ANALISIS PROBABILISTICO DE SEGURIDAD

TRATAMIENTO DE DEPENDENCIAS DE SISTEMAS POR EQUIPOS COMPARTIDOS MEDIANTE EL MODELO DE ESTADOS SOPORTE

Manuel AGUINAGA ZAPATA, Joaquín MARTIN BERMEJO, Alejandro ALVAREZ AZA y William E. SHOPSKY

Manuel AGUINAGA ZAPATA es Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad Politécnica de Madrid (1978). Master of Science por la Universidad de Northwestern. Desde 1978 trabaja en Tecnatom, S. A., en diversas áreas relacionadas con la Inspección en Servicio de Centrales Nucleares. Actualmente es el responsable de los trabajos en el área de Fiabilidad, colaborando activamente en el Grupo de Análisis Probabilístico de Riesgos Tecnatom-Westinghouse.

Alejandro ALVAREZ AZA es Ingeniero Industrial por la ETSII de Madrid (1978). En 1983 ingresó en Tecnatom, S. A., desarrollando su actividad dentro del campo de la Fiabilidad y Bancos de Datos de Componentes de Centrales Nucleares. En la actualidad trabaja en el área de la Fiabilidad y Disponibilidad, colaborando con el Grupo de Análisis Probabilístico de Riesgos, formado por Tecnatom y Westinghouse.

Joaquín MARTIN BERMEJO es Licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad de Zaragoza (1975). En 1976 ingresó en Westinghouse Nuclear Española (WNEsp.), donde ha trabajado en los departamentos de Proyectos y Seguridad Nuclear. En 1980 estuvo destinado en la división de Información Pública del OIEA en Viena. En 1982 fue transferido a las oficinas principales de Westinghouse en Pittsburgh, donde permaneció veintiún meses en diferentes grupos de análisis. Desde mayo de 1984 trabaja en el departamento de Seguridad Nuclear, donde en la actualidad es responsable de las actividades desarrolladas por el grupo de Análisis Probabilístico de Riesgos, formado por Tecnatom y Westinghouse.

William E. SHOPSKY es Ingeniero Eléctrico (BSEE) por la Universidad norteamericana de Indiana (1952). Desde 1952 trabaja para Westinghouse Electric Corporation, donde ha ocupado diversos puestos de creciente responsabilidad en diversas Divisiones. En la actualidad ocupa el cargo de Ingeniero Principal en el Departamento de Seguridad Nuclear de la División de Tecnología Nuclear (NTD) de Westinghouse en Pittsburgh (EE. UU.) Mr. Shopsky ha colaborado en la preparación de numerosos estudios probabilísticos de seguridad para centrales nucleares. Entre ellos caben destacar: informe WASH 1400, centrales de Zion, Indian Point, Millstone No. 3, Sizewell y central Italiana de Referencia (PUN).

SUMARIO

Durante la realización de un estudio probabilístico de seguridad (EPS) para una central nuclear, es de gran importancia el tratamiento de las dependencias entre sistemas, puesto que éstas pueden provocar el fallo múltiple y concurrente de varios sistemas. Una de las formas de dependencia más comunes está ocasionada por el hecho de que diferentes sistemas pueden compartir uno o varios equipos para realizar su función. El tratamiento de estas «dependencias por equipos compartidos» es, por otra parte, la principal diferencia entre las distintas metodologías que actualmente se vienen aplicando.

Uno de los posibles métodos para tratar las dependencias entre sistemas por equipos compartidos consiste en la realización del llamado «modelo de estados soporte», cuya principal ventaja es la de reducir drásticamente los recursos informáticos necesarios para este tipo de trabajos.

Dicho método ha sido desarrollado y aplicado a casos particulares por Westinghouse, y se describe con detalle en el presente artículo para un caso específico.

INTRODUCCION

Por dependencias entre sistemas entendemos aquellos sucesos o causas de fallo que crean interdependencias entre las probabilidades de fallo de múltiples sistemas. Dicho en otras palabras, la dependencia entre sistemas hace que la probabilidad de fallo de un sistema en una determinada secuencia de accidente dependa del éxito o fallo de sistemas que actúan antes que él en dicha secuencia.

En términos matemáticos, el hecho de que dos sistemas A y B sean dependientes puede expresarse como:

$$\varnothing (A * B) = \varnothing (A) \varnothing (B/A) \neq \varnothing (A) \varnothing (B)$$

Donde $\varnothing$ (A * B) es la probabilidad de fallo simultáneo de los sistemas A y B, $\varnothing$ (A) y $\varnothing$ (B) las probabilidades de fallo de los sitemas A y B, respectivamente, y $\varnothing$ (B/A) es la probabilidad de fallo del sistema B en el supuesto de que el sistema A haya fallado.

