

Generación de Patrones de Evaluación Probabilista del Mantenimiento.

A. Torres Valle, J. de J. Rivero Oliva, K. Martínez Sánchez.

Dpto. Ingeniería Nuclear.

Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas.

Ave. Salvador Allende y Luaces, Quinta de los Molinos, Plaza.

Telef: 878-5018

E-mail: atorres@fctn.isctn.edu.cu .

(Recibido el 12 de Enero de 2004, aceptado el 6 de Marzo de 2004).

Resumen.

La ecuación booleana representada por los conjuntos mínimos de corte a nivel de un sistema o de todo un Análisis Probabilista de Seguridad (APS) ha sido utilizada para evaluar las configuraciones de salida de servicio de equipos durante la explotación. Ello se ha realizado a través de aplicaciones de APS para la optimización de regímenes operacionales. La obtención de tales ecuaciones booleanas demanda de un proceso de alta complejidad matemática por lo que se requieren estudios exhaustivos, incluso para la aplicación de sus resultados. Las importantes ventajas para el mantenimiento que se obtienen de estas aplicaciones requieren el desarrollo de metodologías que acerquen estos métodos de optimización a los sistemas de gestión del mantenimiento, y faciliten su uso por un personal no especializado en los temas probabilistas. El artículo presenta una metodología para la preparación, solución y utilización de los resultados de los árboles de fallos partiendo de esquemas tecnológicos. Este algoritmo ha sido automatizado a través del código MOSEG Win Ver 1.0.

Palabras claves: Análisis probabilista de seguridad, esquemas tecnológicos, árboles de fallos, modos de fallo.

1. Introducción.

La ecuación booleana, representada por los conjuntos mínimos de corte a nivel de un sistema o de todo un Análisis Probabilista de Seguridad (APS) ha sido utilizada, en forma de diferentes aplicaciones para evaluar las configuraciones de salida de servicio de equipos durante la explotación de instalaciones.

Entre estas aplicaciones están los Monitores de Riesgo [1] u otros estudios off line [2], que se utilizan para la optimización de regímenes operacionales. La obtención de los modelos probabilistas y la generación de los conjuntos mínimos de corte necesita de un proceso de modelado y evaluación muy laborioso que requiere de estudios exhaustivos y tiempos elevados, no sólo para su aprendizaje, sino también para la aplicación de sus resultados [3, 4].

Las importantes ventajas para el mantenimiento, derivadas de la aplicación de los resultados de estos análisis, demandan el desarrollo de metodologías que faciliten el acceso a estos métodos de optimización incorporándolos a los sistemas de gestión del mantenimiento, de forma que permitan su uso por un personal no especializado en los temas probabilistas.

A continuación se presenta una metodología, ya automatizada a través del código MOSEG Win Ver 1.0 [5], que provee al personal encargado de la gestión del mantenimiento de una herramienta de preparación de los árboles de fallos a partir de esquemas tecnológicos, lo que resulta fácilmente comprensible por los tecnólogos de las instalaciones.

El sistema incluye además las posibilidades de solución de los árboles de fallos y obtención de los conjuntos mínimos de corte resultantes [6], así como su utilización para analizar configuraciones de equipos fuera de servicio o estrategias completas de mantenimiento [7]. De esta forma los conjuntos mínimos de corte se convierten en patrones de evaluación del mantenimiento.

2. Estado actual.

Las listas de elementos clasificados por su importancia (Fussell – Vesely, Reducción o Incremento de Riesgo) [2] han sido el resultado más comúnmente usado para realizar la clasificación basada en confiabilidad de equipos para el mantenimiento. Aplicaciones de este tipo pueden encontrarse en:

- Estudios de priorización [2, 8].

- Mantenimiento centrado en la confiabilidad (rcm) [9, 10].

Por otra parte, los listados de conjuntos mínimos de corte (CMC) se utilizan en las tareas de control de configuración, ello puede apreciarse en aplicaciones como:

- Monitores de riesgo [1, 11].
- Especificaciones técnicas de funcionamiento basadas en riesgo [12, 13].

En todos los casos resulta necesaria la obtención de los CMC por lo que las tareas previas de elaboración de árboles de fallos (AF) y bases de datos de confiabilidad (BDC) son inevitables. Esto hace que con un enfoque tradicional no se pueda prescindir de personal especializado para realizar estas tareas.

Aún para personal entrenado, el tiempo necesario para elaborar los modelos de lógica de fallos y las BDC, así como lograr su ajuste final es prolongado. Experiencias como los Análisis Probabilistas de Seguridad (APS) preoperacional de Juraguá [3] y de Embalse [4] lo demuestran. Súmese a ello que la subjetividad introducida por los analistas en estos modelos puede dificultar su comprensión para aplicaciones futuras. Una forma de disminuir tiempo y subjetividad en la concepción de los modelos de lógica de fallos y bases de datos de confiabilidad es la introducción de una metodología automatizada para su elaboración.

Intentos de esta naturaleza han sido realizados en fechas anteriores. Por ejemplo, Samdani cita en [14] a Wade Gonder que formula la metodología HARA (Hazard Assesment by Risk Analysis), la cual sugiere la obtención de los conjuntos mínimos de corte partiendo de diagramas sencillos.

