

201/46



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**UN ANALISIS DE SEGURIDAD DE LA POSTCOMBUSTION CRITICA
DEL REACTOR QUIMICO ACRILONITRILLO DE LA UNIDAD
PETROQUIMICA TULA, MEDIANTE EL METODO
DE ARBOLES DE FALLAS.**



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

TESIS MANCOMUNADA
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A N :
FERNANDO TURE MACEDO RUBIO
ADALBERTO MORONES LARA

MEXICO, D. F.,

1987



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

	Pág.
Resumen.....	11
Introducción.....	21
CAPITULO I. Metodología de Arboles de Fallas	
1.1 Antecedentes Históricos.....	91
1.2 Falla Contra Exito.....	111
1.3 Metodología de Arboles de Fallas.....	12
1.3.1 Definición del Evento Tope.....	14
1.3.2 Importancia del Evento Tope.....	14
1.3.3 El Sistema y sus Fronteras.....	15
1.3.4 Simbología Empleada en Arboles de Fallas.....	16
1.3.5 Reglas Básicas para la Construcción de Arboles de Fallas.....	26
1.3.6 El Comportamiento Lógico de las Compuertas "OR" y "AND" y el Algebra de Boole.....	29
1.3.6.1 Las Compuertas "OR" y "AND" y su Comportamiento Probabilístico.....	29
1.3.6.2 Algebra de Boole.....	33
1.3.7 Análisis Cualitativo.....	42
1.3.7.1 Conjuntos de Corte (C.C.) y Conjuntos Mínimos de Corte (C.M.C.).....	42
1.3.8 Análisis Cuantitativo.....	46
1.3.8.1 Distribuciones Probabilísticas para Modelos de Tasa de Falla Constante.....	47
1.3.8.2 Función de Tasa de Falla.....	50
1.3.8.3 Indisponibilidad del Sistema.....	52

1.3.8.4 Importancia de los Componentes y de los C.M.C. en el Sistema.....	53
1.3.8.5 Análisis de Sensibilidad.....	54
1.3.9 Información Necesaria para la Generación de un Arbol de Fallas en un Proceso Químico.....	55

CAPITULO II. Proceso Sohio Acrlionitrilo de la Unidad Petroquímica Tuia.

2.1 Generalidades del Acrlionitrilo.....	65
2.2 Descripción del Proceso Sohio de la Unidad Petroquímica Tuia..	66

CAPITULO III. Aplicación de la Metodología de Arboles de Fallas.

3.1 Definición e Importancia del Evento Topo.....	74
3.2 Diagrama del Sistema.....	75
3.3 Hojas de Datos.....	78
3.4 Construcción del Arbol de Fallas.....	81
3.5 Análisis Cuantitativo y Cualitativo del Arbol de Fallas.....	103

CAPITULO IV. Análisis de Resultados.

4.1 Análisis de Resultados.....	122
---------------------------------	-----

CAPITULO V. Conclusiones y Recomendaciones..

5.1 Conclusiones.....	125
5.2 Recomendaciones.....	128

Bibliografía.....	130
-------------------	-----

1.3.8.4 Importancia de los Componentes y de los C.M.C. en el Sistema.....	53
1.3.8.5 Análisis de Sensibilidad.....	54
1.3.9 Información Necesaria para la Generación de un Arbol de Fallas en un Proceso Químico.....	55

CAPITULO II. Proceso Sónico Acrilonitrilo de la Unidad Petroquímica Tuia.

2.1 Generalidades del Acrilonitrilo.....	65
2.2 Descripción del Proceso Sónico de la Unidad Petroquímica Tuia..	66

CAPITULO III. Aplicación de la Metodología de Arboles de Fallas.

3.1 Definición e importancia del Evento Tope.....	74
3.2 Diagrama del Sistema.....	75
3.3 Hojas de Datos.....	78
3.4 Construcción del Arbol de Fallas.....	81
3.5 Análisis Cuantitativo y Cualitativo del Arbol de Fallas.....	103

CAPITULO IV. Análisis de Resultados.

4.1 Análisis de Resultados.....	122
---------------------------------	-----

CAPITULO V. Conclusiones y Recomendaciones..

5.1 Conclusiones.....	125
5.2 Recomendaciones.....	128

Bibliografía.....	130
-------------------	-----

RESUMEN.

El objetivo de este trabajo, es mostrar la metodología de árboles de fallas con un enfoque dirigido a la industria química y su aplicación en un sistema del proceso Sohio acrilonitrilo de la Unidad Petroquímica Tula de PEMEX.

En el primer capítulo, se presentan los conceptos básicos de la metodología de árboles de fallas para la realización de un análisis de confiabilidad y seguridad, así como la información necesaria que se requiere para su aplicación en un proceso químico.

El capítulo II, contiene la descripción y la importancia del proceso Sohio acrilonitrilo.

En el capítulo III, se muestra la aplicación de la metodología para el análisis del evento tope "Reacción de Post-combustión Crítica en el Reactor Químico de la Unidad Petroquímica Tula".

Tanto la evaluación cualitativa como cuantitativa de que consta el análisis, indican que el reactor para el evento tope seleccionado es muy confiable y seguro.

INTRODUCCION

En la industria química la seguridad siempre ha sido un rubro importante, sin embargo, su desarrollo y atención en México se ha puntualizado a un enfoque externo del proceso¹, es decir, se ha orientado a la limitación del desastre y a la reducción de consecuencias, que se pueden presentar como resultado de alguna falla o accidente en la planta química, implementando como parte integral del proceso sistemas de protección² que se han ido mejorando y depurando con el tiempo, como son los sistemas de esprayado, las paredes contra fuego, los sistemas de enfriamiento de emergencia, elementos para el control de explosiones, etc.. La orientación de este enfoque es básicamente la limitación del desastre, se da "después del hecho", es un punto de vista que asume la existencia de una falla en el proceso y trata de reducir las consecuencias de la misma. Aunado a esto, se han creado hábitos y costumbres en el personal de las plantas químicas a fin de abatir la incidencia de accidentes.

Pero ¿qué podemos decir acerca de la protección desde el punto de vista preventivo del proceso?. En realidad, el análisis a nivel de proceso, se ha hecho generalmente en base a las variables de proceso y a la experiencia, y, sólo en pocos casos se efectúan análisis empleando alguna metodología, esto se debe básicamente a que los procesos que presentan un alto riesgo, generalmente provienen de tecnologías extranjeras en las que ya se han empleado alguna o algunas metodologías para determinar los posibles patrones de falla dentro del sistema de proceso y su entorno, efectuando modificaciones al diseño y su operación para reducir la probabilidad de ocurrencia de fallas a niveles aceptables. En la práctica, es necesario que ambos enfoques se

den invariablemente durante toda la vida de la planta química.

En las últimas dos décadas, la seguridad en las plantas químicas se ha hecho cada vez más importante dada las dimensiones y complejidad que han adquirido.

La industria química se ha inclinado por la construcción de plantas cuyos sistemas de proceso se encuentran en tren, con sistemas integrados de recuperación de energía y con sistemas de control central menos complejos, a fin de optimizarlas y hacerlas más eficientes. Además, éstas tienden a localizarse de manera natural cerca de centros de población, por lo anterior, es necesario implementar técnicas más rigurosas para obtener seguridad y confiabilidad dentro de los procesos químicos.

¿A qué podemos atribuir, que apenas en la década de los setentas se empezaran a emplear metodologías formales de seguridad en la industria química? Básicamente, lo podemos resumir en seis puntos:

1.- Hasta ese momento los sistemas de procesos químicos no fueron lo suficientemente complejos para utilizar estas metodologías de análisis. Eran suficientes las técnicas informales para descubrir la mayoría de las formas de fallas que podían conducir a situaciones de peligro.

2.- Los sistemas de los procesos químicos eran lo suficientemente robustos, es decir, cuando se presentaban fallas en las diferentes partes del sistema, por lo general el sistema total de proceso no fallaba.

3.- Generalmente si una falla en el sistema de proceso desembocaba

en el caso del mismo, era posible restablecer el proceso nuevamente.

4.- Los peligros inherentes a la mayoría de los procesos químicos se deben a la reactividad de los materiales químicos procesados. La predicción del comportamiento de estas sustancias dentro de un rango amplio de condiciones es difícil. Así que existe una gran incertidumbre para la definición de los peligros inherentes.

5.- El comportamiento de los procesos químicos no es fácil de predecir. Los modelos formulados para la simulación de procesos toman mucho tiempo y a menudo son difíciles de resolver. Los modelos se generan para un rango de operación y no predicen el comportamiento anormal del proceso bajo condiciones extremas.

6.- Toma mucho tiempo, meses y en ocasiones años el generar un análisis de seguridad de calidad para un proceso químico.

Prácticamente, los primeros tres puntos se eliminan al surgir en la industria química las siguientes tendencias:

- 1.- Incremento en las dimensiones y complejidad de los procesos químicos.
- 2.- Unidades dispuestas en tren de proceso.
- 3.- Procesos más complejos en cuanto a la integración para la recuperación de energía y reciclado de desperdicios.
- 4.- Disminución en la capacidad intermedia de almacenamiento.
- 5.- Centralización de los sistemas de control.
- 6.- Diversificación del equipo.

7.- Aumento en el uso de computadoras dentro del proceso.

8.- Localización de las plantas cerca de centros de población.

Los últimos tres puntos se han compensado y justificado al surgir metodologías con modelos más simples que permiten describir el comportamiento de los procesos químicos y el desarrollo de medios más veloces para estructurar análisis de alta calidad en los procesos químicos.

Otro factor importante que ha originado un aumento en el empleo de estas metodologías, ha sido el factor económico.

Al desarrollarse en la industria química sistemas interdependientes, implicó que si originarse una falla en el proceso, además de los riesgos propios del sistema, se pueden presentar pérdidas económicas, tanto por daños materiales, como por la falta de producción en caso de que la planta deje de operar.

El no realizar un análisis de seguridad, puede conducir básicamente a dos situaciones:

1.- Que los sistemas de seguridad y el mantenimiento sean excesivos o en lugares no apropiados lo que arrojaría una derrama económica importante.

2.- El hecho de que fueran deficientes los sistemas de seguridad y el mantenimiento, conducirían a situaciones de peligro. Es importante hacer notar que los análisis de seguridad no determinan ciclos de mantenimiento de una forma directa, sin embargo, muestran los puntos críticos del proceso a los que hay que poner especial atención en lo referente a instrumentación y mantenimiento para disminuir la probabilidad de falla.

Un análisis de seguridad en un sistema, será justificado económicamente^{1,2} siempre y cuando éste sea menos costoso que los efectos económicos que pueda originar una falla en dicho sistema.

Aunque diversos nombres^{1,4,5} se han aplicado a las técnicas desarrolladas para el análisis de seguridad en sistemas, todos parecen haberse desarrollado a partir de dos conceptos básicos^{1,4,5}: El del Análisis de la Forma y el Efecto de la Falla (A.F.E.F.) y el Análisis de Árboles de Fallas (A.A.F.).

De una forma esencial podemos decir que el A.F.E.F. es una "formalización" del "¿Qué sucedería si...?". Esta técnica de una forma global tiene las siguientes etapas:

- 1.- Identificación de todos los componentes individuales del sistema.
- 2.- Determinación de todas las posibles formas de falla de cada uno de los componentes del sistema.
- 3.- Para cada una de las formas de falla hay que determinar los efectos que originarían sobre los demás componentes del sistema.
- 4.- Identificación de todos los efectos sobre el sistema.
- 5.- Estimación de la importancia de una falla sobre el sistema.

Una o más fallas de componentes se manejan simultáneamente en el mismo contexto.

En contraste con el A.F.E.F., el análisis de árboles de fallas establece un flujo de información lógica, a partir del evento tope a los eventos básicos dentro del marco de trabajo total del sistema.

La diferencia crítica entre ambos análisis es la dirección en que ambos se estructuran. El A.F.E.F. involucra la generación de una secuencia de eventos iniciado con los eventos básicos hasta el evento tope, mientras que el A.A.F. comienza con el evento tope y trabaja en

retroceso hasta llegar a los eventos básicos. El A.A.F. presenta la ventaja de que toda la secuencia de eventos desemboca en el evento tope de interés; el A.F.E.F. por otra parte no garantiza que la propagación de la falla de los componentes específicos del sistema lleguen al evento tope de interés, y de hecho, para garantizar que los eventos finales se alcancen, es necesario estudiar todas las combinaciones existentes de los eventos básicos. Para sistemas complejos el tiempo requerido para generar dichas combinaciones sería prohibitivo aún con el uso de computadoras de alta velocidad.

A partir de la consideración de que se necesita un menor número de eventos para alcanzar una falla específica, el análisis mediante árboles de fallas puede ser determinado siempre y cuando se disponga de las probabilidades de falla de los eventos básicos. En el A.F.E.F. si no es llevado exhaustivamente a la cuantificación de la probabilidad de falla de los eventos, pierde significado el estudio, es por esto, que no se garantiza que aún una vez determinados todos los patrones de falla, este tenga éxito.

En base a la comparación anterior, el análisis mediante el método de árboles de fallas, se ha seleccionado como la metodología para proporcionar un marco de trabajo conceptual para el análisis de seguridad en los procesos químicos.

Este trabajo, tiene como objeto el proporcionar la herramienta necesaria para el desarrollo de un árbol de fallas con un enfoque pleno hacia el campo de la industria química, mostrándose como ejemplo real el estudio que hemos realizado al reactor químico de la Unidad Petroquímica de Tuia de PEMEX.

CAPITULO I

METODOLOGIA DE ARBOLES DE FALLAS

1.1 ANTECEDENTES HISTORICOS.

El desarrollo formal de estudios de confiabilidad^{2,4}, tuvo sus inicios en la industria de la aviación después de la primera guerra mundial, en la que los choques aéreos se vieron incrementados por el aumento del tráfico aéreo; es a partir de este momento cuando surgen los criterios de confiabilidad y se hace necesario el incrementar los niveles de seguridad en esta industria.

Los primeros estudios en este ramo, se realizaron al comparar los aviones monomotor con los multimotor desde el punto de vista de vuelos exitosos.

A principios de los años cuarenta, ya en plena guerra mundial, el alemán Wernher Von Braun y su equipo de colaboradores, empezaron a desarrollar los primeros modelos matemáticos de confiabilidad para los proyectiles V1, dado que la primera serie de estos proyectiles fracasaron en su objetivo, ya fuera porque estallaban antes de ser lanzados o porque caían antes de lo esperado.

Por otro lado en Estados Unidos, la división electromotriz de la corporación "General Motors", ya se encontraba trabajando en este tipo de análisis, logrando incrementar la vida útil de los motores de tracción de 250 000 millas a 1 000 000 de millas para equipos pesados.

Para los años cincuenta, se ve incrementado el análisis de seguridad y confiabilidad sobre todo en la industria aérea y nuclear, en esta época cuando Estados Unidos se encontraba en guerra con Corea, el Departamento de Defense decide invertir en estudios de confiabilidad para sus aparatos electrónicos a fin de evitar la erogación de 20 millones de dolares anuales que venia efectuando por concepto de reparación.

En el año de 1952, los laboratorios SANDIA inician los primeros estudios de probabilidad de falla por error humano en el manejo de armamento aéreo nuclear y asignan una tasa de falla por error humano de 0.01 a las operaciones terrestres y de 0.02 a las aéreas.

En 1960, se ven emerger nuevas técnicas con una amplia variedad de aplicaciones en los distintos campos de la industria. La era de los proyectiles balísticos intercontinentales había llegado; programas como el Mercurio y el Géminis exigían un alto nivel de seguridad y confiabilidad; se analizaron todas las posibles formas de fallas de los componentes, los mecanismos de los sistemas y sus posibles causas, así como, los efectos que éstas tendrían sobre el sistema. Se emplearon sistemas de análisis de confiabilidad con diagramas de bloques, cuyo objetivo era la seguridad y el alcanzar las metas propuestas.

Al aumentar la complejidad y sofisticación de los sistemas en estudio ya no eran suficientes los modelos de bloques empleados, por lo cual, se hizo necesario abordar los problemas con otras metodologías.

Fue en el año de 1961, cuando H. A. Watson y sus colaboradores en los Laboratorios Telefónicos Bell, crean el revolucionario concepto del análisis mediante árboles de fallas con el objeto de incrementar la seguridad de los sistemas de control de aterrizaje; posteriormente la compañía Boeing, adapta esta metodología a sistemas computarizados.

Para el año de 1965, D. F. Haasi desarrolla y depura esta metodología en lo referente a la construcción de los árboles de fallas y su aplicación en las diferentes industrias.

En los años setentas, con el riesgo inherente a las plantas term nucleares; la Comisión de Energía Nuclear de los Estados Unidos decide crear el estudio WASH 1400 para el análisis de:

seguridad en reactores. Así mismo, es en esta década cuando el uso de este tipo de análisis se incrementa en la industria química, por las características de peligrosidad de las sustancias manejadas y las dimensiones que adquieren las plantas. Ya que tan sólo es necesaria la existencia de un cilindro a presión con alguna sustancia tóxica, como el ácido cianhídrico, para que alguna falla en el equipo o un error humano tenga consecuencias desastrosas.