El análisis de dependencias entre sistemas es un aspecto extremadamente importante en un Análisis Probabilístico de Riesgos (PRA) y afecta a la definición y cuantificación de las secuencias de accidente. La NRC identifica en la referencia (1) cuatro tipos de dependencias: 1. Funcionales. 2. Por equipos

compartidos. 3. Físicas. 4. Por interacción humana. El propósito del presente artículo es estudiar las dependencias por equipos compartidos y describir con detalle su tratamiento a través de la realización de un modelo de estados soporte.

Como se define en el capítulo 3 de la referencia (1), las dependencias por equipos compartidos se deben a las dependencias que varios sistemas tienen de los mismos componentes, subsistemas o equipos auxiliares. Por ejemplo: 1. Un conjunto de bombas y válvulas que suministran caudal de inyección y recirculación, cuando dichas funciones de inyección y recirculación aparecen como sucesos diferentes en el árbol de sucesos. 2. Componentes de diferentes sistemas a los que se suministra potencia desde las mismas barras.

Actualmente existen dos metodologías diferentes para el tratamiento de dependencias por equipos compartidos, ambas comparables desde el punto de vista del esfuerzo requerido para el tratamiento de datos. Dichas metodologías se denominan comúnmente:

- Metodología de árboles de sucesos con condiciones de contorno.
- Metodología de unión de árboles de fallos.

No es el propósito de este artículo la discusión de las anteriores alternativas, y para aquellos lectores que deseen más detalles a este respecto, recomendamos la lectura de los capítulos 3 y 6 de la Referencia (1). No obstante, cabe destacar el hecho de que con la primera se obtienen árboles de fallos de pequeño tamaño junto con árboles de sucesos de gran tamaño. Por otra parte, la segunda conduce a la obtención de pequeños árboles de sucesos combinados con árboles de fallos de gran tamaño, cuyo manejo, por medio de códigos de ordenador, resuelve las dependencias por equipos compartidos. En aplicaciones donde se consideran un gran número de sistemas, así como sus dependencias, ambos métodos conducen a árboles bien de sucesos o de fallos, cuyo tamaño hace necesario el empleo de grandes recursos informáticos o imposibilita su manejo.

La realización de un **«modelo de estados soporte»** donde se analizan la mayoría de las dependencias entre sistemas por equipos compartidos puede considerarse como una alternativa al primero de los dos métodos antes citados, y se describe a continuación.

DESARROLLO DEL MODELO DE ESTADOS SOPORTE

El hecho de que en la práctica la mayor parte de las dependencias por equipos compartidos se derivan de que los sistemas que actúan directamente en la mitigación de un transitorio o accidente **(«sistemas de primera línea»)** necesitan de la actuación de determinados **sistemas «soporte»**, tales como el de suministro eléctrico, Agua de Servicios, Refrigeración de Componentes o Sistema de Protección del Reactor, hace posible el desarrollo de un árbol de sucesos separado para modelar el comportamiento de los sistemas soporte independientemente del de los de primera línea.

En líneas generales, la idea consiste en modelar, combinando árboles de fallos con árboles de sucesos, los posibles estados de los diferentes sistemas y componentes relevantes, por su apoyo a los sistemas de primera línea. De esta manera, los sistemas soporte más importantes se extraen de los árboles de sucesos de los sistemas de primera línea, con lo que se logra una presentación clara de las secuencias de accidente. Todas las posibles combinaciones de fallos totales o parciales de los sistemas soporte se identifican a través del modelo de estados soporte.

Una vez definidos los diferentes estados soporte, los árboles de sucesos de sistemas de primera línea pueden ser analizados para cada combinación de fallos de sistemas soporte, lo que, aunque implica una evaluación múltiple de dichos árboles de fallos, reduce su estructura y simplifica el análisis. Esta simplificación y reducción permite tratar el problema de forma gradual y ayuda a determinar el efecto del fallo de sistemas soporte en los sistemas de primera línea.

Las fases más importantes para el desarrollo de un modelo de estados soportes y las interacciones entre las mismas se representan de forma esquemática en la figura I. A continuación, y basándonos en este esquema, describiremos la aplicación más reciente de esta metodología. Dicha aplicación es el estudio (EPS nivel I) realizado en 1984 conjuntamente por ENEL, ANSALDO y WESTINGHOUSE, para evaluar el diseño de la central PWR de referencia en Italia. Las figuras y tablas que se presentan en este artículo han sido extraídas de la referencia 2.

APLICACION AL ESTUDIO ITALIANO

El primer paso para establecer un modelo de estados soporte es identificar los **Sistemas Soporte Dominantes.** Un Sistema Soporte Dominante es aquel del cual depende en gran manera la actuación correcta de los sistemas de primera línea u otros sistemas soporte.