La figura 1 ilustra, a través de un ejemplo la simplificación realizada de un esquema tecnológico.

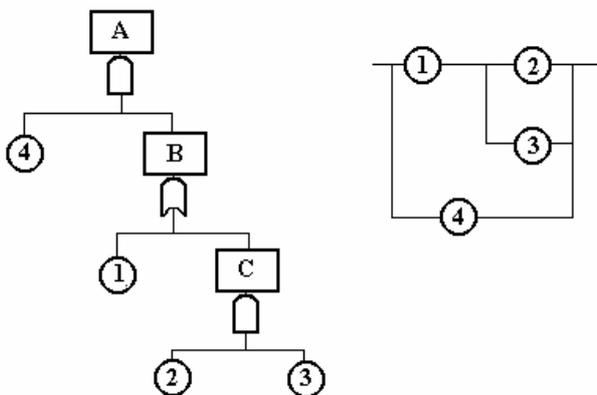


Figura 1. Comparación de árbol de fallos – esquema tecnológico simplificado.

Como se aprecia, la simplificación gráfica del esquema tecnológico ayuda evidentemente al usuario no familiarizado con la representación de lógicas booleanas.

Los esquemas presentados por el método HARA son segmentos simplificados donde se identifican por puntos aquellos componentes modos de fallo que deban utilizarse en la modelación. Como dificultad el usuario debe ser capaz de establecer las diferentes configuraciones de esquema deduciendo donde ubicar las funciones o componentes redundantes y también conocer los modos de fallo aplicables en cada caso. Lógicamente cuando se trate de sistemas relativamente complejos en los que se incorporan además errores humanos, la aplicación del método se complica. El método HARA no prevé la identificación de los fallos de causa común.

Otro método también empleado para ese tipo de tareas ha sido esbozado en [15], y se basa en un algoritmo analítico gráfico que genera árboles de fallos de dos tipos, de no cumplimiento de función o de fallos espurios.

El método parte de la redacción de un listado de instrucciones o reglas de colección, para la cual es necesario conocer previamente los componentes modos de fallo esperados en el árbol de fallos resultante. Además, deben incluirse en las reglas las trazas funcionales o entradas a las puertas del árbol de fallo. Este sistema tampoco genera los fallos de causa común, los que deben ser preestablecidos por el usuario durante la redacción de las reglas. También la entrega de datos de confiabilidad depende del usuario. Como se observa, la aplicación de este método exige un conocimiento previo adecuado de la teoría de árboles de fallos.

En ninguno de los métodos enunciados se facilitan datos genéricos para la confección del árbol.

Otra aplicación de la técnica de generación automática de árboles de fallos ha sido el desarrollo de sistemas expertos, utilizando técnicas cualitativas para el modelado, y reglas heurísticas para la formulación de las causas de los fallos [16]. Este enfoque no será considerado pues se aleja de los objetivos a los que se destina la aplicación propuesta en este trabajo.

Actualmente, cuando la necesidad de acercar las ventajas de los métodos probabilistas a los sistemas de gestión se acentúa, se justifica la creación de un sistema que permita al personal mantenedor crear patrones de evaluación probabilista sin necesidad de recurrir, o disminuyendo la dependencia de personal entrenado en estos métodos. Estos patrones permitirían al personal obtener recomendaciones respecto a la clasificación de equipos y configuraciones más adecuadas para el mantenimiento.

3. Desarrollo de patrones de evaluación probabilista.

La elaboración de patrones probabilistas a partir de esquemas tecnológicos se resume en el algoritmo presentado en la figura 2. Este algoritmo ha sido programado dentro del código MOSEG Win Ver 1.0 [5].

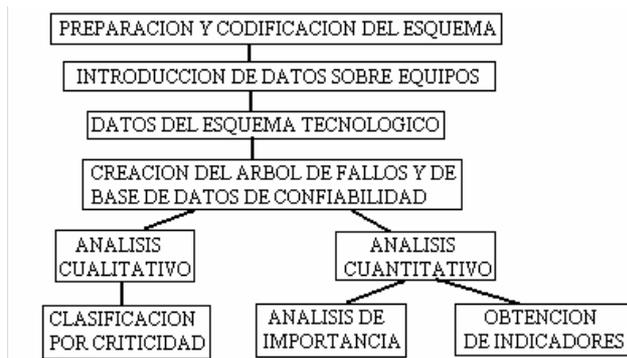


Figura 2. Algoritmo de creación de patrones de evaluación probabilista.

El proceso de preparación de esquemas puede ser desarrollado de forma gráfica o analítica. Seguidamente se describen los bloques que forman parte del algoritmo de creación de patrones de evaluación probabilista.

3.1. Preparación y Codificación del Esquema.

Esta tarea incluye:

- Identificación de equipos: en la que se asigna a cada uno de los equipos integrantes del esquema su tipo (bomba, ventilador, compresor, válvula neumática, etc) y su estado inicial (espera, operación, abierta, cerrada, etc).
- Codificación del esquema: el esquema se codifica en forma de nodos, segmentos, grupo funcionales o derivaciones. La codificación está sujeta a un grupo de reglas establecidas dentro del editor analítico de esquemas las cuales garantizan el chequeo de la tarea.