1.2 Falla Contra Éxito:

La operación de un sistema puede ser considerada en un análisis desde dos puntos de vista básicos:

1.- Podemos enumerar las diversas formas en las que nuestro sistema puede tener éxito, lo cual significa que estamos dentro de la tolerancia de nuestros objetivos.

2.- Enumerar las formas de falla que provocarán que el sistema no alcance sus objetivos.

Desde el punto de vista analítico de la falla, existen varias ventajas sobre el éxito, primero, es más fácil el ponerse de acuerdo en lo que constituye una falla que en lo que constituye un éxito.

El éxito de los procesos, muchas veces se tiende a asociar con la eficiencia del sistema, la cantidad obtenida de producto y la utilidad que éste genera, siendo estas variables del tipo continuo, las cuales no pueden ser simuladas en términos de eventos discretos como los que maneja el árbol de fallas; un ejemplo de un evento discreto es el de "la válvula no abre" el cual pertenece al espacio de fallas. Es importante tener cuidado con las fallas percisales, que también son

eventos difíciles de ser representados en modelos de esta naturaleza, como es el caso de "la válvula abre parcialmente" que presenta posibilidades de tipo continuo.

El evento "falla total" es más fácil de definir en términos generales que el éxito del sistema, de aquí que se prefiera emplear el espacio de fallas que el de éxitos.

Otro punto a favor del espacio de fallas, es que, aunque teóricamente existe una posibilidad infinita tanto de fallas, como de éxitos, desde un punto de vista práctico, existen más formas de tener el evento éxito que el evento falla, dado que los sistemas inventados por el hombre tienen por objetivo el funcionar adecuadamente.

Es por lo anterior, que generalmente es más fácil el efectuar el análisis en base al espacio de fallas.

1.3 METODOLOGIA DE ARBOLES DE FALLAS.

El ser humano se distingue de las demás especies por su capacidad de decisión inteligente, que se da como resultado de un proceso.

El hombre ha generado modelos que de una u otra forma, tratan de simular la realidad y efectuando un análisis del comportamiento de éstos, bajo condiciones deseadas, se obtienen bases del conocimiento para la toma de decisiones.

Es en este rubro, donde la metodología de árboles de fallas se encuentra generando modelos que permiten un análisis de seguridad y confiabilidad, cuyo objeto es reducir la probabilidad de falla y las consecuencias que ésta pueda provocar en un sistema, ya sean humanas, económicas y/o ambientales.

El árbol de fallas, es un modelo lógico, gráfico, constituido por combinaciones paralelas y secuenciales de fallas interrelacionadas por conectores lógicos (conocidas también como compuertas lógicas), que establecen el camino o flujo de fallas que se deben de suscitar para que a partir de los eventos básicos, se alcance el evento predefinido no deseado, denominado evento tope.

El árbol de fallas tiene una lógica binaria, en donde las compuertas podrán presentar sólo dos estados, uno en el que le permite que la falla ascienda cuando se presentan los requisitos propios de la compuerta, y el segundo, cuando no se presentan, impidiendo que la falla continúe.

Podemos decir, que existen dos métodos analíticos por los cuales el ser humano obtiene conclusiones: el inductivo y el deductivo. El inductivo generalmente pregunta ¿Qué...? y el deductivo ¿Cómo...?. La metodología de árboles de fallas cae dentro del segundo método, yendo de lo general a lo particular; dado que a partir de una falla general del sistema se obtienen las fallas particulares que constituyen el generador inicial.

Es importante resaltar, que el árbol de fallas no es un modelo que representa todas las posibles fallas que se pueden presentar para que el sistema falle. El árbol de fallas sólo contendrá las fallas de los subsistemas y elementos que puedan dar origen el evento tope, y aún más, sólo poseerá las fallas que el analista haya asignado al árbol como factibles.

La metodología involucrada en el análisis de árboles de fallas, la podemos concentrar en los siguientes puntos:

- 1.- Definir el evento tope.
- 2.- Determinar la importancia de éste.

- 3.- Establecer las fronteras del sistema a estudiar.
- 4.- Identificar los eventos precursores al evento tope y los anteriores a éstos.
- 5.- Generar el árbol de fallas.
- 6.- Efectuar el análisis cualitativo.
- 7.- Asignar valores de tasas de falla a los eventos básicos y efectuar un análisis cuantitativo.
- 8.- Análisis de sensibilidad.

1.3.1 Definición del Evento Tope.

La definición del evento tope o evento no deseado de interés, se efectúa en base a la experiencia que se tiene del sistema, si es que existe, de los datos de las propiedades fisicoquímicas de los elementos que lo constituyen y de las sustancias que manejan, y por resultados de otras metodologías, generalmente del tipo inductivo que arrojan las fallas generales del sistema a partir de una falla básica.

En base a la información práctica y teórica, se inicia el análisis del evento tope cuya falla es la de mayor trascendencia para el sistema y cuyos efectos humanos, ambientales y materiales, son los de mayor peso.

1.3.2 Importancia del Evento Tope.

Las consecuencias de la falla, deben ser determinadas de una manera realista. Se deben considerar los efectos que la falla pueda acarrear consigo a la vida humana, ecología y economía. Una vez determinados

éstos, se valorará la importancia del evento tope, justificándose o no, el análisis mediante la metodología de árboles de fallas.

1.3.3 El Sistema y sus Fronteras.

Entendamos por sistema, al conjunto de elementos cuya interacción tiene un propósito que conduce a resultados en el tiempo. Los sistemas los podemos clasificar como abiertos o cerrados, si interaccionan energética y/o materialmente con el medio o no.

En el universo prácticamente todos los sistemas son abiertos, sin embargo en ocasiones, por sus características particulares es conveniente analizarlos como cerrados.

Los sistemas podrán ser a su vez divididos en subsistemas sucesivamente, hasta alcanzar el grado de resolución que marquemos como frontera interna, que constituirán los elementos básicos del sistema.

El éxito de un análisis, depende en gran medida de la definición del sistema, tanto en su frontera externa como en la interna.

Las fronteras del sistema serán función de los objetivos que se persigan en el análisis y de la información que se posea.

Generalmente, la problemática en la definición de fronteras, se presenta en la interna. Si en un análisis excedemos la resolución necesaria de la frontera interna, nos podrá conducir a tiempos prolongados de estudio, que no mejoren realmente los resultados; por el contrario, si las fronteras elegidas no alcanzan el grado de resolución adecuado, nos podrán conducir a resultados erróneos.

Es bueno preguntarse antes de continuar con el análisis, una vez que:

se han seleccionado las fronteras, lo siguiente:

¿Son las fronteras elegidas en el sistema factibles de estudio?

¿Son éstas, adecuadas para alcanzar los objetivos que se persiguen?

1.3.4 Simbología empleada en Árboles de Fallas.

A continuación, se describirán los símbolos^{1,2,4,5} empleados en la construcción de árboles de fallas.

Eventos Primarios

Los eventos primarios de un árbol de fallas, son los que por una razón u otra, no se han seguido desarrollando, y es a estos eventos a los que se les asignan tasas de falla, para calcular la probabilidad de ocurrencia del evento tope.

Los tres tipos más comunes de eventos primarios que se presentan en los sistemas, son los relacionados a:

1.- Los seres humanos. Por ejemplo:

- a) Error del operador.
- b) Error de diseño.
- c) Error de mantenimiento.

2.- El sistema. Por ejemplo:

- a) Fallas relacionadas con elementos estáticos.
- b) Fallas relacionadas con elementos dinámicos.
- c) Fallas de instrumentos detectores o emisores de señal.

3.- Al medio ambiente.

- a) Terremotos.
- b) Tormentas.

c) Rayos.

Los problemas en los sistemas son originados por combinaciones de varios eventos que pueden pertenecer a cualquiera de los orígenes mencionados.

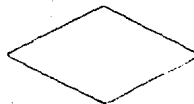
Existen cuatro tipos de eventos primarios:

Evento Básico



El círculo representa el evento falla básico, el cual no requiere de un desarrollo más profundo. En otras palabras, se ha alcanzado el nivel máximo de resolución mercado por la frontera interna del sistema.

Eventos sin Desarrollar



El rombo represente el evento falla específico, cuyo desarrollo no se ha continuado, ya sea porque se determinó que las consecuencias no trascienden en la falla global del sistema, o por falta de información relevante para el evento.

Evento Condicional



La elipse se emplea para indicar cualquier condición o restricción que se aplique a cualquier compuerta lógica. Va acompañando a las compuertas de inhibición y de prioridad "AND".

Evento Externo



La casa se emplea para denotar un evento que se espera normalmente que ocurra, por ejemplo, un cambio de fase en un sistema dinámico. Es por lo anterior que este evento no es propiamente una falla.

Eventos Intermedios



Los eventos intermedios, son eventos falla, que ocurren a causa de uno o más eventos predecesores que pueden ser a su vez eventos intermedios o eventos básicos.

Todos los eventos intermedios, al igual que el evento tope, se simbolizan con un rectángulo.

Compuertas o Conectores Lógicos

Compuerta "OR"

La compuerta "OR" transmitirá la salida, si uno o más de los elementos de entrada se presentan.

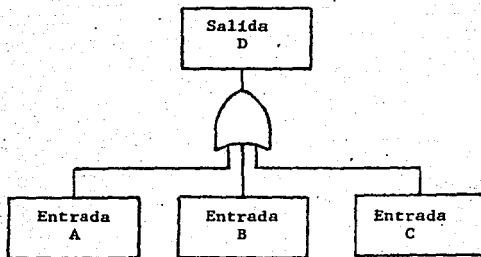


Figura 1.1
Compuerta "OR".

El evento "D", se dará al presentarse el evento "A", "B", "C" o cualquiera de las combinaciones de los tres eventos. La compuerta "OR" puede tener dos o más elementos a la entrada, pero sólo uno a la salida.

En las compuertas "OR" las entradas son idénticas a las salidas en lo que a la falla respecta, pero se encuentra más especificada la causa o causas de las fallas a la entrada de la compuerta, que la falla a su salida. La siguiente figura ayudará a aclarar este punto.

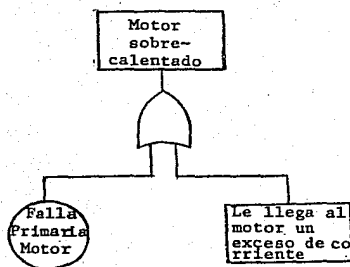


Figura 1.2

Ejemplo de la compuerta "OR".

Compuerta "AND"

La compuerta "AND", transmitirá la salida, si y sólo si, se presentan simultáneamente todos los eventos a la entrada de la compuerta.

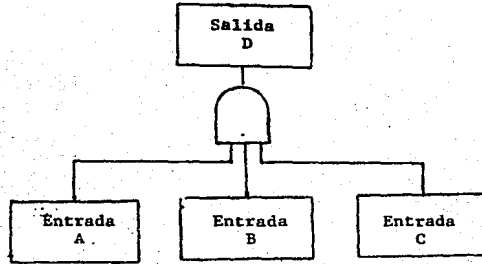


Figura 1.3
Compuerta "AND".

Para que se presente el evento "D", se deben presentar los eventos "A", "B" y "C" simultáneamente. Esta compuerta puede tener varios elementos de entrada y únicamente un elemento de salida.

En contraste a las compuertas "OR", los elementos antecedentes a las compuertas "AND", no tienen necesariamente que guardar relación entre sí o con el elemento a la salida del sistema.

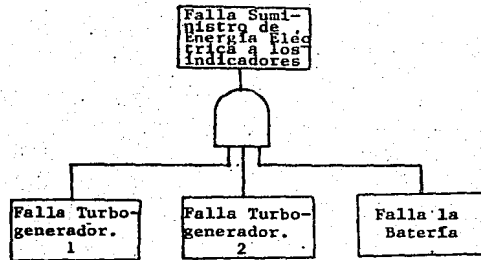


Figura 1.4
Ejemplo de la compuerta "AND".

Compuerta de Inhibición

Esta compuerta esta representada por un hexágono y es una variación de la compuerta "AND". La compuerta es activada con una sola entrada, sin embargo, el evento de entrada debe cumplir con ciertas condiciones antes de que pueda originar la salida de la compuerta.

La condición que debe tener el evento a la entrada, se indica con una elipse conectada a la derecha de la compuerta como se muestra en la figura 1.5.

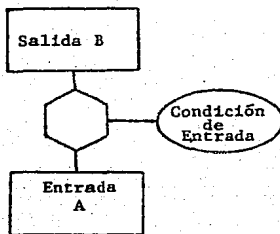


Figura 1.5
Compuerta de inhibición.

Para dejar más en claro el uso de esta compuerta, veamos el siguiente ejemplo:

Algunas reacciones químicas se llevan a cabo, a condiciones determinadas de temperatura y presión solamente en presencia de un catalizador. El catalizador no reacciona químicamente con los reactivos para formar ei, o los productos, pero su presencia es necesaria.

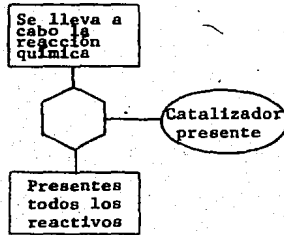


Figura 1.6
Ejemplo de la compuerta de inhibición.

Compuerta "OR" Exclusivo

La compuerta "OR" Exclusivo, es un caso particular de la compuerta "OR" esta compuerta dará la salida si uno de los eventos de entrada ocurren, pero no, si más de uno se presentan simultáneamente.

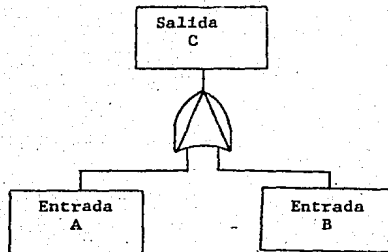


Figura 1.7
Compuerta "OR" Exclusivo.

El evento "C", se presentará únicamente si se presenta "A" o "B"; pero no ambos.

En la práctica no existe una diferencia cuantitativa significativa en el uso de un "OR" o un "OR" Exclusivo, por lo que generalmente se usa la compuerta "OR".

Supongamos que alimentamos a un tanque un flujo volumétrico de: 1000 litros/minuto de agua por medio de dos bombas cada una con su respectiva línea. Si consideramos el evento, "pérdida parcial de alimentación", para que se pudiera dar dicho evento, tendría que fallar una de las dos bombas, ya que si las dos fallaran, sería una pérdida total de alimentación. Este hecho se puede representar con la siguiente figura.:

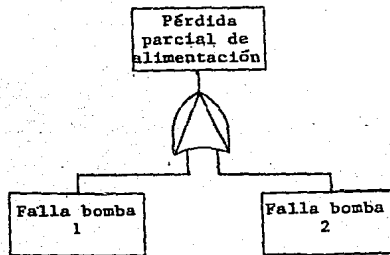


Figura 1.8
Ejemplo de la compuerta "OR" Exclusivo.

Esta situación también puede ser representada de la siguiente forma:

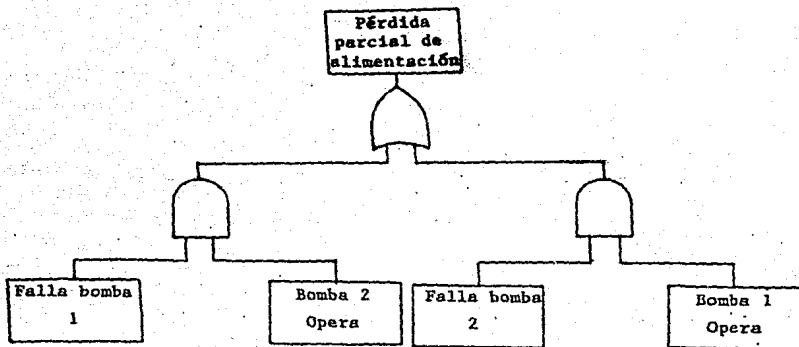


Figura 1.9
Equivalencia de la compuerta "OR" Exclusivo.

Compuerta de Prioridad "AND"

La compuerta de prioridad "AND", es un caso especial de las compuertas "AND", en el cual, el evento de salida ocurre, si todos los eventos e la entrada suceden en una secuencia de orden específico.

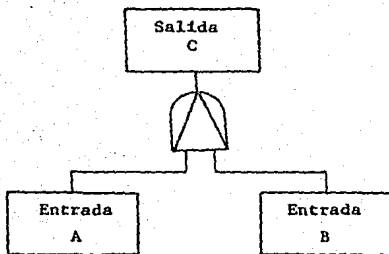


Figura 1.10:
Compuerta de Prioridad "AND".

Para que ocurra el evento "C", tienen que ocurrir los eventos "A" y "B", donde "A", ocurre antes que "B".

