

trabajo científico

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1986

Estudios probabilístico de seguridad

Bases para el estudio

por Lic. Hugo Perl

1. Aspectos básicos

1.1 Introducción

Los análisis de riesgos probabilísticos (PRA-Probabilistic Risk Analysis), de uso corriente en los más importantes países del mundo en los análisis de seguridad de centrales nucleares, pueden dividirse en dos partes principales:

- i) desarrollo de eventos de implicancia en la seguridad, y
- ii) evaluación de las consecuencias radiológicas a las que conducen esos eventos.

En el presente informe se presenta el programa de la parte i), evaluación de la evolución del accidente, del estudio probabilístico de seguridad (EPDS) de la Central Nuclear Embalse (C.N.E.).

El desarrollo de los eventos se realiza, como es usual en este tipo de análisis, mediante los pasos:

1. identificación de los eventos iniciantes a ser considerados, y
2. análisis de eventos y de confiabilidad (árboles de eventos y árboles de fallas, respectivamente).

Los análisis probabilísticos, herramienta fundamental en la eva-

luación de los riesgos potenciales de la operación de centrales nucleares, han contribuido a:

- a) detectar aspectos del diseño relacionados con la seguridad que pueden ser optimizados;
- b) mejorar la planta en dichos aspectos detectados; en algunos casos, estos cambios han evitado fallas y en otros han evitado consecuencias indeseadas de dichas fallas.
- c) predecir el comportamiento general de la planta en condiciones anormales;
- d) preparar los procedimientos en situaciones anormales.

Análisis probabilístico del tipo mencionado aplicados a centrales nucleares CANDU, han sido realizados por AECL bajo la nominación de Matrices de seguridad de diseño (Safety Design Matrices [SDM]).

En algunos casos los análisis realizados en estos SDM pueden ser considerados de aplicación a la C.N.E., con modificaciones de poca significación; en otros casos no pueden ser aplicados debido a diferencias en el diseño de los sistemas o por las diferencias que aparecen en relación al emplazamiento o que derivan de la aplicación de las normas de licenciamiento argentinas.

Debido a las diferencias mencio-

nadas y que las frecuencias de los eventos iniciantes correspondientes resultan significativas se realizan los siguientes estudios:

- i) EDPS-1 Suministro de agua de refrigeración;
- ii) EDPS-2 Suministro de energía eléctrica;
- iii) EDPS-3 Generadores de vapor como sumidero de calor;
- iv) EPDS-4 Accidentes con pérdidas pequeñas de refrigerante;
- v) EPDS-5 Suministro de aire para instrumentos;
- vi) EPDS-6 Operación del sistema de refrigeración de parada.

1.2 Desarrollo

1.2.1 Condiciones iniciales de la planta

Para todos los estudios, excepto para el EPDS-6 en el cual se supone el reactor extinguido, se supone que la planta está ope-

Hugo Perl, es Licenciado en Ciencias Físicas en la Universidad de Buenos Aires. Desde 1969 ha desplegado una intensa actividad en el campo nuclear (CNEA), es autor de numerosas publicaciones y ha participado como expositor en reuniones científicas dentro y fuera del país. Desde 1985 se desempeña como Jefe del Departamento Seguridad Nuclear y Licenciamiento de la Dirección de Centrales Nucleares.

rando a plena potencia y que todos los sistemas auxiliares están operando en su condición "normal" y dentro de sus rangos normales de control.

Los equipos en reserva pueden hallarse en mantenimiento y/o inspección, suponiendo que las políticas y procedimientos de operación permitan tales acciones durante la operación a plena potencia. Tales verificaciones y operaciones de mantenimiento tienen lugar dentro de los cronogramas normales aprobados. Un equipo puede estar en estado de falla, si esto no afecta la producción a plena potencia y no hay alarma que indique la falla al operador en la sala de control.

1.2.2 Generación de eventos iniciantes

Con el objeto de identificar el conjunto más completo posible de eventos iniciantes, punto de partida de los análisis EPDS mencionados, se utilizan dos procedimientos complementarios. Por un lado se lo obtiene de un estudio sistemático del diseño de la planta y por el otro de los análisis básicos de cada uno de los EPDS.