Inicialmente, se consideran una gran cantidad de posibles sistemas soporte, eliminándose aquellos que no cumplan con la definición dada anteriormente. Después de establecer una primera relación, se construye una **«Matriz de Dependencias entre Sistemas»** (Tabla I) con el propósito de definir las dependencias más importantes entre los sistemas principales.

Las dependencias entre sistemas pueden ser divididas en dos tipos:

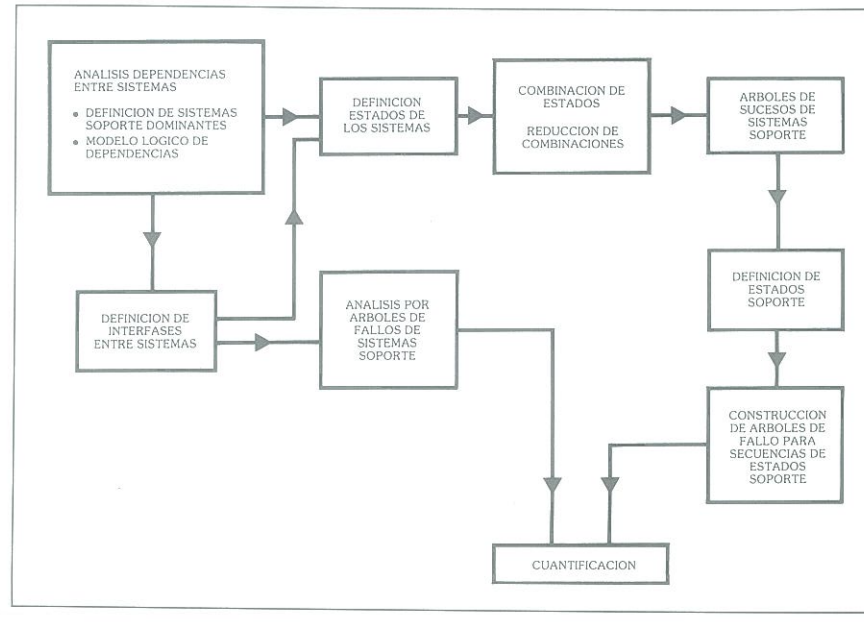
- Dependencia directa, para aquellos casos en los que existe una conexión directa entre un sistema de primera línea y un sistema soporte.
- Dependencia indirecta, para aquellos casos en los que la conexión existe a través de otro sistema con dependencia directa.

En la «Matriz de Dependencias» de la Tabla I se indica la existencia de los dos tipos de dependencia anteriores, si bien, esto no quiere decir que el fallo de un sistema provoque necesariamente el fallo del otro sistema.

De las conclusiones extraídas de la Tabla I, los siguientes sistemas se consideraron como sistemas soporte dominantes y fueron incluidos en el modelo de estados soporte:

- Suministro eléctrico exterior.
- Suministro eléctrico interno (alimentación eléctrica de emergencia de 6 kV y alimentación de emergencia CA/CC).
- Sistema de protección del reactor (IPS).

F I *Fases del desarrollo del modelo de estados soporte.*



T I

MATRIZ DE DEPENDENCIA ENTRE SISTEMAS *

SISTEMA	Potencia Exterior	SUMINISTRO ELECTRICO INTERNO		CCWS	NSWS	ESWS	Secuencia/ IPS-ESF	Sistema de aire para instrumentación esencial	RWST
		CA (Potencia)	CA/CC (I & C)						
1. HHSI (g)	O	X	O	X	O	O (a)	X		X
2. LHSI (g)	O	X	O	X	O	O (a)	X		X
3. Acumuladores									
4. Rociado de Contención (g)	O	X	O	X	O	O (a)	X		X
5. Ventiladores de Contención	O	X	O	X	O	O (a)	X		
6. IPS/Secuenciador	O	O	X						
7. EFWS:									
7.1. Motobombas	O	X	O	O (a)	O (f)	O (a)	X	X	
7.2. Turbo bombas							X	X	
8. ESIS	O	X	O			O (d)	X		
9. Válvulas alivio presionador	O	X	XO			O (d)	X	X	
10. Válvulas descarga Vapor:									
– Al condensador	X		O				X	X (c)	
– Alivio a la atmósfera	O	X	O			O (d)	X	X (b)	
11. Válvulas aislamiento vapor principal (MSIV)			O (e)				X		
12. RHR	O	X	O	X	O	O (a)	O	X	
13. RWST	O	X	O			O (d)	X		
14. Potencia Exterior									
15. Suministro Eléc. Interno:									
– CA (6 KV/380 V)	X		O			X (d)	X		
– CA/CC (110 V/220V)	O	X				O (d)			
16. CCWS	O	X	O		X	X (a)	X		
17. NSWS	X								
18. ESWS	O	X	O				X		
19. Sistema de aire instr. esencial	O	X		X	O	O (a)	X		

(*) X – Dependencia directa. O – Dependencia indirecta.