Para ejemplificar el uso de esta compuerta, consideremos un sistema que tiene un turbogenerador de relevo. El turbogenerador de relevo es puesto en marcha con un interruptor automático, que actúa cuando el turbogenerador principal falla. El sistema no suministra energía si :

- 1.- El turbogenerador principal y el de relevo fallan, o
- 2.- El interruptor automático falla primero y luego el turbogenerador principal.

Este ejemplo puede ser representado de la siguiente forma:

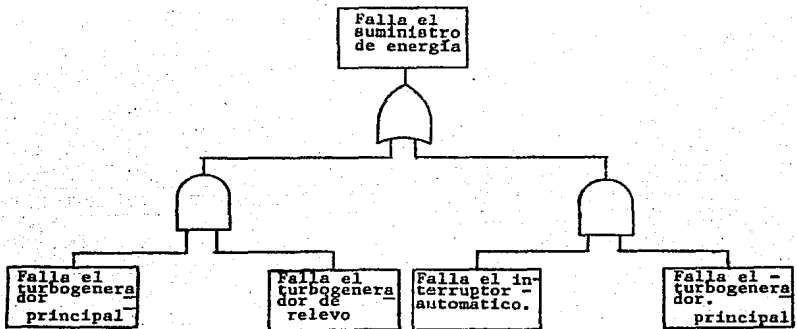


Figure 1.11:
Ejemplo de la compuerta de Prioridad "AND".

Una expresión equivalente se muestra a continuación:

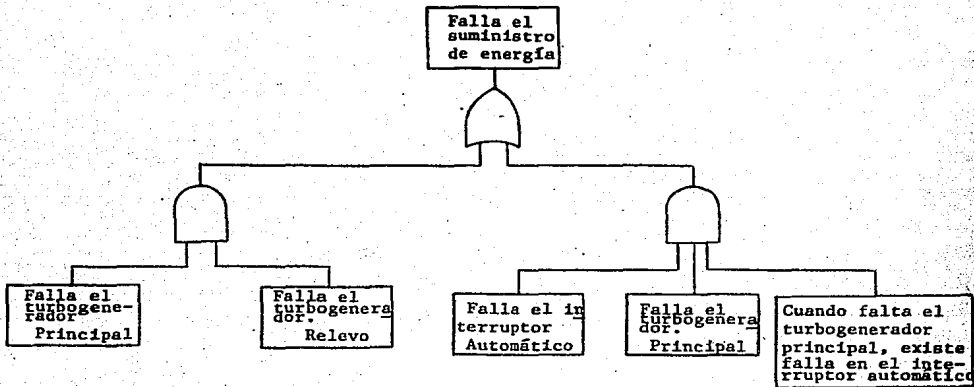


Figura 1.12
Equivalencia de la compuerta de Prioridad "AND".

Símbolos de Transferencia

Se emplean para conectar en forma secuencial los diagramas de árboles de fallas.

Transferencia de entrada



Transferencia de salida



Un símbolo de transferencia de entrada, siempre va acompañado de uno de transferencia de salida.

1.3.5 Reglas Básicas para la Construcción de Árboles de Fallas.

Para la construcción de árboles de fallas se deben de identificar los eventos precursoras al evento tope y los anteriores a éstos, aplicando un

análisis deductivo sucesivamente hasta encontrar los eventos básicos iniciales de la falla, o si llegar a eventos que marquen el límite de resolución del análisis. Estos eventos se relacionan entre sí por medio de conectores lógicos.

A continuación se muestran algunas reglas eurísticas que ayudan al éxito en la construcción de árboles de fallas.

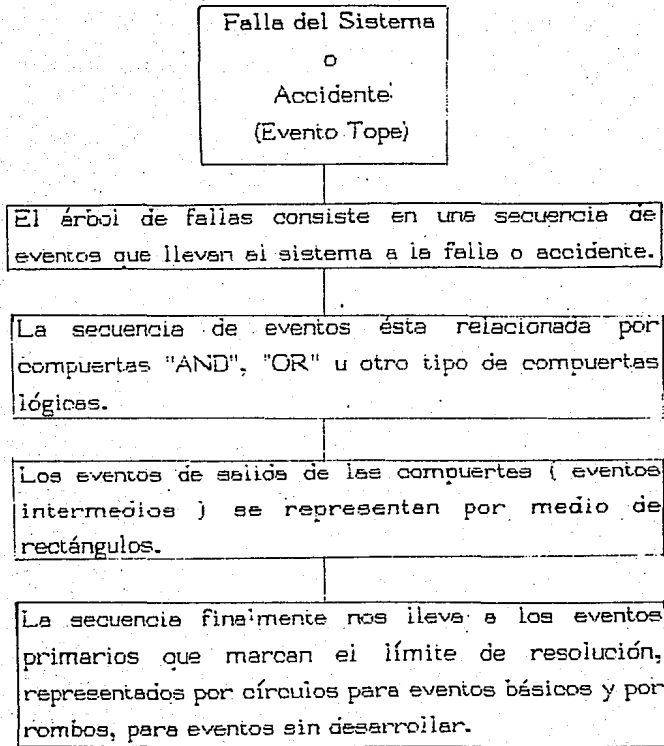
- 1.- Dividir un evento en eventos más elementales.
- 2.- Identificar las causas que conduzcan al evento tope.
- 3.- Escribir los eventos diciendo "¿Qué es la falla?". Se pueden abreviar palabras, pero no ideas.
- 4.- Todas las entradas a una compuerta, deben estar completamente definidas antes de que se lleve a cabo un análisis más profundo.
- 5.- No existen milagros.
- 6.- Si la respuesta es "sí", a la pregunta "¿Se debe la falla al fracaso de un componente?", el evento se clasifica como "falla de estado del componente". Si la respuesta es "no", el evento se clasifica como "falla de estado del sistema".

Si el evento es clasificado como "falla de estado del componente", se coloca una compuerta "OR" abajo del evento y se determinen las fallas precursoras a la compuerta; observando si las fallas son primarias, secundarias o de comando.

Una falla primaria, es una falla que ocurre cuando el componente trabaja a condiciones de diseño. Una falla secundaria, es aquella que se presenta fuera de condiciones de diseño. Finalmente, en una falla de comando el componente trabaja adecuadamente pero fuera de tiempo. Cuando el evento es clasificado como "falla de estado del sistema", se debe buscar la o las causas inmediatas a la falla. El evento puede

requerir de una compuerta o quizá de ninguna, si es que ese evento se ha elegido como límite de resolución.

Un árbol de fallas contiene los siguientes aspectos fundamentales.



1.3.6 El comportamiento lógico de las compuertas "OR" y "AND" y el álgebra de Boole.

1.3.6.1 Las compuertas "OR" y "AND" y su comportamiento probabilístico.

Hay que destacar antes de abocarnos al álgebra de Boole algunas de las propiedades que presentan las compuertas lógicas.

Las compuertas "AND", desde un punto de vista de teoría de conjuntos, representan a la intersección.

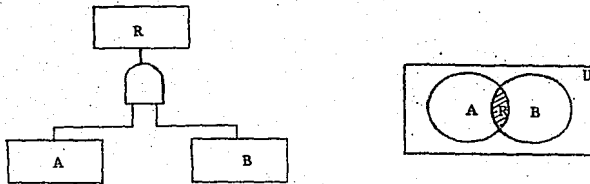


Figura 1.13:

La compuerta "AND" y su representación mediante un diagrama de Venn.

Las compuertas "OR" representan a la unión.

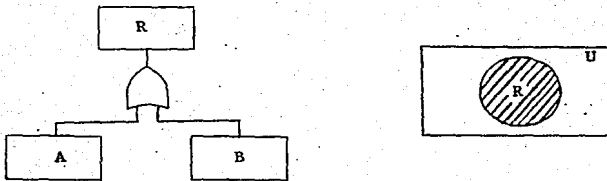


Figura 1.14:

La compuerta "OR" y su representación mediante un diagrama de Venn.

En ingeniería, se acostumbra emplear el signo "." para designar a la intersección de conjuntos y el signo "+" para designar la unión.

Es conveniente agregar a la representación gráfica de los árboles de fallas, el símbolo "." y "+" a las compuertas para facilitar la traducción a ecuaciones booleanas, sobre todo, cuando se está iniciando en la aplicación de esta metodología.

En los sistemas binarios, es común emplear los números 0 y 1; para designar situación de apagado o encendido, y falso o verdadero, como en el caso de los sistemas de cómputo, en cuyo sistema de unidad mínima de memoria "bit" sólo se puede presentar el estado de energía que corresponde al "1" o el de carencia de la misma, que corresponde a "0"; de una manera análoga se comportan las compuertas lógicas que presentan las siguientes tablas de verdad:

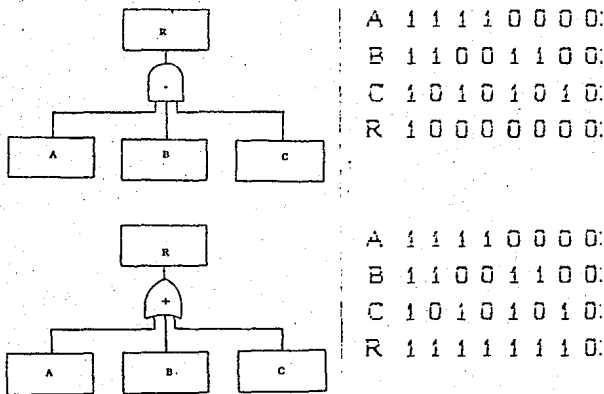


Figura 1.15

Tablas de verdad de las compuertas lógicas "AND" y "OR".

Sea el árbol de fallas que contenga los eventos "A" y "B" que originen:

al evento "R".

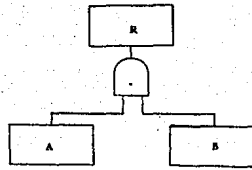


Figura 1.16
Compuerta "AND".

En términos de probabilidad condicional^{9,10,13}, suponiendo que los eventos "A" y "B" en nuestro árbol de falles son dependientes, es decir, no podrá suceder "A" sin que suceda "B" y "B" sin que suceda "A"; tenemos la siguiente ecuación que representa la probabilidad de ocurrencia de "R".:

$$P(R) = P(A) P(B/A) = P(B) P(A/B) \quad (1.1):$$

Si estos eventos presentaran un comportamiento independiente, nuestra expresión se transformaría en:

$$P(R) = P(A) P(B) \quad (1.2):$$

dato que $P(B/A) = P(B)$ y $P(A/B) = P(A)$, lo que arroja una probabilidad de ocurrencia de "R" sensiblemente mayor que cuando los eventos son dependientes.

Veamos ahora el caso de las compuertas, que desde un punto de vista:

de probabilidad enlazan a eventos que son no mutuamente exclusivos, lo que significa que se suceden al mismo tiempo o no.

Tenemos el ejemplo del siguiente árbol de fallas:

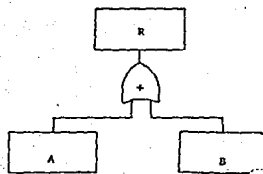


Figura 1.17
Compuerta "OR".

Si suponemos que los eventos "A" y "B" son no mutuamente exclusivos y dependientes, tendremos la siguiente expresión que manifiesta la probabilidad de ocurrencia de "R":

$$P(R) = P(A) + P(B) - P(A) P(B/A) \quad (1.3)$$

$$P(R) = P(A) + P(B) - P(B) P(A/B) \quad (1.4)$$

Pero si por el contrario, los eventos "A" y "B" presentaran un comportamiento mutuamente exclusivo, nuestra ecuación se transformaría a:

$$P(R) = P(A) + P(B) \quad (1.5)$$

dado que la $P(A) \cdot P(B/A) \neq 0$, lo cual nos arroja una probabilidad de ocurrencia mayor.

En los procesos químicos, es difícil predecir si las fallas serán dependientes, independientes, mutuamente exclusivas o no, por las características inherentes de los procesos químicos. Es por esto, que en la metodología de árboles de fallas se opta por el lado conservador en el cálculo de la probabilidad de ocurrencia del evento falla, a la salida de la compuerta, que en nuestro ejemplo es el evento "R", esto es, se efectúa el cálculo probabilístico empleando las expresiones que arrojan la mayor probabilidad de ocurrencia del evento.

Para las compuertas "AND", se supone que los eventos se dan de manera independiente, que para el caso de nuestro ejemplo es:

$$P(R) = P(A) P(B) \quad (1.6)$$

En las compuertas "OR", se supone que los eventos son mutuamente exclusivos empleándose la ecuación:

$$P(R) = P(A) + P(B) \quad (1.7)$$

1.3.6.2 Álgebra de Boole.

El álgebra de Boole tiene especial aplicación en los eventos que presentan dualidad o dicotomía en su comportamiento, es decir, que sólo pueden presentar dos estados, como lo es el caso de una válvula que puede estar abierta o cerrada, y en general podemos decir de cualquier evento que sucede o no.

El álgebra de Boole es empleada en los árboles de fallas, ya que estos últimos pueden ser concebidos como representaciones pictóricas de ecuaciones booleanas. De hecho, cualquier árbol de fallas (que presente las compuertas "OR", "AND"), puede ser expresado mediante un conjunto de ecuaciones booleanas.

El conjunto de propiedades y reglas que presenta el álgebra booleana, contribuyen a la simplificación y análisis de árboles de fallas.

A continuación, presentamos un condensado de las reglas que presenta el álgebra de Boole.

Una manera de comprobar la validez de dichas reglas, es recurriendo a los diagramas de Venn.

Tabla 1.1. Reglas del álgebra de Boole.

Simbología Matemática	Simbología de Ingeniería	Designación
(1a) $X \cap Y = Y \cap X$	$X \cdot Y = Y \cdot X$	Ley
(1b) $X \cup Y = Y \cup X$	$X + Y = Y + X$	Commutativa
(2a) $X \cap (Y \cap Z) = (X \cap Y) \cap Z$	$X \cdot (Y \cdot Z) = (X \cdot Y) \cdot Z$	Ley
(2b) $X \cup (Y \cup Z) = (X \cup Y) \cup Z$	$X + (Y + Z) = (X + Y) + Z$	Asociativa
(3a) $X \cap (Y \cup Z) = (X \cap Y) \cup (X \cap Z)$	$X \cdot (Y + Z) = X \cdot Y + X \cdot Z$	Ley de
(3b) $X \cup (Y \cap Z) = (X \cup Y) \cap (X \cup Z)$	$X + Y \cdot Z = (X + Y) \cdot (X + Z)$	Distribución
(4a) $X \cap X = X$	$X \cdot X = X$	Ley de
(4b) $X \cup X = X$	$X + X = X$	Idempotencia
(5a) $X \cap (X \cup Y) = X$	$X \cdot (X + Y) = X$	Ley de
(5b) $X \cup (X \cap Y) = X$	$X + X \cdot Y = X$	Absorción
(6a) $X \cap X' = \phi$	$X \cdot X' = \phi$	Complementación
(6b) $X \cup X' = U = 1$	$X + X' = S = 1$	
(6c) $(X')' = X$	$(X')' = X$	
(7a) $(X \cap Y)' = X' \cup Y'$	$(X \cdot Y)' = X' + Y'$	Teorema de Morgan
(7b) $(X \cup Y)' = X' \cap Y'$	$(X + Y)' = X' \cdot Y'$	

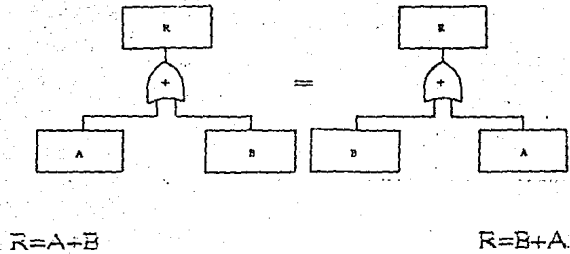
Continuación de la tabla 1.1. Reglas del álgebra de Boole.

Simbología Matemática	Simbología de Ingeniería	Designación
(8a) $\phi \cap X = \phi$	$\phi \cdot X = \phi$	Operaciones ϕ y S
(8b) $\phi \cup X = X$	$\phi + X = X$	
(8c) $S \cap X = X$	$S \cdot X = X$	
(8d) $S \cup X = S$	$S + X = S$	
(8e) $\phi' = S$	$\phi' = S$	
(8f) $S' = \phi$	$S' = \phi$	
(9a) $X \cup (X' \cap Y) = X \cup Y$	$X + X' \cdot Y = X + Y$	Estas relaciones no tienen designación pero son de uso frecuente
(9b) $X' \cap (X \cup Y') = X' \cap Y' = X \cup Y'$	$X' \cdot (X + Y') = X' \cdot Y' = X + Y'$	

Note: El símbolo "S", se emplea para designar a el conjunto universo. En ingeniería el equivalente a "S", es "1" y a ϕ es "0".

A continuación mostraremos de forma gráfica las principales reglas del álgebra de Boole que se aplican en árboles de fallas.