3.1.1. Introducción de datos sobre tipos de equipos.

La introducción de los datos de Tipo de Equipo prevé la utilización de una base de datos genérica que contiene varios tipos de equipos, algunos de los cuales se muestran en la tabla I.

3.1.2. Introducción de estados iniciales.

La introducción de los datos de Estado Inicial se realiza partiendo también de una base de datos de estados iniciales. Un ejemplo de los estados iniciales se muestra en la tabla II.

Como se aprecia, estos estados iniciales deben corresponderse con el equipo al que se asignan. Cuando dentro de las capacidades originalmente asignadas al código no aparecen los equipos y/o los estados iniciales a introducir para conformar un esquema tecnológico dado, se utilizan las capacidades contenidas en el sistema MOSEG para crear nuevos equipos y estados iniciales.

Tabla I. Equipos incluidos en el sistema MOSEG Win Ver 1.0.

Código Descripción	Código Descripción	Código Descripción	Código Descripción
PD Bomba Diesel	PM Bomba motor.	PT Bomba a turbina	QB Ventilador
QC Compresor	VA Válvula neumática	VX Válvula manual	VM Válvula Motorizada
VC Válvula de retención	VD Válvula operación por solenoide	VR Válvula alivio	VS Válvula Seguridad
DG Gener Diesel Emergencia.	BT Batería	BC Cargador de batería	CB Barra eléctrica

Tabla II. Estados iniciales incluidos en el sistema MOSEG Win Ver 1.0

Tipo de equipo	Estado inicial
Válvula, interruptor eléctrico y manual	Abierto (o) cerrado (e) Manteniendo posición (d)
Equipos dinámicos (bombas, ventiladores, compresores, diesel)	Espera (s) Operación (r)

3.2. Datos del Esquema Tecnológico.

Los datos del esquema tecnológico se pueden introducir de modo tabular o gráfico. Este último propicia una interfaz más amigable con el usuario. Con este módulo se puede apreciar el diseño general del esquema que se desea analizar. El método exige la definición del tipo de componente del esquema (Nodo, Segmento, Grupo Funcional, Apoyo, Descarga o Derivación), de su enlace con otros elementos y de las capacidades del componente antes (MON) y después (MOE) del momento seleccionado para la modelación. Algunos ejemplos típicos de fragmentos de esquemas tecnológicos modelados según la metodología, se presentan en la tabla III.

En la figura 3 se presenta un ejemplo de un segmento abierto al que se han introducido dos grupos funcionales que corresponden a una bomba motorizada y una válvula manual, respectivamente. Obsérvese que además se han declarado los datos de capacidades del segmento y los grupos funcionales.

Los datos almacenados en este fichero que contiene tipos de equipos, estados iniciales y datos del esquema, son suficientes para la creación ulterior del árbol de fallos y de gran parte de la base de datos de confiabilidad, que servirán para el análisis de confiabilidad del sistema.

3.3. Creación de AF (Árbol de Fallos) y de BDC (Base de Datos de Confiabilidad).

La médula de la metodología radica en este aspecto. Esta opción constituye un interpretador de los datos de tipo de equipo, estados iniciales y datos de esquema introducidos anteriormente. La flexibilidad del interpretador es muy necesaria pues el mismo debe resolver múltiples y diversas configuraciones de esquemas tecnológicos.

Las capacidades asignadas al interpretador son:

- Determinar los modos de fallo asociados a cada equipo a partir del Tipo de Equipo, Estado Inicial y capacidades de MON y MOE establecidas para cada tramo. Por ejemplo, una bomba motorizada (PM) con estado inicial espera (S) colocada en un grupo funcional (GF) que evoluciona desde MON=0 a MOE=100, deberá asignársele modos de fallo S (fallo al arranque) y R (fallo en operación). Cuando se trata de equipos diferentes a los que originalmente posee el sistema, la asignación del modo de fallo dependerá de los datos definidos por el usuario.

- Determinar los tipos de compuertas lógicas en cada item significativo del esquema. Las potencialidades del método de acuerdo a las combinaciones de nodos, segmentos y grupos funcionales en la cadena de enlace de elementos, y de MON y MOE conducen a la determinación de los tipos o símbolos de lógica booleana (SLB) adecuadas (O, Y, Mayoritaria). Por ejemplo, un nodo N1, con enlace de tres segmentos S1, S2 y S3 y con capacidad MON=0 y MOE=66, deberá arrojar una lógica M2 (mayoritaria 2 de 3) si cada uno de los segmentos (S1, S2, S3) poseen capacidades MON=0 y MOE=33. Dicho análisis debe propagarse a todos los enlaces sucesivos.

- Determinar los fallos de causa común (FCC) asociadas a los modos de fallo de cada equipo. Por ejemplo, aquellos equipos colocados en los segmentos S1, S2 y S3 anteriormente descritos tendrán potenciales FCC de dimensión dos si son activos e idénticos, para lo cual se tienen en cuenta también los datos de Tipo de Equipo.