(a) Sólo cuando NSWS no está disponible.
(b) La operabilidad de estas válvulas se pierde si ambos trenes del aire de instrumentos esenciales fallan.
(c) Las válvulas de alivio a la atmósfera se alimentan del sistema de aire del BOP.
(d) Sólo en condiciones de pérdida de potencia exterior.
(e) Las MSIV fallan cerradas por pérdida de alimentación de I & C.
(f) Dependencia a través de la ventilación de la sala.
(g) Incluye también la fase de recirculación.

– Agua de servicios/Agua de servicios de emergencia (NSWS/ESWS).
– Agua de refrigeración de componentes (CCWS).

(Entre paréntesis se indican las siglas utilizadas para denominar a los sistemas en la terminología anglosajona.)

En el caso que nos ocupa, solamente se consideraron las funciones de actuación de salvaguardias (ESF) del sistema de protección del reactor para su inclusión en el modelo de estados soporte. La función de disparo del reactor se consideró en los árboles de sucesos de los sistemas de primera línea.

En cuanto al depósito de almacenamiento de agua de recarga (RWST) se ha considerado como un sistema más en los árboles de sucesos directamente, cuando esto era necesario. El sistema de aire comprimido se incluyó a su vez en el desarrollo de los árboles de fallos de los diferentes sistemas.

El sistema de agua de servicios (NSWS) suministra caudal de refrigeración al cambiador de calor del tren activo del sistema de refrigeración de componentes (CCWS) en condiciones de operación normales. En casos de que se genera señal S, hay pérdida de potencia exterior o el NSWS falla, se produce la desconexión del NSWS y la actuación automática del sistema de agua de servicios de emergencia (ESWS).

ESTADOS DE OPERACION DE SISTEMAS SOPORTE

El siguiente paso en el proceso es establecer los posibles estados de operación de los sistemas identificados anteriormente.

SISTEMA DE SUMINISTRO ELECTRICO EXTERIOR

Solamente se consideran dos posibles estados:

– N Suministro exterior disponible
– L Suministro exterior no disponible.

SISTEMA DE SUMINISTRO ELECTRICO INTERNO

El sistema de alimentación de emergencia de 6 kV se compone de cuatro barras (A, B, C y D), alimentadas bien por el sistema de suministro eléctrico exterior o por generadores Diesel. En base a la disponibilidad de las diferentes barras pueden obtenerse un total de 16 diferentes estados del sistema, si bien dicho número puede reducirse a 10, basándose en la simetría de las diferentes cargas.

SISTEMA DE PROTECCION DEL REACTOR (IPS)

El sistema de protección del reactor (IPS) está compuesto por cuatro canales redundantes (Denominados I, II, III y IV), cuyos componentes se alimentan del sistema de corriente alterna de 220 V.

Como en el caso anterior de los 16 posibles estados, sólo 10 son significativos debido a la simetría del diseño.

SISTEMA DE AGUA DE SERVICIOS (NSWS/ESWS)

Para el sistema de agua de servicios (NSWS) se han definido dos posibles estados:

– R NSWS disponible.
– S NSWS no disponible.

Como se dijo anteriormente, cuando se genera una señal «S», hay pérdida de suministro eléctrico exterior o por fallo del NSWS, se pasa automáticamente del estado R al estado S. En otras palabras, se dispararía el NSWS y arrancaría el ESWS.

Para el sistema de agua de servicios de emergencia ESWS se han definido tres estados posibles:

– A Ambos trenes disponibles.
– B Sólo un tren disponible.
– C Ningún tren disponible.

SISTEMA DE REFRIGERACION DE COMPONENTES (CCWS)

Para el que se consideran tres posibles estados:

– X Ambos trenes de salvaguardias refrigerados.
– Y Un tren de salvaguardias refrigerado.
– Z Ningún tren de salvaguardias refrigerado.

OBTENCION DE COMBINACIONES DE ESTADOS

El siguiente paso en el proceso consiste en la obtención de todas las combinaciones de los estados, definidos en el paso anterior, compatibles entre sí.

La utilización directa de todas las combinaciones de estados de sistemas soporte para el desarrollo y cuantificación de los árboles de sucesos de primera línea obligaría al análisis de varios miles de combinaciones de secuencias. Sería, en este caso, imposible definir el impacto de todos y cada uno de los estados soporte en los sistemas de primera línea.