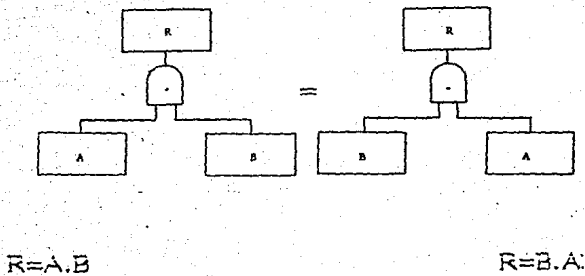
Ley Conmutativa



$$A+B=B+A$$

Figura 1.18

Ejemplo de la ley conmutativa.



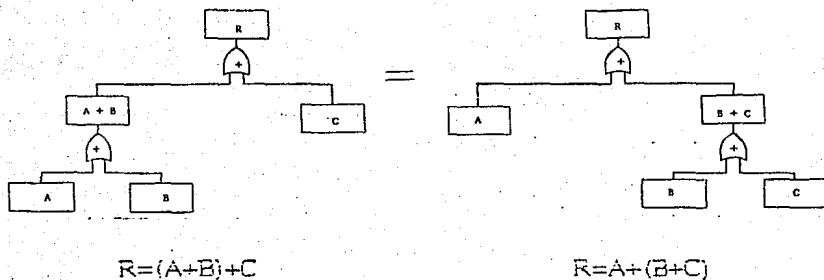
$$A \cdot B=B \cdot A$$

Figura 1.19

Ejemplo de la ley conmutativa.

Las operaciones de intersección y unión, cumplen con la ley conmutativa, permitiendo así el intercambio de los eventos "A" y "B".

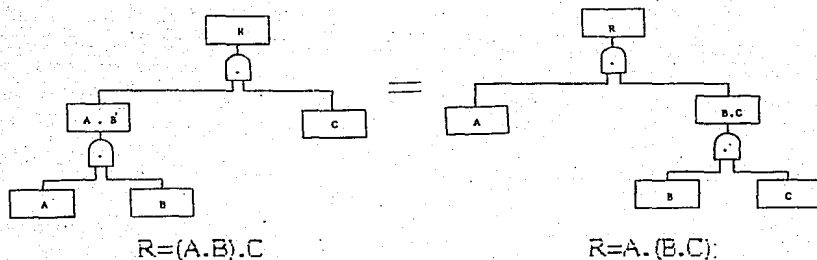
Ley Asociativa.



$$(A+B)+C=A+(B+C)$$

Figura 1.20

Ejemplo de la ley asociativa.



$$(A \cdot B) \cdot C = A \cdot (B \cdot C)$$

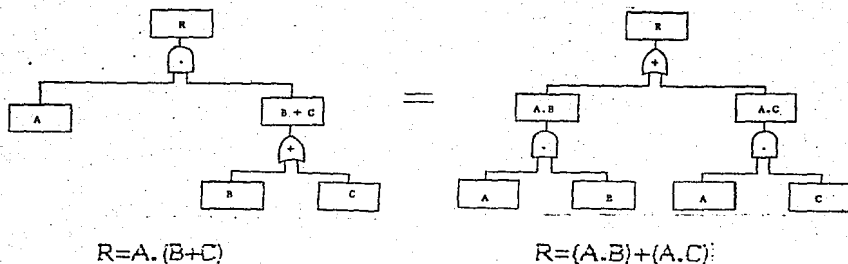
Figura 1.21:

Ejemplo de la ley asociativa.

Esta ley permite agrupar los eventos de la manera que más convenga

al analista.

Ley Distributiva:

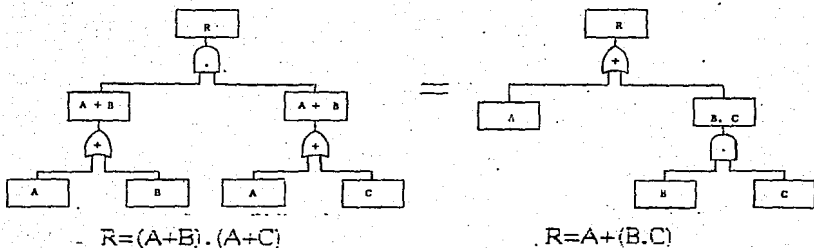


$$A \cdot (B+C) = (A \cdot B) + (A \cdot C)$$

Figura 1.22

Ejemplo de la ley distributiva.

Como podemos observar, en el segundo árbol existen redundancias (se repite el evento "A"), mientras que en el primero no. La ley distributiva es empleada en la simplificación de árboles de falla; en el sentido de factorización.



$$(A+B) \cdot (A+C) = A + (B \cdot C)$$

Figure 1.23

Ejemplo de la ley distributiva.

En este caso, tenemos eliminación de redundancias al factorizar el árbol de fallos aplicando la ley distributiva.

Ley de Idempotencia

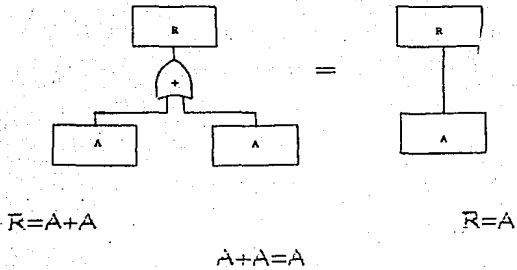


Figure 1.24

Ejemplo de la ley de idempotencia.

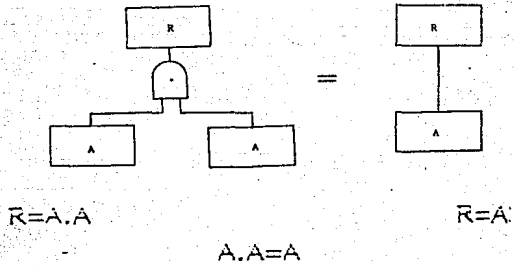


Figure 1.25

Ejemplo de la ley de idempotencia.

La ley de idempotencia elimina redundancias, ya que desde un punto de vista de teoría de conjuntos, al efectuar la unión o la intersección de dos conjuntos, cuyos eventos son los mismos, el resultado es el conjunto mismo.

Ley de Absorción

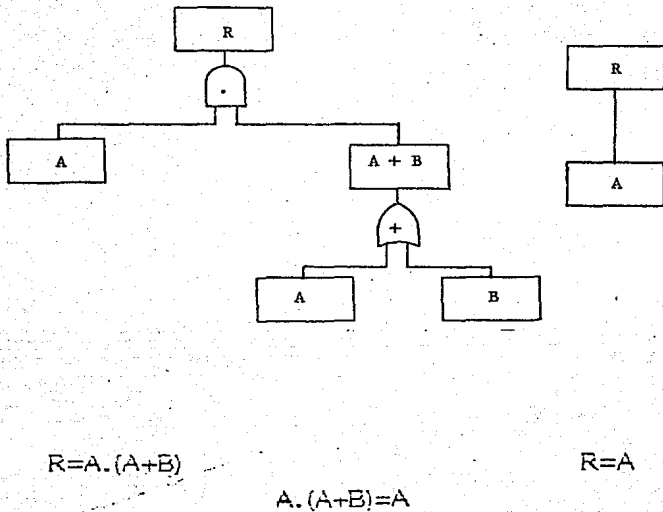
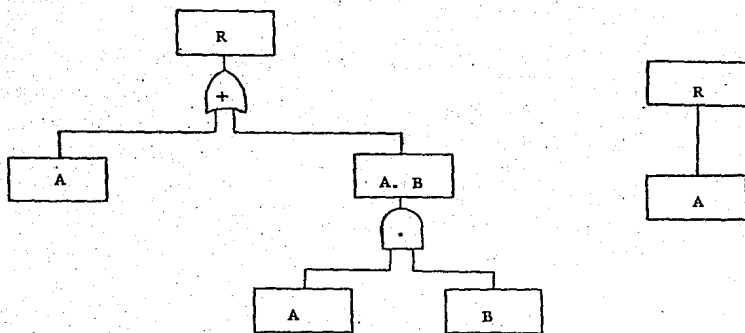


Figure 1.26
Ejemplo de la ley de absorción.



$$R = A + (A \cdot B)$$

$$A + (A \cdot B) = A$$

$$R = A$$

Figura 1.27

Ejemplo de la ley de absorción.

La ley de absorción puede ser más fácilmente visualizada mediante diagramas de Venn.

1.3.7 Análisis Cualitativo

1.3.7.1 Conjuntos de Corte (C.C) y Conjuntos Mínimos de Corte (C.M.C)

Un conjunto de corte se define como el conjunto de eventos que se deben de suceder para originar el evento tope.

En la construcción de un árbol de fallas, se pueden presentar una serie de redundancias, estas redundancias pueden ser eliminadas con la

ayuda del álgebra de Boole.

Si aplicamos el álgebra de Boole a los conjuntos de corte, obtenemos la mínima combinación de eventos de falla, que se deben dar para originar al evento tope, a esta combinación de eventos se le conoce como conjuntos mínimos de corte y son precisamente éstos, los que se utilizan para hacer el análisis cuantitativo y cualitativo.

Consideraremos el siguiente árbol de fallas:

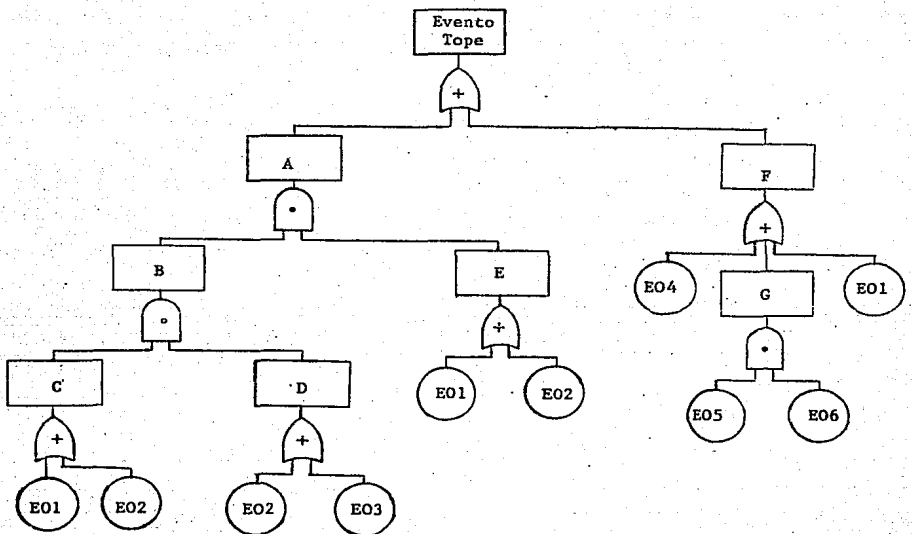


Figure 1.28:
Árbol de fallas.

$$E.T. = A+F$$

$$A = B * E$$

$$B = C * D$$

$$C = E01 + E02$$

$$D = E02 + E03$$

$$E = E01 + E02$$

$$F = E04 + G + E01$$

$$G = E05 * E06$$

Substituimos primero "A" y "F"

$$E.T. = (B * E) + (E04 + G + E01)$$

después sustituimos "B" y "E"

$$E.T. = ((C * D) * (E01 + E02)) + E04 + G + E01$$

desarrollando la expresión tenemos:

$$E.T. = C * D * E01 + C * D * E02 + E04 + G + E01$$

aplicando la ley de absorción, donde $C * D * E01 + E01 = E01$

$$E.T. = C * D * E02 + E04 + G + E01$$

ahora sustituimos a "C" y a "D"

$$E.T. = (E01 + E02) * (E02 + E03) * E02 + E04 + G + E01$$

desarrollando tenemos:

$$E.T. = E01 * E02 * E02 + E01 * E03 * E02 + E02 * E02 * E02 + E02 * E03 * E02 + E04 + G + E01$$

aplicando la ley de absorción para $E01 * E02 * E02 + E01 * E03 * E02 + E01 = E01$

$$E.T. = E02 * E02 * E02 + E02 * E03 * E02 + E04 + G + E01$$

aplicando la ley de idempotencia $E02 * E02 * E02 = E02$

$$E.T. = E02 + E02 * E03 * E02 + E04 + G + E01$$

si el término $E02 + E02 * E03 * E02$ le aplicamos la ley de absorción

obtenemos:

$$E.T. = E02 + E04 + G + E01$$

finalmente substituímos a "G" obteniendo así la expresión reducida:

$$E.T. = E01 + E02 + E04 + E05 * E06$$

por lo que el árbol anterior puede ser representado como :

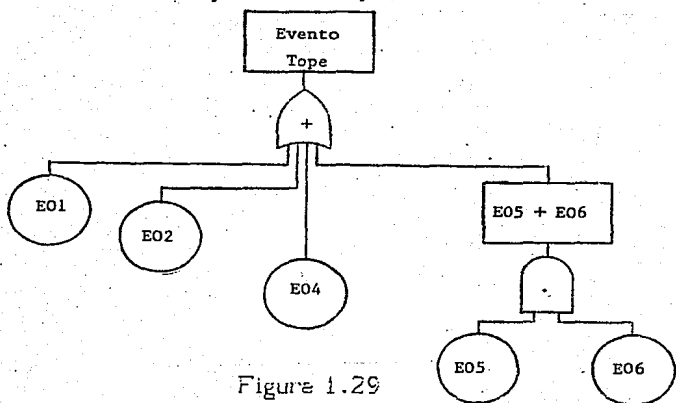


Figura 1.29

Árbol de fallas reducido.

de donde obtenemos cuatro conjuntos mínimos de corte ; tres de orden uno (E01, E02 y E04) y uno de orden dos (E05 * E06).

La ley distributiva, la ley de idempotencia y la ley de absorción, son las más utilizadas para eliminar redundancias de un árbol de fallas, como se puede observar en el ejemplo anterior.

El orden de los C.M.C., será directamente proporcional al número de eventos unidos mediante compuertas "AND", que se encuentran en la trayectoria hacia el evento tope y dado que la probabilidad del evento a la salida de una compuerta "AND", es el producto de las probabilidades.

de los eventos a la entrada, la probabilidad de que un evento básico origine el evento tope, se irá abatiendo conforme el orden de los C.M.C. aumenta.

De manera general podemos decir que los C.M.C. de menor orden son a los que se les debe prestar especial atención, ya que tan sólo se tiene que presentar un evento en el C.M.C. de orden uno, dos eventos en el C.M.C. de orden dos y así sucesivamente para que se de el evento tope.

En el ejemplo anterior a los C.M.C. E01, E02 y E04 se les tiene que prestar mayor atención, ya que estos C.M.C. son de primer orden a diferencia del C.M.C. E05*E06 que es de segundo orden.

Desde un punto de vista de seguridad, se recomienda el incrementar el orden de los C.M.C., cuando éstos son bajos y las necesidades así lo requieren, haciendo las modificaciones pertinentes al proceso. Por ejemplo, si un criterio establece que el sistema no deberá inutilizarse por la ocurrencia de un sólo evento de falla, es necesario verificar que el sistema no tenga C.M.C. de orden uno.

1.3.8 Análisis Cuantitativo.

Una vez hecho el análisis cualitativo y obtenidos los C.M.C., se procede a asignar tasas de falla, generalmente por ciclo u hora de operación a los componentes del sistema. Se entenderá por componente a cualquier evento básico, sea círculo, rombo, etc..

Los principales resultados arrojados por el análisis cuantitativo son los siguientes:

- a) Índices de indisponibilidad de componentes, C.M.C. y del sistema.

b) Cálculo de importancias probabilísticas de componentes y C.M.C.

y,

c) Análisis de sensibilidad.

Estos resultados nos permiten determinar los puntos débiles (si existen) del sistema, y apartir de éstos, efectuar modificaciones para aumentar su confiabilidad:

Uno de los principales problemas en el análisis cuantitativo es el determinar o asignar razones de falla a los componentes, dado que en la industria química, encontramos una gran variedad de equipos específicos para cada tipo de proceso. Sin embargo, existen organismos⁵ como el "Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. (I.E.E.E.)", que en su Departamento de Ingeniería y Energía Nuclear han recopilado información de fallas de componentes de diferentes industrias.

1.3.8.1 Distribuciones Probabilísticas para Modelos de Tasa de Falla Constante.

La distribución de Poisson o exponencial^{5,10}, se emplea en espacios muestrales relativamente grandes, en donde la probabilidad de ocurrencia de los eventos es baja, lo cual se ajusta al comportamiento de los eventos manejados en los árboles de fallas.