- Asignación de los componentes modos de fallo genéricos partiendo de los Tipos de Equipo preasignados y los modos de fallo determinados anteriormente. Con ello se colocan de manera automática las tasas de fallo de los componentes modos de fallo que no han sido señalados para datos específicos por el usuario. Los datos genéricos de las Bases de Datos de Confiabilidad han sido escogidos tras un estudio previo detallado de las Bases de Datos disponibles. En algunos casos, como ocurre con los modos de fallo en operación y Fallos de Causa Común, el sistema asigna de manera automática el modelo de confiabilidad adecuado, aunque de manera general los restantes datos de los componentes modos de fallo (modelo de confiabilidad, tiempo entre pruebas, tiempo de reparación, duración de la prueba, etc.) deben ser asignados por el usuario.

- Una vez completados los datos necesarios de cada componente se calculan automáticamente los valores de indisponibilidad media (Qmed), incluidos los de los FCC.

Es necesario aclarar que, aunque los resultados de AF – BDC obtenidos con este constructor pueden ser utilizados directamente para análisis ulteriores, se recomienda someter los modelos obtenidos a una revisión por pares como parte del sistema de garantía de calidad.

El sistema de generación automática de árboles de fallos, descrito en este trabajo, ha sido ensayado con tareas de modelación de no cumplimiento de función. En tareas futuras se probará su potencialidad para el análisis de fallos espurios.

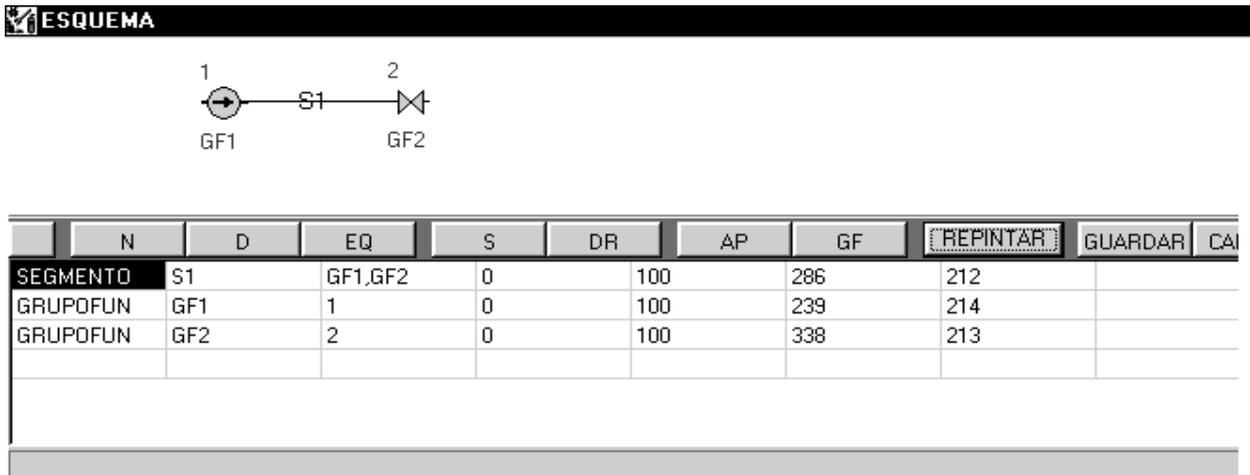


Figura 3. Ejemplo del uso de la interfase gráfica en MOSEG

Por otra parte, la solución de los lazos que pueden aparecer por dependencias debidas a interconexiones físicas o funcionales entre elementos del esquema son detectadas durante la solución del árbol de fallos (reducción booleana) y necesitan de la asistencia del usuario para su solución.

La tabla III muestra algunos ejemplos de árboles de fallos obtenidos partiendo de fragmentos de esquemas tecnológicos, a los que se les aplicó la metodología anteriormente enunciada. En la tabla se utilizan los siguientes datos:

- Elemento – para identificar el tipo de elemento del esquema de que se trate.
- Ide – código de identificación del elemento.
- Enlace – representa la cadena de elementos que se enlazan o están contenidas en el elemento dado.
- Mon, moe – capacidades antes y en el momento seleccionado para modelado.
- Noc – es el número de compuerta de lógica generada.
- Slb – tipo de lógica booleana generada
- Lógica de fallo – cadena generada de compuertas y componentes - modos de fallo que se conectan a la compuerta en cuestión.

3.4. Análisis.

El análisis del AF – BDC construidos se puede realizar por dos métodos: cualitativo o cuantitativo.

3.4.1. Análisis Cualitativo.

El método cualitativo permite una clasificación por niveles de criticidad y presenta en forma tabular un resultado útil para el usuario no conocedor de las técnicas de análisis probabilista. En la tabla se ordenan

por su efecto sobre el sistema y por la probabilidad de fallo, los diferentes contribuyentes al fallo del sistema. Los efectos se catalogan en Fallo Total o Fallo Parcial. Este ordenamiento resulta útil para priorizar el mantenimiento de los equipos más contribuyentes de acuerdo a este doble impacto.

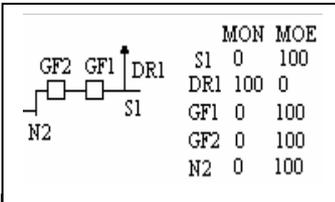
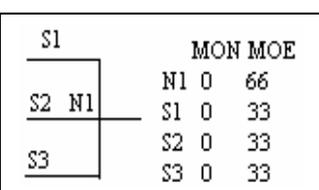
3.4.2. Análisis Cuantitativo.