En el caso del estudio italiano, y con el fin de reducir el número de estados soporte, se hicieron las siguientes simplificaciones:

- Los estados del sistema de suministro eléctrico CA/CC se definieron conjuntamente con los del sistema de actuación de salvaguardias (ESF).
- Los estados del sistema de suministro eléctrico interno y los del sistema de actuación de salvaguardias (ESF) se combinaron cuando éstos producían el mismo efecto en las salvaguardias actuadas.
- Se realizó una evaluación de interacciones complejas entre sistemas para excluir aquellos estados que resultaban en combinaciones incompatibles. Esta evaluación se realizó en la fase preliminar del desarrollo del modelo.

Un factor a tener en cuenta es el hecho de que el número total de combinaciones de estados, una vez aplicados los puntos anteriores, varía en función del suceso iniciador que se esté considerando. Esto es debido a que la actuación de los sistemas de agua de servicios y agua de servicios de emergencia depende, como ya se ha expuesto anteriormente, del accidente de que se trate. Por esta razón, el modelo de estados soporte se desarrolló para dos tipos de sucesos iniciadores:

- Sucesos que generan señal «S».
- Transitorios.

El primer tipo incluye sucesos tales como accidentes con pérdida de refrigerante (LOCA), rotura de tubos de generador de vapor, roturas de tuberías de vapor principal, señal «S» espúrea y transitorios anticipados sin disparo del reactor (ATWS).

El segundo tipo incluye todo tipo de transitorios que no generan una señal «S», tales como pérdida de caudal de refrigerante, pérdida de agua de alimentación principal, disparo de turbina, etc. La principal diferencia entre los dos tipos definidos anteriormente está en la operabilidad del sistema de agua de servicios.

Tras eliminar estados incompatibles, el número de combinaciones de estados de los sistemas considerados fue de:

- 110 combinaciones para sucesos que generan señal «S».
- 137 combinaciones para transitorios.

ARBOL DE SUCESOS DE SISTEMAS SOPORTE

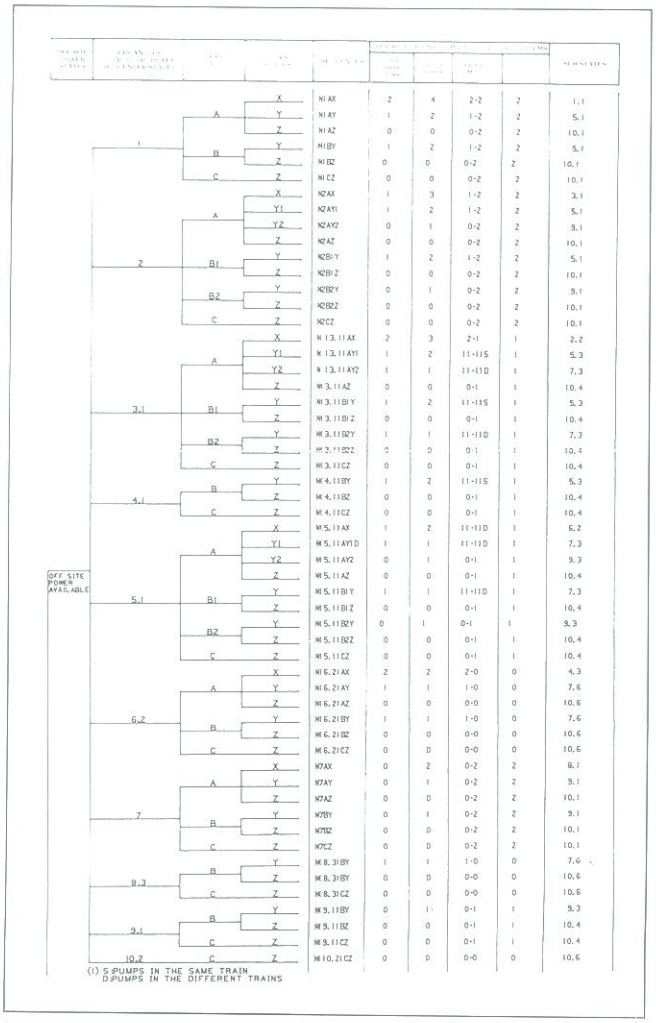
El análisis de combinaciones de estados se lleva a cabo a través de la realización de un árbol de sucesos de estados soporte, tal y como puede verse en la figura II. La información contenida en dicha figura es, sin embargo, suficiente como para obtener una mayor reducción del número de estados soporte.