La distribución de Poisson es obtenida a partir del límite de la distribución binomial, al considerar que el conjunto de muestras "n" tiende a infinito, y la ocurrencia "x" de estos eventos, tiende a cero con probabilidad "p" de éxito.

$$\lim. \left[\left[\frac{n}{x} \right] p^x (1-p)^{n-x} \right] \quad (1.8)$$

$$n \rightarrow \infty$$

$$x \rightarrow 0$$

El límite obtenido es:

$$P[\text{Ocurrencia de un evento}] = \left(\frac{np}{x!} \right)^x \cdot e^{-np} = \frac{m^x \cdot e^{-m}}{x!} \quad (1.9)$$

en donde $m=np$

La ecuación 1.9 arroja la probabilidad de "x" ocurrencias de un evento raro ($p \rightarrow 0$) en un número grande de intentos ($n \rightarrow \infty$).

Tenemos que para el caso esperado de ocurrencias $x=0$, la probabilidad del sistema fallado se encuentra expresada por la siguiente ecuación:

$$P[0 \text{ del sistema fallado}] = e^{-m} \quad (1.10)$$

en donde "m" es el número esperado de fallos en un número grande de intentos.

En el análisis de árboles de fallas el parámetro de interés es el tiempo, por lo que se busca expresar "m" en términos de éste.

Supongamos que los datos de un sistema indican que en promedio se presenta una falla cada 50 horas, nosotros podemos decir entonces que el tiempo promedio de la falla " θ ".

Si operamos el sistema durante 100 horas, es de esperar que se presenten dos fallas, esto es $100/50=2$.

Empleando a " t " para denotar el tiempo de operación tenemos:

Número de fallas en un tiempo " t " = t/θ .

si $\lambda = 1/\theta$ nuestra ecuación 1.10 se transforma en:

$$P[0 \text{ del sistema fallado}] = e^{-m} = e^{-t/\theta} = e^{-\lambda t} \quad (1.11)$$

en donde λ es igual a la tasa de falla constante.

Es precisamente la ecuación 1.11 la que representa la confiabilidad de un sistema a la que denotaremos como $R(t)$, y es la probabilidad de no fallar en el tiempo " t ".

$$R(t) = e^{-t/\theta} = e^{-\lambda t} \quad (1.12)$$

El complemento de la función de confiabilidad $R(t)$, se le conoce como $F(t)$ y representa la probabilidad de que el sistema falle a priori, es decir que el sistema falle antes del tiempo " t ".

La ecuación es:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (1.13)$$

donde $F(t)$ es la probabilidad de que ocurra la falla en un periodo de tiempo " t ".

Si efectuamos la derivada de la ecuación 1.13 obtenemos:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{d(1 - e^{-\lambda t})}{dt}$$
$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (1.14)$$

$f(t)$ es la función de densidad y es la probabilidad de que ocurra la falla entre el tiempo " t " y " $t+dt$ ".

1.3.8.2 Función de Tasa de Falla.

La función de tasa de falla " $\lambda(t)$ "^{5, 6} define la probabilidad condicional dada por la relación de las ecuaciones 1.13 y 1.14.

De 1.13

$$e^{-\lambda t} = 1 - F(t)$$

y de 1.14

$$e^{-\lambda t} = F(t) / \lambda(t)$$

igualando obtenemos:

$$\lambda(t) = f(t) / 1 - F(t) \quad (1.15)$$

Si graficamos $\lambda(t)$ contra el tiempo para un sistema dado obtenemos una gráfica similar a la mostrada en la figura 1.30. Por razones obvias la relación de $\lambda(t)$ vs. t es conocida como la "curva de tasa de baño". La tendencia de esta curva es análoga a la probabilidad de muerte del ser humano en las diferentes etapas de la vida.

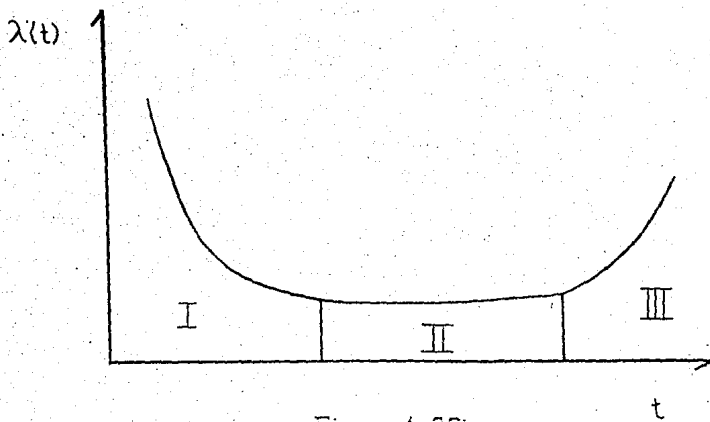


Figura 1.30:
"Curva de tina de baño."

La curva para su análisis puede ser dividida en tres regiones:

Región I

La distribución mostrada en esta sección de la curva depende básicamente de la naturaleza propia del sistema, esto es, las fallas que se pueden presentar en este rango generalmente se deben a defectos de fabricación en los componentes del sistema, de aquí que esta región se le compare con la región de mortalidad infantil.

Región II

Corresponde a la función cuya frecuencia de falla es constante, y es precisamente a esta región a la que se aplica la distribución exponencial.

Es en la región II donde la mayoría de los componentes de un sistema permanecen en su tiempo de vida útil y es en el final de este

período, donde se deben reemplazar los componentes antes de que entren a la región III.

Región III

En esta región, la probabilidad de falla del componente en estudio se ve aumentada por el desgaste funcional atribuido al tiempo de uso. La analogía del ser humano para esta parte de la curva es la vejez.

El comportamiento de la curva difiere con las características propias de cada sistema, dándose el caso de que la región II no se presente.

1.3.8.3 Indisponibilidad del Sistema.

Las razones de falla (λ) se emplean para determinar la probabilidad de falla del sistema, mediante la función de distribución de probabilidad acumulativa descrita en la sección anterior, denotada por $F(t)$, que en términos de confiabilidad del sistema se define como la desconfiabilidad del componente.

Matemáticamente la indisponibilidad de un C.M.C. estará dada por la siguiente expresión:

$$Q_i(t) = \prod_{i=1}^n q_i(t) \quad (1.16)$$

en donde $q_i(t)$ será la indisponibilidad propia de cada componente en un C.M.C. en particular y $Q_i(t)$ la indisponibilidad del C.M.C., es decir, la probabilidad de que todos los componentes de un C.M.C. estén indispuestos a un tiempo "t".

Existen dos operadores que pueden ser usados para indicar la indisponibilidad de un sistema en un tiempo "t", el operador "AND", Π y

el operador "OR", Π .

La estructura del operador "AND", esta dada por:

$$Q_s(t) = \prod_{i=1}^n Q_i(t) = Q_1(t) * Q_2(t) * \dots * Q_n(t) \quad (1.17):$$

donde $Q_s(t)$ es la indisponibilidad del sistema.

La estructura de la función de la compuerta "OR" con "n" entradas es:

$$Q_s(t) = \prod_{i=1}^n Q_i(t) \equiv 1 - \prod_{i=1}^n (1 - Q_i(t)) \quad (1.18):$$

Es importante remarcar en este punto, que un componente "i" es crítico para el sistema a un tiempo "t", si éste al fallar origina que el sistema pase de un estado de operación normal a situaciones de falla.

Si las fallas de los componentes no son reparables, entonces los componentes pueden estar descompuestos en el tiempo "t". Consecuentemente si consideramos las fallas como no reparables, cuando el componente está en condiciones para $t=0$, la indisponibilidad $Q(t)$ será igual a la desconfiabilidad $F(t)$.

1.3.8.4 Importancia de los Componentes y de los C.M.C. en el Sistema.

Una parte importante en el análisis cuantitativo, es la determinación de la importancia de los componentes y C.M.C. en el sistema.

Uno de los métodos más sencillos y más utilizados para el cálculo de importancias en árboles de fallas, es el propuesto por Fussell-Vesely.^{5,8}

El cálculo de estas importancias se puede hacer refiriéndose a la indisponibilidad del sistema.

Para el cálculo de la importancia del C.M.C., se toma la relación de la característica del C.M.C. sobre la característica del sistema.

$E_i(t) = \frac{Q_i(t)}{Q_s(t)}$ = fracción de contribución del C.M.C. i a la indisponibilidad del sistema en el tiempo "t".

(1.19)

$$E_i(t) = \frac{Q_i(t)}{1 - \prod_{i=1}^n (1 - Q_i(t))} \quad (1.20)$$

y para determinar la importancia de un componente se suman las características de todos los C.M.C. que contenga el componente y se divide por la característica del sistema.

$e_k(t) = \frac{\sum Q_i(t)}{Q_s(t)}$ = fracción de la contribución de la falla del componente k a la indisponibilidad del sistema en el tiempo "t".

(1.21)

1.3.8.5 Análisis de Sensibilidad.

El principal objeto de este análisis, es determinar el impacto que tendría sobre la confiabilidad de un sistema los cambios de diseño, política de inspección y mantenimiento, etc., de una forma cuantitativa.

Mediante la aplicación de este tipo de análisis, el analista puede dar respuesta a preguntas tales como: ¿Qué tanto se debe mejorar la confiabilidad de tal o cual componente para que el proceso reúna ciertos requisitos de seguridad?. ¿En que parte del proceso debemos invertir para mejorar la confiabilidad y seguridad?, etc..

1.3.9 Información Necesaria para la Generación de un Arbol de Fallas en un Proceso Químico:

En el siguiente diagrama de bloques esquematizamos el flujo de información, que se debe obtener para la generación de un árbol de fallas en un proceso químico¹.

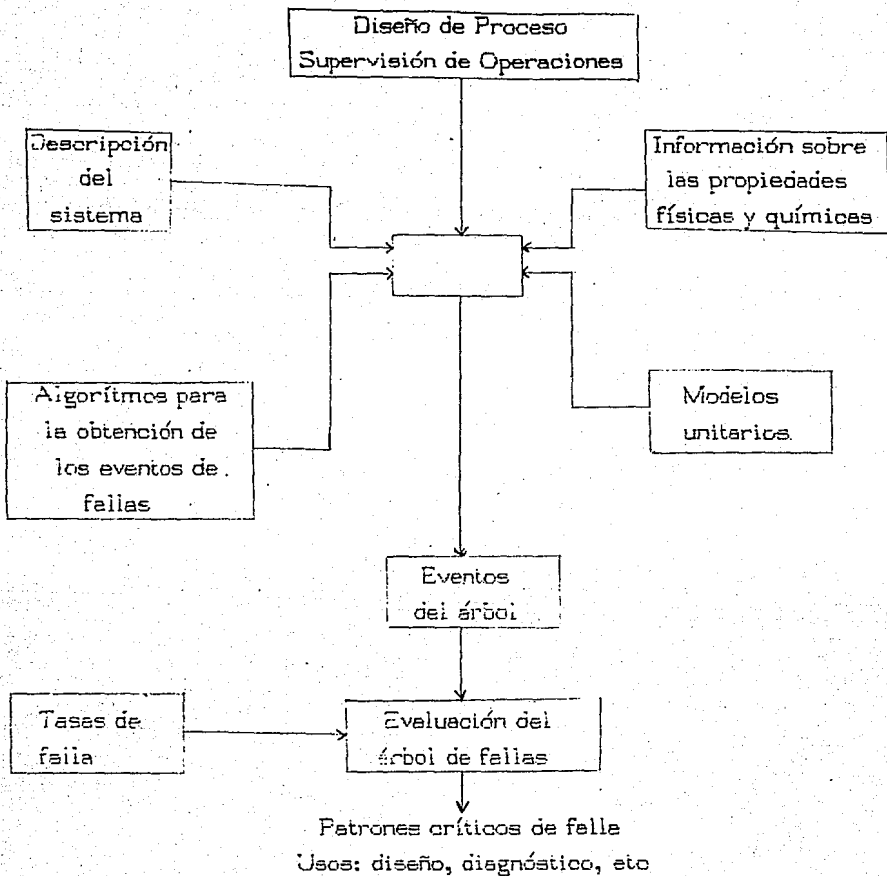


Figura 1.30:

Diagrama de bloques de la información necesaria para la construcción de un árbol de fallas.

Información requerida para la generación del árbol de fallas en un proceso químico:

a) Descripción del Sistema.

Es importante poseer información detallada de la descripción del proceso como diagramas de flujo, de tuberías, instrumentos, etc., para así poder estructurar un análisis de calidad.

La información requerida la podemos desglosar dentro de cuatro áreas principales: equipo, corrientes, controladores e indicadores.

En la tabla 1.2 mostremos la información requerida para describir un proceso químico en un análisis de árboles de fallas.

1. EQUIPO.

a) Nombre:

b) Función:

c) Condiciones de operación normal.

1. Temperatura:

2. Presión:

3. Fase:

4. Nivel:

d) Características:

1. Máximo rango de temperaturas:

2. Máximo rango de presión:

3. Materiales de construcción:

4. Volumen:

5. Edad:

6. Localización:

7. Fabricante y número de serie:

8. Características de resistencia:

9. Ejes rotatorios:

e) Corrientes de salida:

f) Corrientes de entrada:

g) Especies químicas.

1. Nombre(s):

2. Concentración(es):

h) Medidores:

2. CORRIENTES.

a) Equipo de procedencia:

b) Equipo a que se destina:

c) Condiciones normales de operación:

1. Dirección:

2. Fase:

3. Temperatura:

4. Presión:

5. Velocidad:

d) Características.

1. Máximo rango de temperaturas:

2. Máximo rango de presión:

3. Materiales de construcción:

4. Edad:

5. Longitud:

6. Diámetro:

7. Localización:

8. Fabricante y número de lote:

9. Características de resistencia (explosión, etc.):

3. CONTROLADORES.:

- a) Nombre:
- b) Función (temperatura, presión, pH, etc.):
- c) Medidor de entrada:
- d) Equipo controlado:
- e) Forma:
- f) Características.
 - 1. Máximo rango de temperaturas:
 - 2. Máximo rango de presión:
 - 3. Materiales de construcción:
 - 4. Edad:
 - 5. Lectura máxima:
 - 6. Lectura mínima:
 - 7. Localización:
 - 8. Fabricante y número de lote:
 - 9. Manual o automático:
- g) Tipo (eléctrico, neumático, etc.)

4. MEDIDORES.

- a) Nombre:
- b) Función:
- c) Origen de la señal de entrada (equipo o corriente):
- d) Destino de la señal de salida (controlador, pantalla, etc.):
- e) Características.
 - 1. Máximo rango de temperaturas:
 - 2. Máximo rango de presión:
 - 3. Materiales de construcción:
 - 4. Edad:

5. Alarma:
 6. Localización:
 7. Fabricante, número de lote:
 8. Características de resistencia (explosión, etc.):
- f) Tipo (eléctrico, neumático, etc.):

Tabla 1.2

Información necesaria para la construcción de un árbol de fallas.

Generalmente la información requerida en esta tabla se encuentra en los manuales de especificaciones, diagramas de tubería, instrumentación, planos de la planta, etc.; sin embargo, esta información se encuentra dispersa y es difícil manejarla a través de todos los documentos, es por esto que se hace necesario agruparla en hojas de datos como las anteriores.

En la actualidad contamos además con herramientas electrónicas como microprocesadores, que permiten un manejo eficaz y eficiente de la información, a través de bases de datos.

Otra fuente importante de información, son las hojas de detalle. Es necesario describir el proceso tan a fondo como lo requiera el nivel de resolución que se haya determinado, sin escatimar o exceder éste. Si deseamos un análisis de árboles de fallas de una planta química, se le dará menos importancia al detalle de cada equipo, como lo sería el emboñinado de un motor, los platos de una columna de destilación, y se le pondría más atención, a cada equipo como un elemento del sistema planta, si por el contrario, analizamos un equipo, como lo podría ser una bomba, los elementos a analizar los constituirían: sellos, empaques,

tornillos, tuercas, impulsor, carcasa, etc..

Hay que destacar que la planta química, al igual que un organismo durante su vida va sufriendo cambios de estructura y operación, por lo cual, es importante que junto a la información obtenida por toda la documentación, se consulte a los operarios de la planta, desde obreros, hasta el superintendente o director de operaciones, a fin de cruzar información y validarla.

b) Propiedades Fisicoquímicas.

En la generación de un árbol de fallas, es necesario definir los eventos peligrosos, a los que podemos agrupar en dos clases:

1. Peligros relacionados con las sustancias dentro y en los alrededores del proceso y

2. Los peligros asociados al equipo de proceso.

Los peligros relacionados con las sustancias dependen de las propiedades intrínsecas de los materiales que se encuentran en el proceso y sus alrededores. Estas propiedades incluyen flammabilidad, corrosión, reactividad, y toxicidad entre otras.

Las fallas relacionadas al equipo de proceso, dependen de sus características funcionales y estructurales. Como ejemplo tenemos la fuga de sustancias tóxicas de una válvula accidentalmente abierta, la ruptura de un envase a presión al haber fallado el controlador de presión de una bomba de desplazamiento positivo.

En la generación de los árboles de fallas, se debe poseer la información del proceso en lo concerniente a temperaturas, presiones, materiales de construcción y edad como se indicó en la tabla 1.2. Para las sustancias químicas son necesarias las propiedades, a las que

podemos dividir en dos categorías: físicas y químicas.