El método cuantitativo consiste en la determinación de los conjuntos mínimos de corte (CMC) utilizando las reglas del álgebra de Boole. El sistema cuenta con un generador de CMC [6] y ofrece una tabla de CMC ordenados por su contribución al fallo total. Dentro de este módulo se incluyen opciones de análisis de importancia y para la determinación de indicadores de evaluación del mantenimiento.

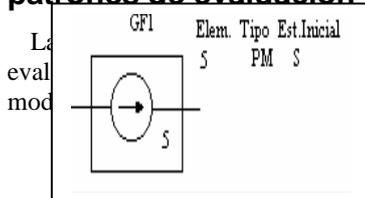
A partir de los resultados de la evaluación de los CMC es posible obtener las medidas de importancia tradicionales (F-V, RRW, RAW) [2], con las que se establecen prioridades para el mantenimiento, o estudiar las configuraciones de componentes fuera de servicio que se convertirán en limitativas para el diseño de la programación. También resulta posible la identificación de tareas de mantenimiento centrado en la confiabilidad. Otra aplicación de estos resultados es la evaluación de estrategias y la obtención de indicadores de mantenimiento [7].

De esta forma, los ficheros de CMC obtenidos constituyen patrones de evaluación probabilista del mantenimiento aplicado al sistema objeto de análisis. Un requerimiento fundamental para su uso como patrón es la correspondencia entre los códigos de identificación de los componentes modos de fallo dentro de los CMC y los códigos utilizados para la identificación de equipos durante la generación de las estrategias de mantenimiento [7].

Tabla III. Fragmentos de esquemas tecnológicos y árboles de fallo obtenidos tras la aplicación de la metodología incluida en MOSEG.

Fragmento de Esquema Tecnológico	Representación Analítica	Lógica y Modos de Fallo Generados por MOSEG																																																
<p>Esquema tecnológico de un Grupo Funcional que contiene una bomba motorizada a la espera.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Elemento</th> <th>Ide</th> <th>Enlace</th> <th>MON</th> <th>MOE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GRUPOFUN</td> <td>GF1</td> <td>5</td> <td>0</td> <td>100</td> </tr> </tbody> </table> <p>La combinación $MON \neq 0$ no se considera posible ya que con la bomba a la espera no congruente el dato.</p>	Elemento	Ide	Enlace	MON	MOE	GRUPOFUN	GF1	5	0	100	<table border="1"> <thead> <tr> <th>NoC</th> <th>SLB</th> <th>Lógica de fallos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C1</td> <td>O</td> <td>5 6</td> </tr> </tbody> </table> <p>BDC No Equipo-MF 5 PM-S 6 PM/5-R Este comportamiento es válido para cualquier tipo de equipo dinámico (PD, PT, QB, QC, DG)</p>	NoC	SLB	Lógica de fallos	C1	O	5 6																																
Elemento	Ide	Enlace	MON	MOE																																														
GRUPOFUN	GF1	5	0	100																																														
NoC	SLB	Lógica de fallos																																																
C1	O	5 6																																																
 <p>Esquema tecnológico de un segmento que contiene una derivación, dos grupos funcionales y se encuentra conectado a un nodo.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Elemento</th> <th>Ide</th> <th>Enlace</th> <th>MON</th> <th>MOE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SEGMENTO</td> <td>S1</td> <td>GF1,GF2,DR1,N2</td> <td>0</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>DERIVA</td> <td>DR1</td> <td></td> <td>100</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>GRUPOFUN</td> <td>GF1</td> <td></td> <td>0</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>GRUPOFUN</td> <td>GF2</td> <td></td> <td>0</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>NODO</td> <td>N2</td> <td></td> <td>0</td> <td>100</td> </tr> </tbody> </table> <p>Las combinaciones $MON - MOE$ de los Nodos, Segmentos y GF deben ser congruentes. Cualquier combinación de MON y MOE, siempre que $MOE \neq 0$ (excepto en DR) tendrá similar comportamiento.</p>	Elemento	Ide	Enlace	MON	MOE	SEGMENTO	S1	GF1,GF2,DR1,N2	0	100	DERIVA	DR1		100	0	GRUPOFUN	GF1		0	100	GRUPOFUN	GF2		0	100	NODO	N2		0	100	<table border="1"> <thead> <tr> <th>NoC</th> <th>SLB</th> <th>Lógica de fallos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C1</td> <td>O</td> <td>C2 C3 C4 C5</td> </tr> <tr> <td>C2</td> <td>Y</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C3</td> <td>O</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C4</td> <td>O</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C5</td> <td>Y</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Ejemplos de lógicas de fallos para DR y GF fueron desarrolladas anteriormente.</p>	NoC	SLB	Lógica de fallos	C1	O	C2 C3 C4 C5	C2	Y		C3	O		C4	O		C5	Y	
Elemento	Ide	Enlace	MON	MOE																																														
SEGMENTO	S1	GF1,GF2,DR1,N2	0	100																																														
DERIVA	DR1		100	0																																														
GRUPOFUN	GF1		0	100																																														
GRUPOFUN	GF2		0	100																																														
NODO	N2		0	100																																														
NoC	SLB	Lógica de fallos																																																
C1	O	C2 C3 C4 C5																																																
C2	Y																																																	
C3	O																																																	
C4	O																																																	
C5	Y																																																	
 <p>Esquema tecnológico de un nodo al que se conectan tres segmentos.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Elemento</th> <th>Ide</th> <th>Enlace</th> <th>MON</th> <th>MOE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NODO</td> <td>N1</td> <td>+S1,S2,S3,-</td> <td>0</td> <td>66</td> </tr> <tr> <td>SEGMENTO</td> <td>S1</td> <td></td> <td>0</td> <td>33</td> </tr> <tr> <td>SEGMENTO</td> <td>S2</td> <td></td> <td>0</td> <td>33</td> </tr> <tr> <td>SEGMENTO</td> <td>S3</td> <td></td> <td>0</td> <td>33</td> </tr> </tbody> </table> <p>En el caso presentado no hay segmento derivador. Siempre que las capacidades MOE ($MOE \neq 0$) de los segmentos representen fracciones de la capacidad MOE ($MOE \neq 0$) del nodo, y se necesiten varios segmentos (nunca el total de ellos) para satisfacer el éxito se obtendrán lógicas de fallo mayoritarias. Lógicas similares se obtienen para valores de $MON \neq 0$.</p>	Elemento	Ide	Enlace	MON	MOE	NODO	N1	+S1,S2,S3,-	0	66	SEGMENTO	S1		0	33	SEGMENTO	S2		0	33	SEGMENTO	S3		0	33	<table border="1"> <thead> <tr> <th>NoC</th> <th>SLB</th> <th>Lógica de fallos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C1</td> <td>M2</td> <td>C2 C3 C4</td> </tr> <tr> <td>C2</td> <td>O</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C3</td> <td>O</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C4</td> <td>O</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	NoC	SLB	Lógica de fallos	C1	M2	C2 C3 C4	C2	O		C3	O		C4	O									
Elemento	Ide	Enlace	MON	MOE																																														
NODO	N1	+S1,S2,S3,-	0	66																																														
SEGMENTO	S1		0	33																																														
SEGMENTO	S2		0	33																																														
SEGMENTO	S3		0	33																																														
NoC	SLB	Lógica de fallos																																																
C1	M2	C2 C3 C4																																																
C2	O																																																	
C3	O																																																	
C4	O																																																	