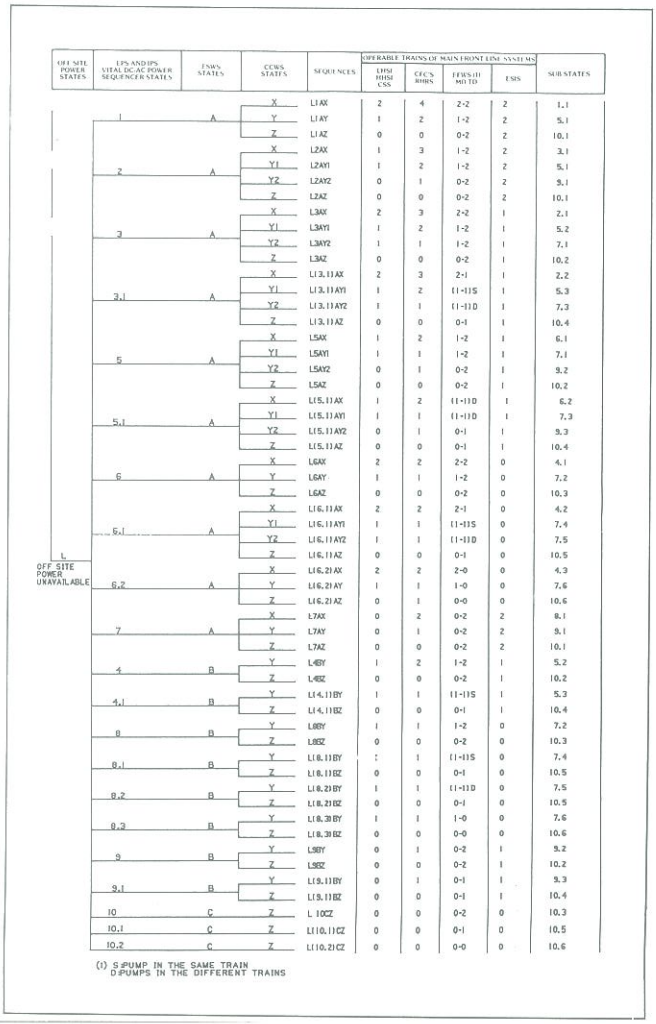
DEFINICION DE ESTADOS SOPORTE Y ESTADOS SOPORTE EQUIVALENTES

Cada una de las secuencias del árbol de sucesos de sistemas soporte de la figura II, representa una de las posibles situaciones en que pueden encontrarse los sistemas soporte de la central que se denomina genéricamente **estado soporte.**

El número de estados posibles (110 para el caso de sucesos que generen señal «S») es, sin embargo, excesivo para tratar de evaluar su impacto en los sistemas de primera línea. No obstante, dicho impacto es equivalente en gran parte de estas combinaciones, por lo que pueden agruparse en un número reducido de estados soporte representativos de todas las combinaciones.

F II *Arbol de sucesos de estados soporte para sucesos que generan una señal «S».*





El análisis sistemático de los sistemas soporte y su interfase con los de primera línea proporciona información suficiente para determinar con precisión el efecto de cada una de las secuencias definidas en el árbol de sucesos de sistemas soporte (figura II) en los componentes de los sistemas de primera línea. El efecto de cada secuencia en los diferentes trenes de los principales sistemas de primera línea se refleja en el árbol de sucesos como un **«vector de efectos»**, que indica el número de trenes operables de los principales sistemas de primera línea.

En este esquema, un tren se considera como el conjunto bomba (o ventilador para el sistema de ventilación de la contención) y las válvulas activas que contribuyen a la actuación correcta de la misma. Los sistemas de primera línea considerados en nuestro ejemplo para la formación del vector de efectos son los siguientes:

- Sistema de inyección de alta presión (HHSI).
- Sistema de inyección de baja presión (LHSI).
- Sistema de agua de alimentación de emergencia (EFWS).
- Sistema de rociado de contención (CS).
- Sistema de ventilación de contención (CF).
- Sistema de extracción de calor residual (RHR).
- Sistema de agua de refrigeración de emergencia a los sellos de las bombas principales (ESIS).

Las 110 secuencias definidas en el árbol de sucesos de la figura II se agruparon en un número manejable de estados soporte, aplicando los siguientes criterios:

- Las combinaciones de estados (o secuencias) con idéntico vector de efecto, se han agrupado para definir un único subestado.
- Los subestados definidos anteriormente se agrupan según la operabilidad de las turbobombas y los trenes del ESIS.

La aplicación de estos criterios condujo a la definición de 28 diferentes subestados, tal como se ve en la figura II, y a los 10 estados soporte que se listan en la tabla II.

CUANTIFICACION

Como último paso para la realización del modelo es necesario obtener la fracción del tiempo que, en el supuesto de un determinado transitorio, las condiciones en las que opera la planta son las descritas por un estado soporte o subestado y que a partir de ahora denominaremos como **«fracción»** correspondiente a dicho estado.

Estas «fracciones» se determinaron mediante la técnica de análisis por árboles de fallos de los diferentes sistemas soporte incluidos en el modelo.

