentes". Curso sobre Accidentes severos en reactores de agua ligera". CTN-51/93.
5. Walter H. Lee, Southern Nuclear Operating Company, United States "J. M. Farley Nuclear Plant SAMG Implementation: Assessment of Training Programs" Workshop on Operator Training for Severe Accident Management and Instrumentation Capabilities during Severe Accidents. Lyon (France), 12-14 Marzo 2001 .NEA/CSNI/R(2001)7

### **13. RELACIÓN CON OTROS TEMAS DEL TEMARIO**

#### **Primer ejercicio**

#### **C. SEGURIDAD NUCLEAR**

8. Clasificación y evaluación de accidentes en centrales nucleares con reactores de agua ligera. Concepto de accidente máximo previsible.
15. Fenomenología de accidentes severos.

#### **Tercer ejercicio**

#### **A. SEGURIDAD NUCLEAR**

4. La contención en centrales nucleares. Tipos. Requisitos. Diseño. Pruebas. Sistemas de salvaguardias asociados a la contención en centrales nucleares.
13. Accidentes base de diseño en reactores de agua ligera. Análisis de accidentes con pérdida de refrigerante. Análisis de accidentes con inserción de reactividad en el núcleo.
16. Procedimientos de operación normal y de emergencia en centrales nucleares. Criterios de elaboración.