4. Aplicaciones de la generación de patrones de evaluación probabilista.



La evaluación de patrones de fallo se utiliza para la generación de patrones de fallo de mediana y alta complejidad.

complejidad. Algunas de sus aplicaciones más importantes son:

- Sistema de agua de alimentar de emergencia de la central nuclear de embalse (CNE).
- Sistema de energía eléctrica de clase III de CNE.

- Instalación de la planta de gas de boca de Jaruco.
- Instalaciones de perforación y extracción de petróleo mantenidas por la empresa de mantenimiento EMPEP occidente.

Como resultado se han obtenido ficheros de conjuntos mínimos, que han sido utilizados como patrones de evaluación de las estrategias de mantenimiento de estos sistemas.

La facilidad respecto al aprendizaje y aplicación de esta herramienta ha sido comprobada durante la capacitación utilizando el sistema MOSEG Win Ver 1.0.

En los programas de formación de ingenieros nucleares se imparten conocimientos sobre métodos tradicionales de confección y solución de árboles de fallos, como parte de la asignatura de Seguridad de Instalaciones Nucleares. Paralelamente, se enseñan las bases de la evaluación del mantenimiento en la asignatura de Mantenimiento Orientado a la Seguridad, dentro de la cual se imparte la generación automatizada de patrones de evaluación probabilista.

De esta forma y por vías diferentes los estudiantes ensayan la confección de árboles de fallos y de bases de datos de confiabilidad.

Se ha podido comprobar que la confección de modelos probabilistas para sistemas tecnológicos similares, requiere con el código MOSEG sólo de un 20 a un 30 % del tiempo que demanda su confección con métodos tradicionales de elaboración de árboles de fallos.

A modo de ejemplo, se analiza el sistema de seguridad de la figura 4, a través de la opción Esquema Tecnológico – Arbol de Fallos del código MOSEG Win Ver 1.0

El esquema muestra al sistema de seguridad SS, destinado al enfriamiento de emergencia en un proceso de alta temperatura.

Se trata de un sistema normalmente a la espera, que deberá conectar ante señales de EM, las bombas (Diesel o Motorizada) y abrir las válvulas neumáticas VA1 y VA2 .

También deberá cerrar la válvula neumática SS-VA3 para evitar la recirculación durante la inyección de emergencia. Obsérvese la presencia de algunos dispositivos que deberán mantener su posición abierta (VM1, VM2, VX1).

Utilizando la metodología descrita anteriormente, se codifica el esquema y se obtiene el AF para el sistema SS. Las tasas de fallos de los componentes - modos de fallos deducidos de este análisis se alimentan automáticamente, partiendo de las bases de datos genéricas disponibles en el código. Los restantes datos de confiabilidad, correspondientes a los regímenes de explotación de los equipos, son introducidos por el usuario.