A partir de los modelos de cada sistema, la fracción correspondiente a cada estado soporte se obtiene por aplicación del método de unión de árboles de fallos. En otras palabras, cada secuencia se modela por medio de la intersección lógica de los modelos obtenidos para cada sistema y para un determinado estado soporte se conectan a través de una puerta «O» todos los modelos de las secuencias que definen a dicho estado (o subestado).

Es de resaltar el hecho de que para nuestro ejemplo la base de datos utilizada para la cuantificación de los árboles de fallos del modelo se desarrolló basándose en los resultados de los análisis de disponibilidad de los sistemas soporte. Especificando más, los árboles de fallos se estructuraron en términos de sucesos no desarrollados que describen las indisponibilidades de los diferentes siste-

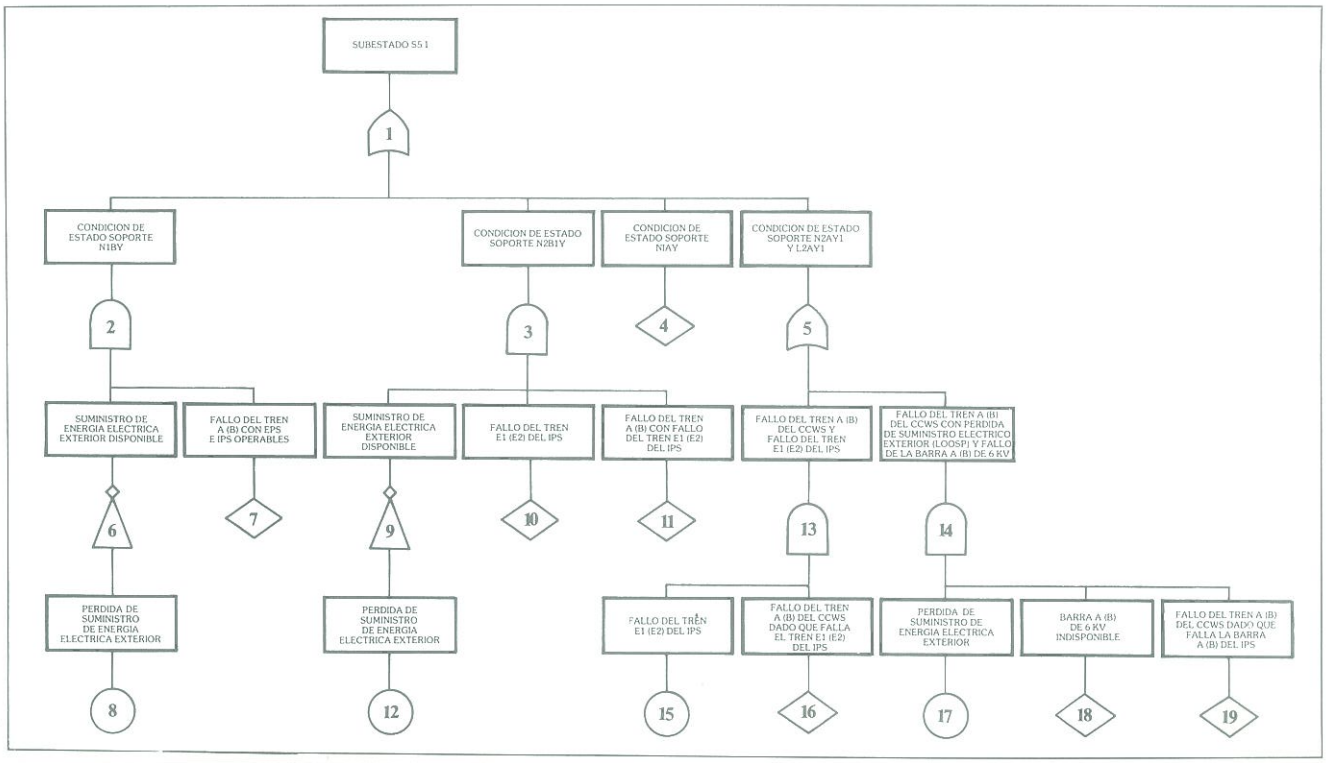
T II

ESTADOS SOPORTE

1. Todos los sistemas soporte disponibles.
2. Una de las dos barras C o D o bien su tren asociado del sistema de actuación de salvaguardias indisponible.
3. Una de las dos barras A o B o bien su tren asociado del sistema de actuación de salvaguardias indisponible.
4. Las dos barras C, D o los trenes asociados del sistema de actuación de salvaguardias indisponibles.
5. Una división (*) del sistema de suministro eléctrico de emergencia o la división asociada del sistema de actuación de salvaguardias o un tren del sistema de agua de servicios o un tren del sistema de refrigeración de componentes indisponible.
6. Dos de las barras (A o B y C o D) de diferentes divisiones, o los trenes del sistema de actuación de salvaguardias asociados indisponibles.
7. Una de las barras C o D o el tren asociado del sistema de actuación de salvaguardias y el recíproco, un tren del sistema de agua de servicios o del sistema de refrigeración de componentes indisponibles.
8. Dos barras A y B o los trenes asociados del sistema de actuación de salvaguardias indisponibles.
9. Una de las barras A o B o el tren asociado del sistema de actuación de salvaguardias indisponibles y el recíproco, un tren del sistema de agua de servicios o del sistema de refrigeración de componentes indisponibles.
10. Pérdida total de por lo menos un sistema soporte y cualquier combinación de indisponibilidad de divisiones recíprocas de diferentes sistemas soporte.

(*) Existen dos divisiones del sistema de suministro eléctrico de emergencia:
(i) División 1: formada por los trenes A y C.
(ii) División 2: formada por los trenes B y D.

F III *Arbol de fallos para el sistema S. 1 en el caso de sucesos que generan señal «S».*



mas soporte. Estas indisponibilidades fueron a su vez obtenidas teniendo en cuenta un conjunto de condiciones de contorno completo, tales como disponibilidad total o parcial de barras de suministro eléctrico de emergencia, señales de actuación de salvaguardias y trenes de refrigeración de salvaguardias.

Debido a simplificaciones introducidas en los modelos de los sistemas soporte y como resultado de las complejas interdependencias entre ellos, cada secuencia puede producirse por un gran número de combinaciones de fallos de los sistemas soporte, lo que hace necesario el desarrollo de árboles de fallo complejos (del orden de varios cientos de elementos) para tener en cuenta las contribuciones de cada sistema.