La tabla 1.3 muestra un resumen de las propiedades que se deben considerar para el análisis.

Nombre de la sustancia:

I Físicas.

1. Punto de congelación:
2. Punto de ebullición:
3. Gravedad específica:
4. Presión de vapor:
5. Solubilidad en agua:
6. Fase:
7. Punto flash:
8. Densidad de vapor:

II Químicas.

1. Toxicidad:
2. Límite de inflamabilidad (alto y bajo):
3. Corrosión a los materiales estándar de construcción:
4. Peso molecular:
5. Temperatura de autoignición:
6. Reactividad con otras especies químicas:
7. Velocidad de reacción:
8. Calor de reacción:
9. Productos de reacción:
10. Requerimiento de catalizador:

11. Radioactividad:

Tabla 1.3:

Propiedades fisicoquímicas útiles para la construcción de árboles de fallas.

Desafortunadamente los peligros potenciales de las sustancias son mayores a los reportados en la bibliografía, dadas las condiciones bajo las cuales éstas se encuentran en los procesos químicos. Esto ha originado que en numerosos estudios las propiedades de las sustancias químicas se determinen a partir de sus características moleculares. El programa CHETAH desarrollado por el comité E27 del ASTM, es un ejemplo en el que se predice la descomposición espontánea y explosiva en un rango amplio de condiciones de diversas sustancias químicas, asignándosele un valor en la escala del 0 al 10 en función de su peligrosidad.

c) Modelos Unitarios.

Es recomendable que al estructurar un análisis de árboles de fallas, en el que el sistema sea grande y complejo se elaboren modelos unitarios (mini árboles de fallas), para el manejo y elaboración del árbol de fallas de todo el sistema. Es posible efectuar todo el análisis a cada modelo unitario y después enlazarlos de forma tal, que los resultados de la evaluación de cada modelo unitario se estructuren para formar el modelo global del sistema.

El estructurar un análisis por modelos unitarios, evita el perderse en un mar de información.

CAPITULO II

PROCESO SOHIO ACRILONITRILO
DE LA
UNIDAD PETROQUIMICA TULA.

2.1 Generalidades del Acrilonitrilo.

La obtención de acrilonitrilo ha adquirido una gran importancia, ya que de este monómero se obtiene una gran variedad de fibras sintéticas para la industria textil. Da origen al Orlon, y polimerizado con cloruro de vinilo, da el Dynel; es utilizado también en la industria del plástico, del hule sintético, resinas; como materia prima en insecticidas y en una gran variedad de síntesis orgánicas.

Para la obtención de acrilonitrilo se han probado una gran variedad de rutas químicas, la práctica actual se concentra exclusivamente en la amoxidación del propileno.

Diferentes procesos como el DuPont, Snam-Progetti, Sohio, OSW, Distillers Uguine y otros, han sido desarrollados, siendo el proceso Sohio el que hoy en día tiende a universalizarse por las ventajas técnicas que tiene sobre los demás procesos basados en la amoxidación del propileno¹².

La gran mayoría de las sustancias manejadas como materias primas y productos de reacción en el proceso Sohio de Acrilonitrilo, son muy tóxicas y algunas de ellas como es el caso del propileno, amoníaco, ácido clorhídrico y el propio acrilonitrilo, forman mezclas explosivas con el aire, es por ello que en este proceso la seguridad es de primordial importancia^{15, 17, 18, 19}.

El proceso Sohio está formado por tres secciones principales que son: la de reacción, de recuperación, y de purificación. El corazón de la planta es un reactor catalítico de lecho fluidizado localizado en la sección de reacción, en la que se lleva a cabo la formación de acrilonitrilo. Cualquier problema que ocasione el paro del reactor provocará a su vez el de la planta.

Ocasionalmente, reacciones de oxidación indeseables llamadas post-combustión, tienen lugar en el reactor, esta post-combustión además de afectar la producción de acrilonitrilo, produce un incremento rápido en la temperatura, la cual de no controlarse adecuadamente daría lugar a una serie de fallas en el reactor.

Procesos de esta naturaleza, resulten un peligro potencial, en donde una falla puede desembocar en la pérdida de vidas humanas y materiales, por tal motivo, un análisis de seguridad se hace necesario.

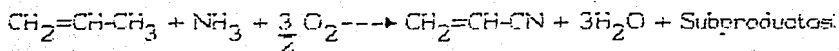
Las razones antes expuestas nos llevaron a la elección del proceso Sohio para su estudio y más concretamente a la selección de la REACCION DE POST-COMBUSTION CRITICA, como evento tope para su análisis mediante el método de árboles de fallas.

A continuación, describiremos brevemente el proceso Sohio utilizado en la Unidad Petroquímica Tula (PEMEX), localizada en el estado de Hidalgo².

2.2 Descripción del Proceso Sohio de la Unidad Petroquímica Tula.

Sección de Reacción

La reacción que se lleva a cabo en el proceso es la siguiente:



La producción de acrilonitrilo a partir de propileno, amoníaco y aire, se logra en un reactor de cama fluidizada. El propileno líquido y el amoníaco líquido entran a la unidad de acrilonitrilo; se vaporizan y sobrecalientan en la sección de recuperación, luego estas dos corrientes de vapores se mezclan, posteriormente esta mezcla entra al reactor a

través de una regadera.

La compresora de aire de proceso, proporciona aire de reacción a 2.5 kg/cm^2 manométrica. Este aire entra al fondo del reactor y fluye hacia arriba a través de un distribuidor diseñado especialmente. El propileno, amoníaco y aire que fluyen al reactor son controlados con controladores registradores de flujo.

El catalizador que se usa en el reactor, es un sólido finamente dividido que actuará en gran parte como un líquido (fluido), cuando los gases se pasan a través de él, por lo tanto, se llama catalizador fluidizado. Los gases que reaccionan, pasan ascendiendo a través de la cama del catalizador y no solamente hacen que la cama suba y se expanda, sino que también son causa de que fluya y se agite en el reactor el catalizador.

Los componentes de carga al reactor, siempre deberán introducirse en el siguiente orden: aire, amoníaco y propileno, los componentes de la carga deberán cortarse del reactor rigurosamente en el orden opuesto, es decir, primero propileno, luego amoníaco y finalmente aire.

El reactor de lecho fluidizado, normalmente se opera a una temperatura de $430 \text{ }^\circ\text{C}$ y a una presión en el domo del reactor de 1.063 kg/cm^2 manométrica.

El reactor está diseñado para dar una conversión de 72.2% mol, de propileno a acrilonitrilo.

Debido a que las reacciones que tienen lugar para formar acrilonitrilo y los otros productos son exotérmicas, es necesario el enfriamiento. El reactor contiene múltiples juegos de serpentines de tubos en "U" verticales de vapor, a través de los cuales se pase agua tratada. El calor de la reacción se transfiere al agua ós circulación en

los serpentines de vapor, produciendo vapor de 42.2 kg/cm² manométrica. Se pueden poner en servicio números variables de estos serpentines de vapor, o quitarse del servicio con objeto de controlar la temperatura del reactor. Existen algunos serpentines de tubos en "U" verticales de vapor, que se usan para sobrecalentar el vapor.

La corriente de gas que sale del reactor, pasa a través de ciclones, éstos retienen la mayor parte del catalizador arrastrado y lo regresan a la cama del catalizador, a través de piernas de inmersión. Durante la operación normal se producen en el reactor polvos finos de catalizador debido a la trituración. Los polvos demasiados finos no son retenidos por los ciclones y pasan afuera del reactor con el gas efluente.

El efluente del reactor, contiene amoníaco y propileno sin reaccionar, oxígeno, nitrógeno, acrilonitrilo, cianuro de hidrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, agua, acroleína y pequeñas cantidades de otras sustancias.

Los gases del efluente del reactor, pasan por el enfriador de efluente en donde se enfrían calentando el agua de repuesto. Del enfriador del efluente, los gases parcialmente enfriados fluyen a la torre de apagado en la sección de recuperación.

Sección de recuperación

Los gases del efluente del reactor, se enfrían adiabáticamente en la torre de apagado. El amoníaco que no reaccionó, se elimina de los gases del efluente en este punto, reaccionando con ácido sulfúrico agregado al agua de circulación de la torre de apagado. La corriente del fondo de la torre de recuperación y el agua de recirculación del decantador de la torre de despurte-secadora, se introducen a la torre de apagado para

suministrar el agua de repuesto al sistema de circulación. Una porción de esta corriente se evapora. La porción restante se manda al incinerador para desechos. Esta corriente contiene agua, cianuros, orgánicos pesados y cantidades mínimas de catalizador arrastradas del reactor.

Los gases del efluente de la torre de apagado, se enfrían todavía más en el post-enfriador de apagado y luego entran al absorbedor, en donde una corriente de agua desciende en contra corriente, absorbiendo los productos sensibles del reactor. La corriente de gas no absorbida que tiene: hidrocarburos y oxígeno que no reaccionaron, nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono, agua y una cantidad pequeña de acrilonitrilo, es enviada a la atmósfera por la chimenea de desfogue del absorbedor. El condensado del post-enfriador de apagado, se envía a la carga de la torre de recuperación para recuperar acrilonitrilo y otros orgánicos.

La corriente líquida del fondo del absorbedor (una solución acuosa diluida de acrilonitrilo, acetónitrilo y ácido cianhídrico con pequeñas cantidades de polímero, trazas de varios orgánicos e inertes), se manda a la torre de recuperación después de haberse calentado. En la torre de recuperación, una destilación extractiva que use agua como solvente, separa al acrilonitrilo del acetónitrilo, saliendo por el domo el acrilonitrilo como azeótropo con agua. El producto del domo se condensa y decanta. La capa orgánica contiene acrilonitrilo, ácido cianhídrico y agua y se bombea a la torre de desputte-secadora. La capa de agua se regresa como carga a la torre de recuperación.

El acetónitrilo se agota en la sección inferior de la torre de recuperación y se extrae como una corriente lateral de vapores a la

fraccionadora de acetonitrilo. En la fraccionadora, el acetonitrilo se seca por el domo como un azeótropo con agua y se condensa. Una porción de esta corriente se regresa al plato superior como refiujo; la porción restante, se manda para incineración a un sitio remoto. La corriente del fondo de la fraccionadora se regresa a la torre de recuperación.

Una corriente lateral de extracción líquida del plato 1 de la torre de recuperación, suministra el agua necesaria para el agua pura del absorbedor y el agua solvente de la torre de recuperación se envía a la torre de apagado para proporcionar el agua de repuesto.

Sección de recuperación

El producto orgánico del decantador de la torre de recuperación, se bombea a la torre de despunte-secadora.

La sección superior de esta torre se usa para eliminar el ácido cianhídrico del acilonitrilo y la sección inferior se usa para eliminar agua.

La carga entra a la sección superior de la torre. El ácido cianhídrico sale de la torre como producto del domo, luego se condensa parcialmente; el condensado se regresa a la parte superior de la columna de refiujo, el vapor restante se manda a la incineración en un punto distante.

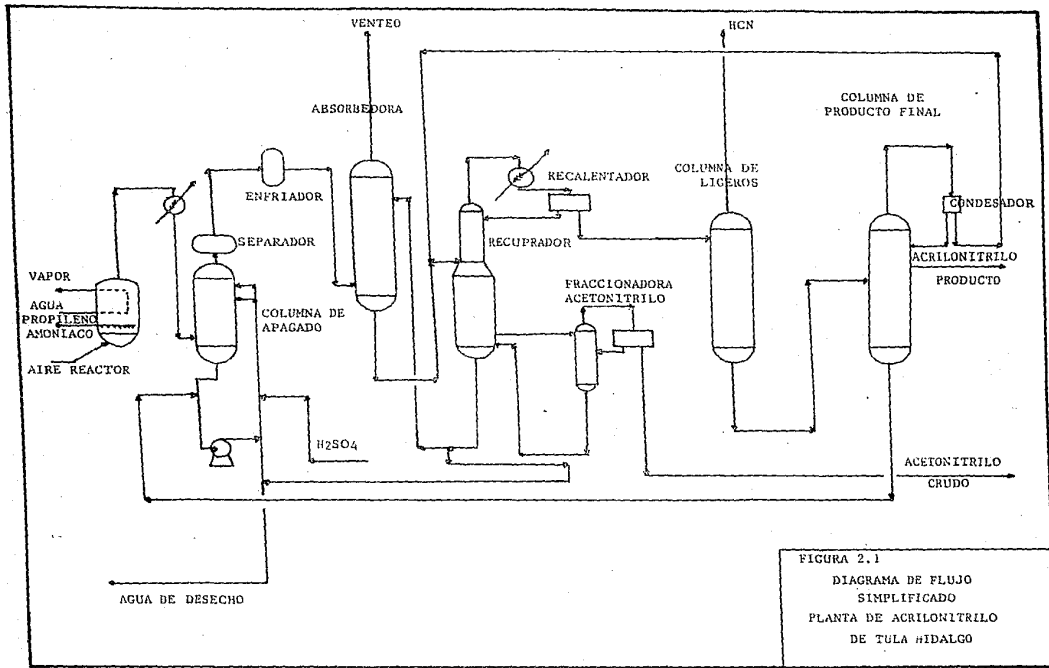
Una extracción líquida total, se toma del plato 26 de la torre de despunte-secadora. Esta corriente pasa por un enfriador y luego a un decantador donde tiene lugar una separación de fase. La fase acuosa del decantador normalmente se bombea a la torre de apagado, o, alternativamente a la torre de recuperación para la recuperación de los

orgánicos, la fase orgánica se regresa a los platos 25 y 28 de la torre de despunte-secadora. La corriente del fondo de esta torre se envía a la torre del producto final operada al vacío.

En la torre de producto, el acrilonitrilo se extrae como una corriente lateral, luego se enfría y se bombea a los tanques de almacenamiento. Una pequeña corriente del producto del domo de la torre que contiene acrilonitrilo y trazas de los orgánicos más ligeros, se recircula como carga a la torre de recuperación.

La corriente del fondo de la torre de producto que contiene acrilonitrilo y polímeros, se bombea a la torre de apagado. El acrilonitrilo forma un azeótropo con agua y se recupera dejando los polímeros en el agua de recirculación de apagado. El polímero se descarga al sistema de tratamiento de desecho en la corriente de purga de recirculación de agua del sistema de apagado.

A continuación, se muestra el diagrama del proceso Sónico acrilonitrilo de la Unidad Petroquímica Tula.



CAPITULO III

APLICACION DE LA METODOLOGIA DE ARBOLES DE FALLAS.

3.1 Definición e Importancia del Evento Tope.

En este capítulo presentamos la aplicación de la metodología de árboles de fallas a una parte de la sección de reacción del proceso Sohio-Acrilonitrilo.

El evento tope seleccionado para el análisis fue: "REACCION DE POST-COMBUSTION CRITICA EN EL REACTOR QUIMICO DE LA UNIDAD PETROQUIMICA TULA (U.P.T.)".

La post-combustión, es una reacción de oxidación que tiene lugar en el reactor. Esta se detecta con una elevación de la temperatura repentina de 30 a 60°C por minuto, en el punto donde acontece. Las alarmas de temperatura darán una indicación de posible post-combustión. Existen líneas de inyección de vapor de baja presión y de nitrógeno para ahogar la combustión; el ahogamiento es sólo para uso de emergencia.

La post-combustión puede ocurrir siempre que el catalizador se ha reducido a un punto en el que no reacciona una cantidad excesiva de propileno. Si la relación de amoniaco a propileno se vuelve muy baja, se produce exceso de acroleína que tiende a quemarse arriba de la cama del catalizador. Un contenido muy alto de oxígeno en el efluente produce la combustión de los orgánicos; el reactor no se deberá operar con más del 5% de oxígeno en el efluente. Cero de contenido de oxígeno cause la reducción del catalizador lo que deberá evitarse.

Cualquier cambio en una de las condiciones de operación en el reactor, cambia la mayoría de las condiciones restantes. Por lo tanto, el efecto total de cualquier cambio es difícil de predecir. Por ejemplo, un incremento de presión en el reactor reduce el volumen específico de los gases, y, por lo tanto, reduce la velocidad de los gases a través de la cama de catalizador y el grado de fluidización de la cama. Con la

presión incrementada, la producción de bióxido de carbono aumenta con la correspondiente elevación de temperatura del reactor y la caída del contenido de oxígeno de la corriente del efluente.

La post-combustión a la que denominamos crítica y será objeto del análisis, se refiere a aquella post-combustión que al no ser controlada pudiera provocar una falla estructural en el reactor.

Cualquier falla en el sistema que produjera la fuga de reactivos o productos, además de producir una gran contaminación en el medio ambiente, produciría la intoxicación de seres humanos y en el peor de los casos su muerte.

3.2 Diagrama del Sistema.

En la figura 3.1 se muestra el diagrama del sistema seleccionado para hacer el análisis de la post-combustión crítica.