Una vez preparado el AF y la BDC, y utilizando las potencialidades de generación de conjuntos mínimos de corte (CMC) contenidas en MOSEG, se obtendrá el patrón de evaluación del mantenimiento para el sistema objeto de análisis. Obsérvese en la figura 5 el resultado de conjuntos mínimos obtenidos y un histograma de contribución de CMC.

Un análisis preliminar del patrón anterior muestra como se pueden establecer prioridades para el mantenimiento de los equipos que conforman al sistema. Partiendo de este resultado es posible realizar también múltiples aplicaciones de optimización del mantenimiento, como las que fueron descritas anteriormente.

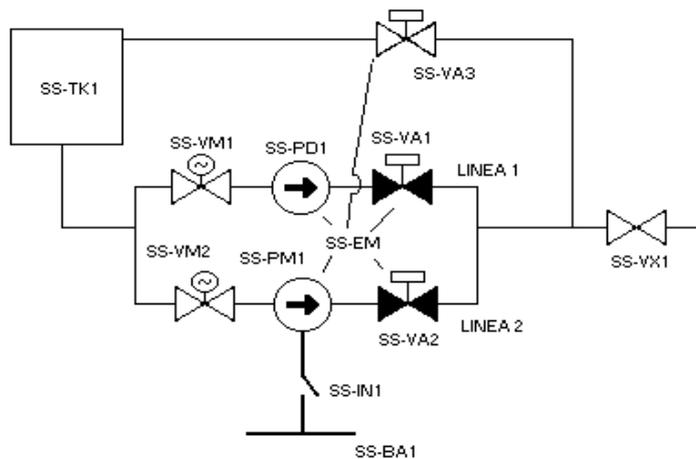


Figura 4. Esquema del sistema de seguridad SS

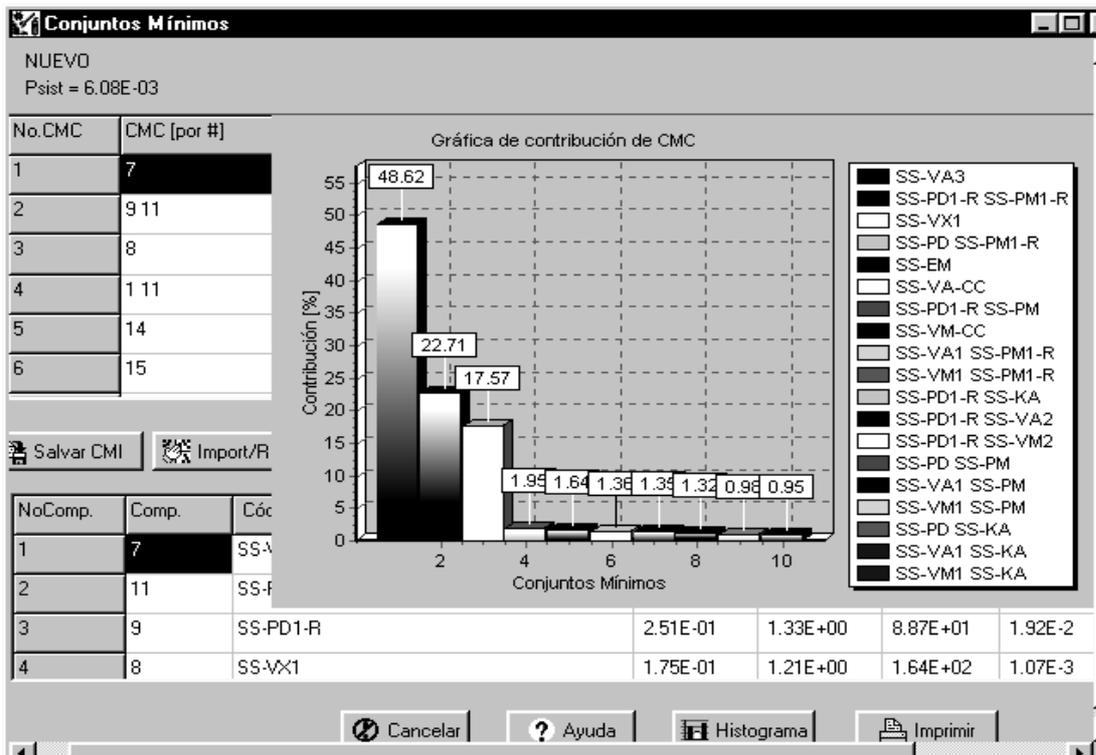


Figura 5. Patrón de evaluación de mantenimiento para el sistema SS.

5. Conclusiones.

Como resultado de la implementación de la metodología de Generación de Patrones Probabilistas del Mantenimiento se logra introducir los modelos probabilistas para la gestión del mantenimiento con un mínimo de dificultad y sin altas dependencias de personal experto en la utilización de técnicas de análisis de confiabilidad y riesgo.

La entrada de datos a partir de esquemas tecnológicos hace más familiar y asequible la tarea a un personal no familiarizado con técnicas con enfoque en sistema, como los APS.