El estudio sistemático de la CNE realizado (Ref. 1) muestra el espectro total de los eventos iniciantes que pueden tener incidencia directa o indirecta en la seguridad. Los eventos se agrupan en categorías de acuerdo al tipo de evaluación de seguridad que se defina; en el presente caso esos eventos son los que corresponden a la categoría de análisis probabilístico. Esta revisión sistemática contribuye a que no se omitan familias de eventos iniciantes.

En las Bases para el Estudio de cada EPDS se presentan, a través de la revisión de las funciones de los sistemas involucrados y consideraciones que surgen del deterioro de dichas funcio-

nes, todos los modos de falla correspondientes al estudio en cuestión. Los modos de falla son clasificados en:

- I) sin incidencia en la seguridad;
- II) de incidencia no significativa en la seguridad.
- III) de incidencia significativa en la seguridad.

De cada categorización resulta la propuesta de modos de falla que son estudiados en detalle; compatibilizando dicho conjunto con la lista producida en el estudio sistemático, se obtiene un grupo de eventos iniciantes de incidencia significativa en la seguridad que son cubiertos en los EPDS.

Los otros modos de falla, identificados en las descripciones de los estudios, no requieren un análisis de secuencia; en tales casos se provee una explicación cualitativa de sus desarrollos.

1.3 Método de Análisis

1.3.1 Frecuencia de eventos iniciantes

La frecuencia de los eventos iniciantes utilizada es empírica en los casos en que se dispone de una estadística suficiente, de lo contrario se la estima usando el método de árbol de fallas.

Los árboles de falla se construyen tomando el evento iniciante como "evento tope" (top event) e incluyen fallas hasta las interfaces con los sistemas de servicio de acuerdo a lo referido en cada uno de los estudios específicos.

En cada caso se usan los datos estadísticos disponibles para cada tipo de falla, cada EPDS justificará estas estimaciones caso por caso.

1.3.2 Análisis de secuencia de eventos

Los eventos iniciantes de inci-

dencia significativa en la seguridad están sujetos a un análisis completo de secuencias.

El proceso de análisis de la secuencia de eventos es el siguiente:

Para cada evento iniciante se construye primero un diagrama de secuencia de eventos completo. Estos diagramas muestran la respuesta de cada sistema a los eventos iniciantes e identifican los procesos relevantes, los subsistemas y acciones del operador necesarios para mitigar los efectos de los eventos iniciantes y obtener condiciones estables de la planta. No se hacen cálculos probabilísticos usando estos diagramas, éstos se usan sólo para establecer el cuadro de secuencias posibles de eventos y para identificar requerimientos relevantes de proceso para la mitigación, requerimientos para el operador y posibles alarmas e indicaciones.

De modo de evitar los "entrecruzamientos", repeticiones, iteraciones o superposiciones de secuencias de eventos en los EPDS se reforman las secuencias de eventos completas. Los cálculos probabilísticos de cada EPDS se realizan entonces sobre los eventos que resultan de las secuencias reformadas.

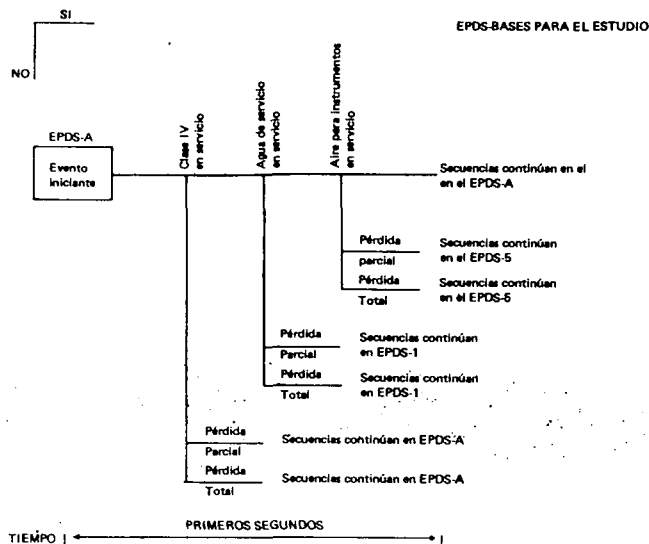
La secuencia de eventos reformada, que denominamos árbol de eventos (figura 1), resulta de excluir de la secuencia de eventos completa aquellas secuencias que involucren fallas de sistemas de servicio que aparezcan en otros EPDS y que resulta más apropiado que las mismas sean analizadas en alguno de esos otros estudios.