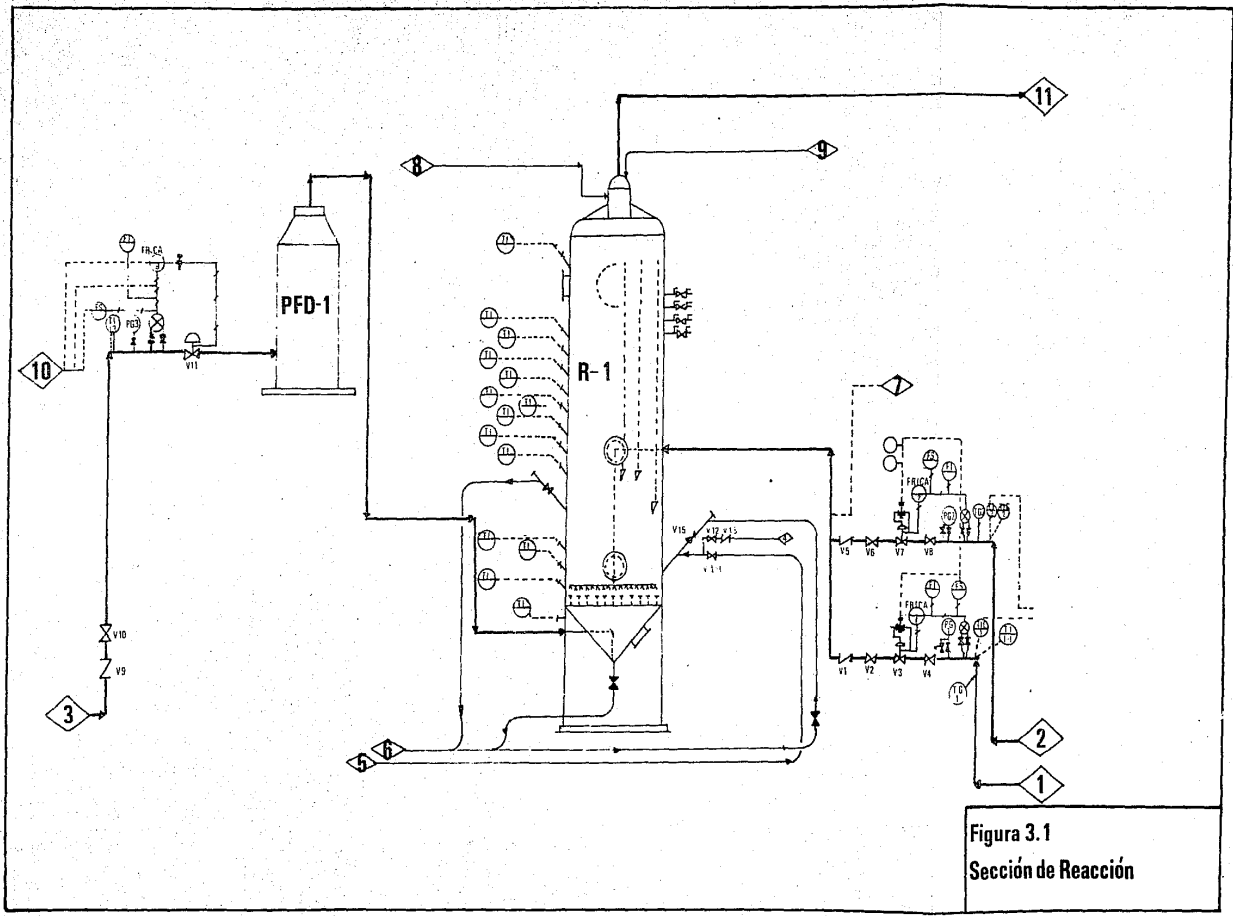






Figura 3.1
Sección de Reacción

- 1 Origen de amoníaco.
- 2 Origen de propileno.
- 3 Origen de aire de reacción.
- 4 Corriente de aire seco para transporte de catalizador.
- 5 Corriente 1 de catalizador de repuesto.
- 6 Corriente 2 de catalizador de repuesto.
- 7 Corriente 1 de nitrógeno para apagado de reacción.
- 8 Corriente 2 de nitrógeno para apagado de reacción.
- 9 Corriente de vapor para apagado de reacción.
- 10 Instrumentos de control de temperatura del precalentador de fuego directo.
- 11 Enfriador de efluente




Nomenclatura de Instrumentos

- FI Indicador de flujo.
- FS Interruptor de flujo.
- FRICA Indicador, registrador y controlador automático de flujo.
- PG Medidor de presión.
- TG Medidor de temperatura.
- TI Indicador de temperatura.
- TIC Indicador controlador de temperatura.

Símbolos de Instrumentos

-  Instrumento local.
-  Instrumento montado en tablero.
-  Señal neumática.
-  Válvula de control de diafragma con posicionador.

Símbolos de tubería

-  Válvula de compuerta. ( Cerrada)
-  Válvula check.

Nomenclatura del equipo

- PFD-1 Precalentador de fuego directo.
- R1 Reactor de lecho fluidizado.
- V Válvula.

3.3 Hojas de Datos.

Como ejemplo, mostramos a continuación una hoja de datos empleada en la recopilación de información sobre el proceso estudiado, y de las sustancias manejadas.

Algunos puntos de las hojas de datos no se llenaron, ya sea por no ser relevantes para el análisis o por ser secreta de la tecnología.

1. Equipo.

a) Nombre: Reactor catalítico (R-1) de cama fluidizada.

b) Función: Producir acrílonitrilo.

c) Condiciones de operación normal.

1. Temperatura: 430°C.

2. Presión: 1.063 kg/cm² manométrica.

3. Fase: gaseosa, con sólidos en suspensión (catalizador).

4. Nivel: 1 (terrestre).

d) Características.

1. Máximo rango de temperatura: 427-455°C.

2. Máximo rango de presión:

3. Materiales de construcción: acero al carbón (coraza).

4. Volumen: diámetro=6.82m.; altura=17.65m..

5. Edad: 8 años.

6. Localización:

7. Fabricante y número de serie: Standard Oil Company Inc.

e) Corrientes de salida: 1. efluente del reactor (acrílonitrilo, propileno, amoníaco, acroleína, catalizador, oxígeno, nitrógeno, ácido cianhídrico, acetónitrilo, monóxido y dióxido de carbono, agua y otros)

- f) Corrientes de entrada: 1. mezcla propileno-amoniaco,
2. aire y
3. catalizador No. 41.

g) Especies químicas.

1. Nombres y concentraciones (% mol) del efluente del reactor: acrilonitrilo 5.6, acetronitrilo 0.3, ácido cianhídrico 1.7, dióxido de carbono 2.0, monóxido de carbono 1.6, acroleína 0.1, agua 26.5, nitrógeno 60.5, oxígeno 1.0, propileno 0.1, amoniaco 0.2, propano 0.4.

h) Medidores: de temperatura y presión.

2. Corrientes: (2) Aire

a) Equipo de procedencia: Precaentador de fuego directo (PFD-1).

b) Equipo a que se destina: Reactor (R-1).

c) Condiciones normales de operación:

1. Dirección: del precaentador al reactor.

2. Fase: gas.

3. Temperatura: 180°C.

4. Presión: 1.3 kg/cm² manométrico.

5. Flujo: 39,000 m³/hr. (condiciones normales).

d) Características..

3. Controladores.

a) Nombre: Indicador-controlador de flujo (FRICA-3).

b) Función: controlador de temperatura.

c) Medidor de entrada: FRICA-3.

d) Equipo controlado: válvula de control de diafragma (V11).

e) Forma: aumenta o disminuye el flujo de aire.

f) Características.

g) Tipo: eléctrico.

4. Medidores:

a) Nombre: Indicador de temperatura (TI I-3).

b) Función: medir la temperatura del aire antes del PFD-1.

c) Origen de la señal de entrada: corriente de aire del compresor.

d) Destino de la señal de salida: PFD-1

e) Características.

f) Tipo: eléctrico.

Tabla 3.1:

Ejemplo de hoja de datos de equipo.

Nombre: Acrilonitrilo.

I. Físicas.

1. Punto de congelación: -83°C .

2. Punto de ebullición: 77°C .

3. Gravedad específicas: 0.806 (25°C).

4. Presión de vapor:

5. Solubilidad en el agua: 7.4% en peso (20°C).

6. Fase: gas.

7. Punto flash: 0°C

8. Densidad del vapor: 0.00092 g/ml. (430°C y 1.063 kg/cm^2).

II. Químicas.

1. Toxicidad: muy tóxico ya sea por inhalación de sus vapores, ingestión o absorción del líquido o del vapor por la piel. Su concentración máxima permitida es de 20 p.p.m...

2. Límites de explosividad: del 3 al 17% en volumen con aire.
3. Corrosión a los materiales estándar de construcción: Es poco corrosivo para los metales.
4. Peso Molecular: 53.064.
5. Temperatura de autoignición: 481°C.
6. Reactividad con otras especies químicas: es muy reactivo y se polimeriza fácilmente.
7. Velocidad de reacción: considerando la reacción de orden uno $r_a = k \cdot C_a$, en donde $k = 0.8 \text{ s}^{-1}$.
8. Calor de reacción: 36.2 kcal/mol (líquido a 25°C) y 2371.8 kcal/mol (vapor).
9. Productos de reacción: polímero de acrilonitrilo.
10. Requerimientos de catalizador: para su formación se utiliza en el proceso el catalizador No. 41.
11. Radioactividad: nula.

Tabla 3.2:

Ejemplo de hojas de datos de propiedades fisicoquímicas.

3.4 Construcción del Árbol de Fallos.

Una vez limitadas las fronteras internas y externas del sistema para su estudio (figura 3.1) y aplicando la metodología descrita en el capítulo uno, obtenemos el árbol de fallos para el evento tope "Reacción de post-combustión crítica en el reactor químico de la Unidad Petroquímica Tula" (figura 3.2). En la figura 3.3 se muestra el árbol que se obtiene al eliminar redundancias mediante el álgebra de Boole.

Descripción de Eventos Básicos.

- E001 Falla válvula check V1. Falla y no permite el flujo adecuado de amoníaco.
- E002 Falla de origen de amoníaco. Se incluyen fallas en las esferas de almacenamiento, vaporizador de amoníaco, líneas, y cualquier falla que impida el flujo de amoníaco hasta el punto de origen de amoníaco, mostrado en el diagrama 3.1.
- E003 Falla válvula de compuerta V2. Falla y no permite flujo adecuado de amoníaco.
- E004 Falla humana en V2. Cierre de válvula total o parcial incorrecto, no permitiendo el flujo adecuado de amoníaco.
- E005 Falla válvula de control de diafragma con posicionador V3. Falla y se cierra parcial o totalmente no permitiendo el flujo adecuado de amoníaco.
- E006 Falla equipo neumático. Daño en el equipo, fugas, problema en el origen de aire y cualquier falla que impida el buen funcionamiento del equipo.
- E007 Falla humana en el equipo neumático. Falla humana que provoque el funcionamiento inadecuado del equipo.
- E008 Falla humana en V3. Cierre de válvula parcial o total incorrecto, no permitiendo el flujo adecuado de amoníaco.
- E009 Falla válvula de compuerta V4. Falla y no permite el flujo adecuado de amoníaco.
- E010 Falla humana en V4. Cierre de válvula parcial o total incorrecto, no permitiendo el flujo adecuado de amoníaco.
- E011 Falla FRICA-1. Falla el control de flujo de amoníaco.
- E012 Falla humana en FRICA-1. Error de control desde tablero.
- E013 Falla TIC-1. Falla el control de temperatura.

E014 Falla humana en TIC-1. Error de control de temperatura desde el tablero.

E015 Falla FRICA-1. Falla la señal de flujo.

E016 Falla humana en FRICA-1. Error de lectura de tablero.

E017 Falla alarma de flujo de amoníaco, cuando éste no es adecuado.

E018 Falla Turbogenerador-1. Cualquier falla que le impida generar energía eléctrica.

E019 Falla Turbogenerador-2. Cualquier falla que le impida generar energía eléctrica.

E020 Falla batería. Cualquier falla que le impida proporcionar energía eléctrica a los instrumentos indicadores y controladores, una vez que fallen los turbogeneradores 1 y 2.

E021 Falla TIC-1. Falla señal de temperatura.

E022 Falla humana en TIC-1. Error de lectura desde tablero.

E023 Falla TI I-1. Falla señal de temperatura en el tablero.

E024 Falla humana en TI I-1. Error de lectura desde tablero.

E025 Falla TG-1. Falla señal de campo de temperatura.

E026 Falla humana en TG-1. Error de lectura.

E027 Falla PG-1. Falla señal de campo de presión.

E028 Falla humana en PG-1. Error de lectura.

E029 Falla FI-1. Falla señal de campo de flujo.

E030 Falla humana en FI-1. Error de lectura.

E031 Falla válvula check VS. Falla y no permite el flujo adecuado de propileno.

E032 Falla de origen de propileno. Se incluyen fallas en las esferas de almacenamiento, vaporizador de propileno, líneas y cualquier falla que impida el flujo de propileno hasta el punto de origen de propileno,

mostrado en la figura 3.1.

E033 Falla válvula de compuerta V6. Falla y no permite flujo adecuado de propileno.

E034 Falla humana en V6. Cierre de válvula total o parcial incorrecto, no permitiendo el flujo adecuado de propileno.

E035 Falla válvula de control de diafragma con posicionador de diafragma V7. Falla y se cierra total o parcialmente no permitiendo flujo adecuado de propileno.

E036 Falla equipo neumático. Daño en el equipo, fugas, problemas en el origen de aire y cualquier falla que impide el buen funcionamiento del equipo.

E037 Falla humana en el equipo neumático. Error humano que impide trabajo adecuadamente el equipo.

E038 Falla humana en V7. Cierre de válvula total o parcial incorrecto, no permitiendo el flujo adecuado de propileno.

E039 Falla válvula de compuerta V8. Falla y no permite el flujo adecuado de propileno.

E040 Falla humana en V4. Cierre de válvulas total o parcial incorrecto, no permitiendo el flujo adecuado de propileno.

E041 Falla FRICA-2. Falla el control de flujo del propileno.

E042 Falla humana en FRICA-2. Error de lectura desde tablero.

E043 Falla TIC-2. Falla la señal de flujo.

E044 Falla humana en TIC-2. Error de control de temperatura.

E045 Falla FRICA-2. Falla la señal de flujo.

E046 Falla humana en FRICA-2. Error de lectura desde tablero.

E047 Falla alarma de flujo de propileno, cuando este no es adecuado.

E048 Falla TIC-2. Falla señal de temperatura.

- E049 Falla humana en TIC-2. Error de lectura desde tablero.
- E050 Falla TI I-2. Falla señal de temperatura.
- E051 Falla humana en TI I-2. Error de lectura de tablero.
- E052 Falla TG-2. Falla señal de campo de temperatura.
- E053 Falla humana en TG-2. Error de lectura.
- E054 Falla PG-2. Falla señal de campo de presión.
- E055 Falla humana en PG-2. Error de lectura.
- E056 Falla FI-2. Falla señal de campo de flujo.
- E057 Falla humana en FI-2. Error de lectura.
- E058 Falla de origen de aire. Se incluyen fallas en el compresor de aire, filtro, línea y cualquier falla que impida el flujo de aire hasta el punto de origen de aire, mostrado en la figura 3.1.
- E059 Falla válvula check V9. Falla y no permite el flujo adecuado de aire.
- E060 Falla válvula de compuerta V10. Falla y no permite el flujo adecuado de aire.
- E061 Falla humana en V10. Cierre de válvula parcial o total incorrecto, no permitiendo el flujo adecuado de aire.
- E062 Falla precalentador de fuego directo (PDF-1). Cualquier falla estructural en el equipo que le impida precalentar el aire a condiciones adecuadas.
- E063 Falla alarma de alta temperatura, cuando ésta no es adecuada.
- E064 Fallan las señales de campo del PDF-1.
- E065 Falla humana en la lectura de señales de campo del PDF-1.
- E066 Falla control automático de presión del PDF-1.
- E067 Fallan controles manuales de campo del PDF-1.
- E068 Falla humana en los controles manuales de campo del PDF-1.