Como un ejemplo, en la figura III puede verse uno de los árboles de fallos más sencillos de los desarrollados en el caso italiano. El árbol de la figura es para el subestado 5.1 para el caso de existencia de señal «S» visto anteriormente.

INCORPORACION DEL MODELO DE ESTADOS SOPORTE EN EL ANALISIS

La incorporación del modelo de estados soporte en el análisis de las diferentes secuencias definidas en los árboles de sucesos de sistemas de primera línea hace necesario ahora evaluar cada uno de ellos para cada uno de los estados o subestados soporte definidos.

Componentes que en un determinado estado se han supuesto inoperables se introducen como tal en los modelos de los diferentes sistemas en que intervienen, obteniéndose indisponibilidades de sistemas condicionadas a dicho estado soporte.

Es de notar, sin embargo, que en el caso italiano los diferentes subestados han sido combinados en estados soporte, basándose en el hecho de que, excepto para sistemas tales como el sistema de agua de alimentación de emergencia (EFWS), los trenes operables de los sistemas de primera línea pueden considerarse iguales. La indisponibilidad condicionada para los sistemas en los que no se cumple lo anterior se calculó en función de la fracción correspondiente a cada subestado a través de:

$$Pi\,(A) = \sum_{j} \frac{P(Sij) \times P(Aij)}{P(Si)}$$

donde Pi (A) es la indisponibilidad del sistema A en el estado soporte Si, P(Aij) es la indisponibilidad del sistema en el subestado Sij y P(Sij), P(Si) son las fracciones correspondientes al subestado Sij y al estado Si.

Para los demás casos, la indisponibilidad condicionada es la que se obtiene directamente del modelo (árbol de fallos) aplicable.

CONCLUSIONES

Aunque el desarrollo de un modelo de estados soporte requiere un considerable esfuerzo debido a la complejidad de las interacciones entre sistemas y al número de sistemas que pueden considerarse como soporte, proporciona una visión detallada de las interacciones entre dichos sistemas y hace posible una visión general del efecto de los sistemas soporte en los de primera línea.

El modelo puede simplificarse, sin pérdida de precisión, consiguiéndose una reducción importante en los recursos informáticos necesarios y permitiendo un manejo cómodo del mismo.

REFERENCIAS

(1) «PRA Procedures Guide», NUREG/CR-2300, volumen 1, emitido por la «Nuclear Regulatory Commission» (NRC) de los Estados Unidos de América en enero de 1983.

(2) «Support State Modeling for the treatment of intersystem dependence in the Probabilistic Safety Study for Italian ENEL PWR Nuclear Standard Power Stations». Ponencia preparada por los señores A. M. Amendola y M. Genco (ANSALDO-NIRA), P. Moretti (ENEL) y W. E. Shopsky (Westinghouse Electric Corporation) para la conferencia «International ANS/ENS Topical Meeting on Probabilistic Safety Methods and Aplications» en San Francisco (24 de febrero-1 de marzo de 1985).