Son de destacar las bondades del sistema para entrenar personal y disminuir las subjetividades que normalmente introducen los analistas en los modelos. También entre las potencialidades incorporadas al código MOSEG Win Ver. 1.0 está la deducción de cualquier tipo de lógica de fallo a partir de las configuraciones de los esquemas, incluyendo los casos redundantes puros y las lógicas mayoritarias, así como la determinación de los componentes - modos de fallos (con sus datos genéricos y tasas de fallos, si proceden) y fallos de causa común. Todo ello reduce notablemente los tiempos asociados a la preparación de las tareas. En cuanto a los fallos de causa común, su incorporación

automatizada a los modelos incluye todo su tratamiento cuantitativo posterior.

Las posibilidades ulteriores de utilización de diferentes niveles de categorización de los equipos, uno cualitativo y otro cuantitativo, permite la más fácil interpretación de los resultados y su aplicación a la optimización del mantenimiento por personal no entrenado. El enfoque en sistema de los análisis permite el desarrollo de múltiples tareas de priorización, basadas en el Principio de Pareto.

6. Bibliografía.

1. Peter Kafka, "grs, risk monitoring - international status and current developments", technical committee meeting on psa application to improve npp safety, Madrid, Spain, febrero 1998, p. 3-8 (1998).
2. Vesely W. F., "Maintenance prioritization", taller oiea - optimización mediante aps de tareas y procedimientos en la operación de centrales nucleoelectricas, Veracruz, México, febrero 1993, p. 1-15 (1993).
3. Rivero, J., Salomón, J., Perdomo, M., Torres, A., "Estudios de análisis probabilista de seguridad en Cuba", Revista Nucleus, no 16, p. 19-25 (1993).

4. Central nuclear de embalse, "análisis probabilista de seguridad de nivel 1", Embalse, Córdoba, Argentina (2001).
5. Torres v. A., "Metodología de la gestión de mantenimiento orientado a la seguridad y la confiabilidad", isbn 959-7136-16-3, v taller internacional de la cátedra de seguridad de la industria, centro de prensa internacional, C. Habana, Cuba, safind03_28 (2003).
6. G. Mosquera, J. Rivero, J. Salomón, C. Valhuerdi, A. Torres, M. Perdomo, R. Ferro., Disponibilidad y confiabilidad de sistemas industriales, p. 52-86, isbn 980-00-0889-6, universidad "gran mariscal de ayacucho", Barcelona, Venezuela, (1995).
7. Torres A., Mantenimiento orientado a la seguridad, p. 337-425, isbn 959-7136-10-4, Cuba Energía, Ciudad Habana, Cuba (2000).
8. J. Salomón, M. Perdomo, A. Torres, C. Valhuerdi, Otros, Análisis de riesgo industrial, p. 117-120, isbn 980-00-1491-8, universidad "Gran Mariscal de Ayacucho", Barcelona, Venezuela, (2000).
9. J. P. Gaertner, T.G. Hook, E.A. Hughes Et Al, Application of reliability centered maintenance to san onofre units 2 and 3 feedwater systems, p. 3-1 to 3-17, epri np-5430 (1987).
10. Jonh P. Gaertner, Engineering and research inc., "reliability centered maintenance status in the us nuclear power industry", taller oiea - optimización mediante aps de tareas y procedimientos en la operación de centrales nucleoelectricas, Veracruz, México, febrero 1993, p. 1-20 (1993).
11. Division of nuclear installation safety, working material – psa applications to improve npp safety, iaea-j4-97-ct-06876, Viena, Austria, january 1998, p. 17-20 (1998).
12. Robert Lindquist, "Increase in plant risk associated with component downtime", taller oiea - optimización mediante aps de tareas y procedimientos en la operación de centrales nucleoelectricas, Veracruz, México, febrero 1993, p. 25-30 (1993).
13. Ledesma R., "Optimización de especificaciones técnicas de operación", taller oiea - optimización mediante aps de tareas y procedimientos en la operación de centrales nucleoelectricas, Veracruz, México, febrero 1993, p. 1-6 (1993).
14. G. Sam Samdani., Safety & risk management tools & techniques in the chemical processes industry, p. 57-66, mcgraw hill, New York, USA (1996).
15. Péter Gaspar, Géza Szabó, "Automatic fault – tree generation as a part of a complex development system", proceedings of the symposium 3rd internacional scientific conference electro '99, Zilina, Slovak Republic, p. 19-24 (1999).
16. Irina Obreja, "Diagnosis of power plant faults using qualitative models and heuristic rules", international conference on industrial and engineering applications of artificial intelligence and expert systems, Charleston, South Carolina, United States, vol. 1, p. 41-46, (1990).

Generation of Probabilistic Evaluation Patterns for Maintenance.

Abstract.

The Boolean equation represented by the minimal cut sets both at a system and at a Probabilistic Safety Analysis (PSA) levels has been used to evaluate the out-of-order equipment configurations during operation. This analysis has been used during PSA applications for the optimization of facility operational states. A high mathematical complexity is usually demanded as part of the process for generating such Boolean equations. Exhaustive studies are also required even for applying their results. Given the advantages obtained from these applications, there is an arising need for developing methodologies that incorporate such methods into the maintenance management facilitating their use by alien personnel that are not familiar with probabilistic issues. This article presents a methodology for preparing, solving and using the results of fault trees deriving from technological diagrams. This algorithm has been automated by means of MOSEG Win Ver.1.0 code.

Key words: Probabilistic Safety Analysis, Technological Diagrams, Fault Trees, Failure Mode.