En la figura 1 se muestra un caso típico de reforma de una secuencia de eventos en

¹ Couto, Alicia: "Estudio Sistemático de Generación de Eventos Iniciantes". Informe interno del Depto. SENyL. Gcia. de Ingeniería - D.C.N.

Figura 1

Ilustración del escrutinio jerárquico de eventos del sistema de servicio para el análisis de secuencias de eventos



un EPDS, denominado genéricamente A. En los "primeros segundos" después de producido el evento iniciante se producen típicamente fenómenos que pueden dar lugar a la pérdida de sistemas de servicio. En consideración a estos hechos es que se realizan los cambios como el ejemplificado.

En el caso como el de la figura 1 en que la pérdida total o parcial de Clase IV está directamente vinculada al evento iniciante, la secuencia de eventos resultante se considera como parte del EPDS A en consideración. Si en cambio los sistemas de servicio fallan como consecuencia del evento iniciante, o sea desencadenado por el mismo y no están directamente vinculados al evento desencadenante, como en el caso del sistema de agua de servicio y el de aire comprimido del ejemplo, entonces las secuencias derivadas son analizadas en los estudios correspondientes (EPDS-1 y EPDS-5 respectivamente).

Todas las secuencias están sujetas a este escrutinio jerárquico y a las transferencias de secuencias. Este escrutinio jerárquico permite separar los sistemas

principales de los cruzamientos en las primeras etapas de análisis. En el proceso de combinar árboles de falla para hacer los análisis probabilísticos se espera identificar interrelaciones más sutiles.

Una secuencia de eventos termina cuando se cumplen los siguientes criterios:

- a) Se alcanzan condiciones estables de la planta. En este contexto "estable" significa:
1. la planta está parada,
 2. hay un sumidero de calor, disponible y en funcionamiento, para el núcleo, y
 3. puede observarse en todo momento la condición en que se encuentra la planta.

Notar que esto no excluye los estados de la planta en los que hayan ocurrido daños en el núcleo y se hayan liberado productos de fisión. En todos estos casos se calculan las consecuencias del daño y la magnitud de la liberación, y conjuntamente con la frecuencia de ocurrencia, se comparan con los criterios de aceptabilidad.

- b) La frecuencia de la secuencia completa es menor que 10^{-7} eventos/años.

1.3.3 Fuentes de datos para eventos básicos

Los datos usados en cada EPDS relativo a tasas de falla, tiempos de reparación, frecuencia de ensayo, etc. se encuentran en la "Tabla de tasas de falla" en cada uno de ellos, que se usará como parte del estudio. Cada evento básico en el árbol de falla se identificará con un único número. Esta unicidad de la numeración es para lograr que: dos eventos básicos diferentes no puedan tener el mismo rótulo y un mismo evento básico no tenga dos números distintos.

Se observa que la misma lógica de eventos puede ocurrir más de una vez en el mismo árbol de falla, o en distintos árboles de falla del mismo EPDS o en distintos EPDS. Se utilizan programas de computadoras para manejar datos de falla y permitir cálculos rápidos de frecuencias, probabilidades de árboles de falla complejos y sobre todo de combinaciones de árboles de falla.

Se implementarán procedimientos administrativos para manejar datos de fallas, se harán cálculos a mano con aproximaciones para estimar frecuencias y probabilidades.

Las fuentes utilizadas para elaborar las tablas de tasas de falla son, entre otras: IEEE Guide, to the Collection and Presentation of Electrical, Electronic, and Sensing Component Reliability Data for Nuclear-power Generating Stations; Ontario Hydro Recommend R & M Data for Electrical Equipment Report N° 82423; Ontario Hydro Component Failure Data Base for Candu Nuclear Plants Reports 82077 y Rome Air Development Centre Non-Electronic Reliability Notebook.