- E069 Falla válvula de control de diafragma con posicionador V11. Falla y se cierra total o parcialmente, no permitiendo flujo adecuado de aire.
- E070 Falla humana en V11. Cierre de válvula parcial o total incorrecto, no permitiendo flujo adecuado de aire.
- E071 Falla equipo neumático. Daño en el equipo, fugas, problema en el origen de aire y cualquier falla que impida el buen funcionamiento del equipo.
- E072 Falla humana en el equipo neumático. Falla humana que provoca una falla que impida trabajar adecuadamente el equipo.
- E073 Falla FRICA-3. Falla control de flujo.
- E074 Falla humana en FRICA-3. Error de control desde tablero.
- E075 Falla TICA-3. Falla el control de temperatura.
- E076 Falla humana en TICA-3. Error de control desde tablero.
- E077 Falla PG-3. Falla señal de campo de presión.
- E078 Falla humana en PG-3. Error de lectura.
- E079 Falla FR-3. Falla señal de tablero de flujo.
- E080 Falla humana en FR-3. Error de lectura.
- E081 Falla alarma de flujo de aire, cuando este no es adecuado.
- E082 Falla FRICA-3. Falla señal de flujo.
- E083 Falla humana en FRICA-3. Error de lectura desde tablero.
- E084 Falla TI I-3. Falla señal de temperatura en el tablero.
- E085 Falla humana en TI I-3. Error de lectura desde tablero.
- E086 Reducción de catalizador. Esta reducción se refiere a una reducción química del catalizador.
- E087 Fallan los ciclos de recuperación del catalizador. Cualquier falla que provoque una pérdida excesiva de catalizador.
- E088 Falla válvula de compuerta V12. Falla y no permite flujo de aire

seco.

E089 Falla humana en V12. Cierre de válvula parcial o total incorrecto, no permitiendo el flujo adecuado de aire seco.

E090 Falla válvula check V13. Falla y no permite flujo adecuado de aire seco.

E091 Falla origen de aire seco. Cualquier falla que impide el suministro de aire seco para transporte de catalizador.

E092 Falla válvula de compuerta V14. Falla y no permite flujo adecuado de catalizador.

E093 Falla humana en V14. Cierre de válvula parcial o total incorrecto, no permitiendo flujo adecuado de catalizador.

E094 Falla de origen de catalizador 1. Cualquier falla que impida suministrar catalizador al origen de catalizador 1, mostrado en la figura 3.1.

E095 Falla válvula de compuerta V15. Falla y no permite flujo adecuado de catalizador.

E096 Falla humana en V15. No abre adecuadamente la válvula V15.

E097 Falla de origen de catalizador 2. Cualquier falla que impida suministrar catalizador al origen de catalizador 2, mostrado en la figura 3.1.

E098 Falla válvula de compuerta V16. Falla y no permite flujo adecuado de catalizador.

E099 Falla humana en V16. No abre adecuadamente la válvula.

E100 Falla señal de termopar 1.

E101 Falla humana en termopar 1. Error de lectura.

E102 Falla alarma de alta temperatura.

E103 Falla alarma de alta temperatura del efluente.

- E104 Falla señal de termopar 2.
- E105 Falla humana en termopar 2. Error de lectura.
- E106 Falla sistema de serpentines de enfriamiento del reactor.
- E107 Falla el control de presión del reactor.
- E108 Falla primaria del reactor. Cualquier falla que impida el buen funcionamiento del reactor.
- E109 Falla el suministro de nitrógeno 1, para apagado de reacción.
- E110 Falla el suministro de nitrógeno 2, para apagado de reacción.
- E111 Falla el suministro de vapor de agua, para apagado de reacción.

Descripción de Eventos Intermedios:

- 001 Falla el sistema de apagado de reacción.
- 002 Falla el suministro de nitrógeno.
- 003 Problema en la sección de reacción.
- 004 Problema en el catalizador.
- 005 Pérdida excesiva de catalizador.
- 006 Problema en el catalizador de repuesto.
- 007 Problema en la alimentación de aire seco para transporte de catalizador.
- 008 Falla válvula de compuerta V2.
- 009 Problema en el flujo de catalizador.
- 010 Falla flujo 1 de catalizador.
- 011 Falla válvula de compuerta V14.
- 012 Falla flujo 2 de catalizador.
- 013 Falla válvula de compuerta V15.
- 014 Falla válvula de compuerta V16.

- 015 Falta fluidización del catalizador.
- 016 Temperatura inadecuada en el reactor.
- 017 Falta señal de temperatura.
- 018 Falta señal de termopar 1.
- 019 Falta suministro de energía eléctrica.
- 020 Falta suministro de energía eléctrica.
- 021 Problema en la relación de flujos de alimentación.
- 022 Problema en el flujo de aire de reacción.
- 023 Falta válvula de compuerta V10.
- 024 Falta el precalentador de aire.
- 025 Falta el control de presión y temperatura.
- 026 Fallan controles manuales.
- 027 Fallan controles automáticos.
- 028 Falta suministro de energía eléctrica.
- 029 Fallan señales.
- 030 Fallan señales de campo.
- 031 Falta alarma de alta temperatura.
- 032 Falta suministro de energía eléctrica.
- 033 Falta válvula de control V11.
- 034 Problema en el equipo neumático.
- 035 Fallan controles.
- 036 Falta control de flujo.
- 037 Falta suministro de energía eléctrica.
- 038 Falta control de temperatura.
- 039 Falta suministro de energía eléctrica.
- 040 Fallan señales.
- 041 Fallan señales de campo de presión.

- 042 Fallan señales de tablero.
- 043 Fallan señales de flujo.
- 044 Falla señal de flujo.
- 045 Falla señal de flujo.
- 046 Falla suministro de energía eléctrica.
- 047 Falla señal de temperatura.
- 048 Falla suministro de energía eléctrica.
- 049 Problema en flujo de propileno.
- 050 Falla válvula de compuerta V6.
- 051 Falla válvula de compuerta V8.
- 052 Falla válvula de control V7.
- 053 Problema en el equipo neumático.
- 054 Fallan controles de tablero.
- 055 Falla control de flujo.
- 056 Falla suministro de energía eléctrica.
- 057 Falla control de temperatura.
- 058 Falla suministro de energía eléctrica.
- 059 Fallan señales.
- 060 Fallan señales de campo.
- 061 Falla señal de temperatura.
- 062 Falla señal de presión.
- 063 Falla señal de flujo.
- 064 Fallan señales de tablero.
- 065 Falla suministro de energía eléctrica.
- 066 Fallan señales de flujo.
- 067 Falla señal de flujo.
- 068 Fallan alarmas de flujo.

- 069 Falla suministro de energía eléctrica.
- 070 Fallan señales de temperatura.
- 071 Falla señal de temperatura.
- 072 Falla suministro de energía eléctrica.
- 073 Falla señal de temperatura.
- 074 Falla suministro de energía eléctrica.
- 075 Problema en el flujo de amoníaco.
- 076 Falla válvula de compuerta V2.
- 077 Falla válvula de compuerta V4.
- 078 Falla válvula de control V3.
- 079 Problema en el equipo neumático.
- 080 Falla control de tablero.
- 081 Falla control de flujo.
- 082 Falla suministro de energía eléctrica.
- 083 Falla control de temperatura.
- 084 Falla suministro de energía eléctrica.
- 085 Fallan señales.
- 086 Fallan señales de campo.
- 087 Falla señal de temperatura.
- 088 Falla señal de presión.
- 089 Falla señal de temperatura.
- 090 Fallan señales de tablero.
- 091 Falla suministro de energía eléctrica.
- 092 Fallan señales de flujo.
- 093 Falla señal de flujo.
- 094 Falla alarma de flujo.
- 095 Falla suministro de energía eléctrica.

- 096 Falla señales de temperatura.
- 097 Falla señal de temperatura.
- 098 Falla suministro de energía eléctrica.
- 099 Falla señal de temperatura.
- 100 Falla suministro de energía eléctrica.
- 101 Falla suministro de energía eléctrica.
- 102 Falla alarma de flujo.
- 103 Falla suministro de energía eléctrica.
- 104 Falla alarma de alta temperatura.
- 105 Falla alarma de alta temperatura.
- 106 Falla señal de termopar 2.
- 107 Falla suministro de energía eléctrica.
- 108 Falla suministro de energía eléctrica.
- 109 Falla suministro de energía eléctrica.

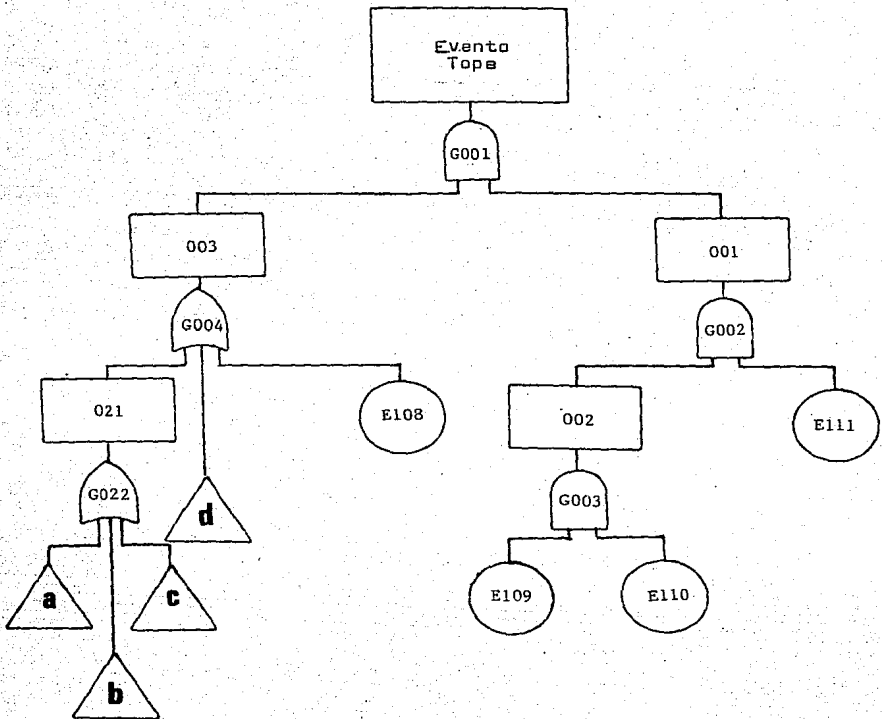
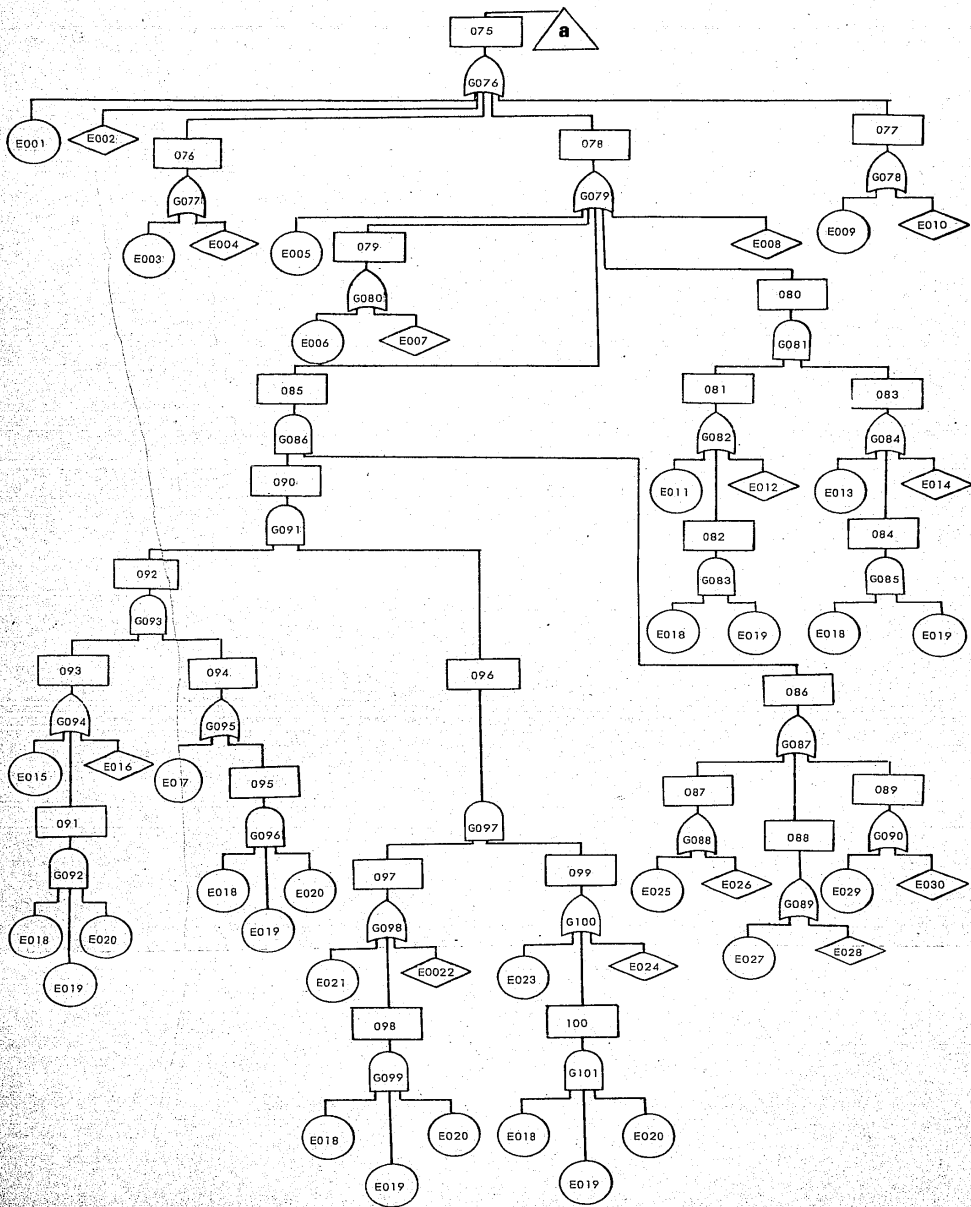
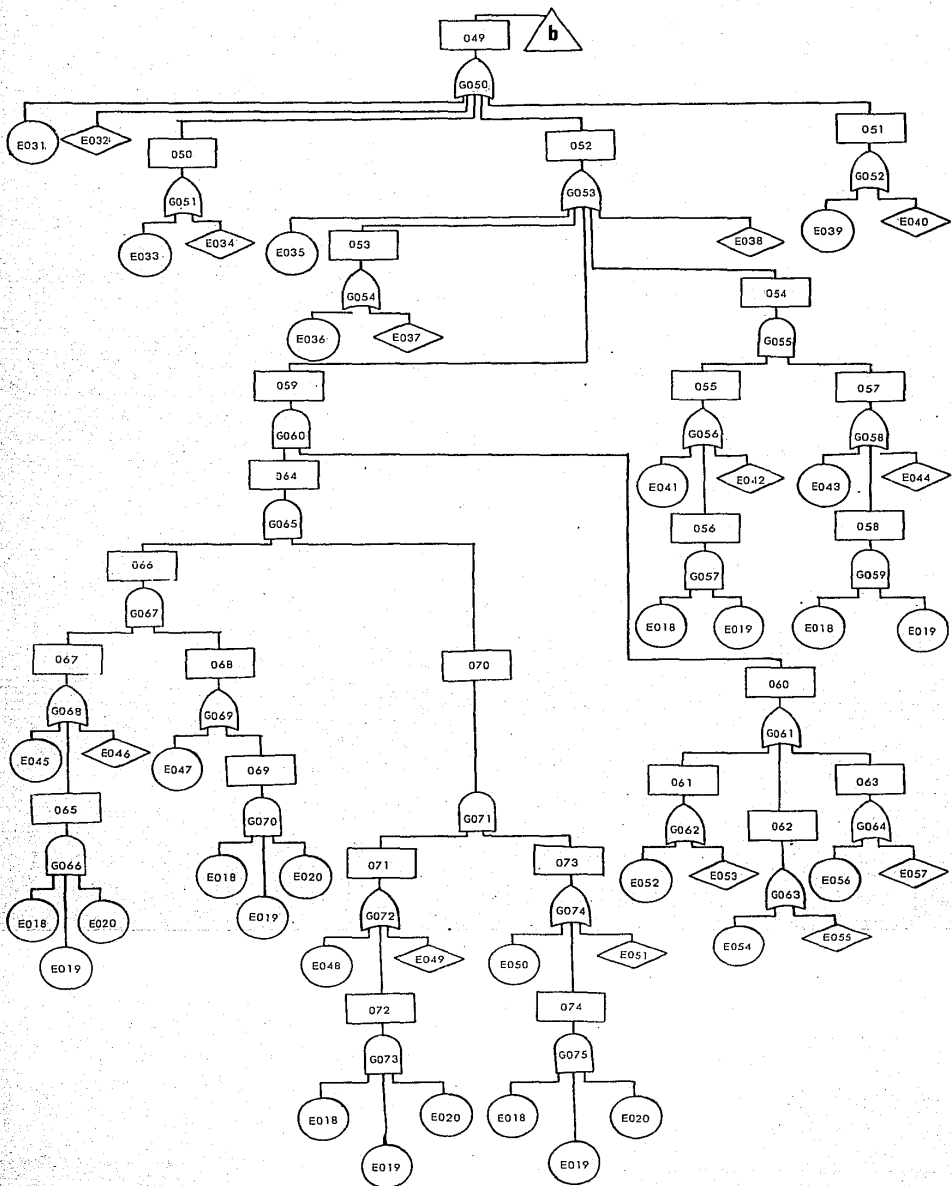
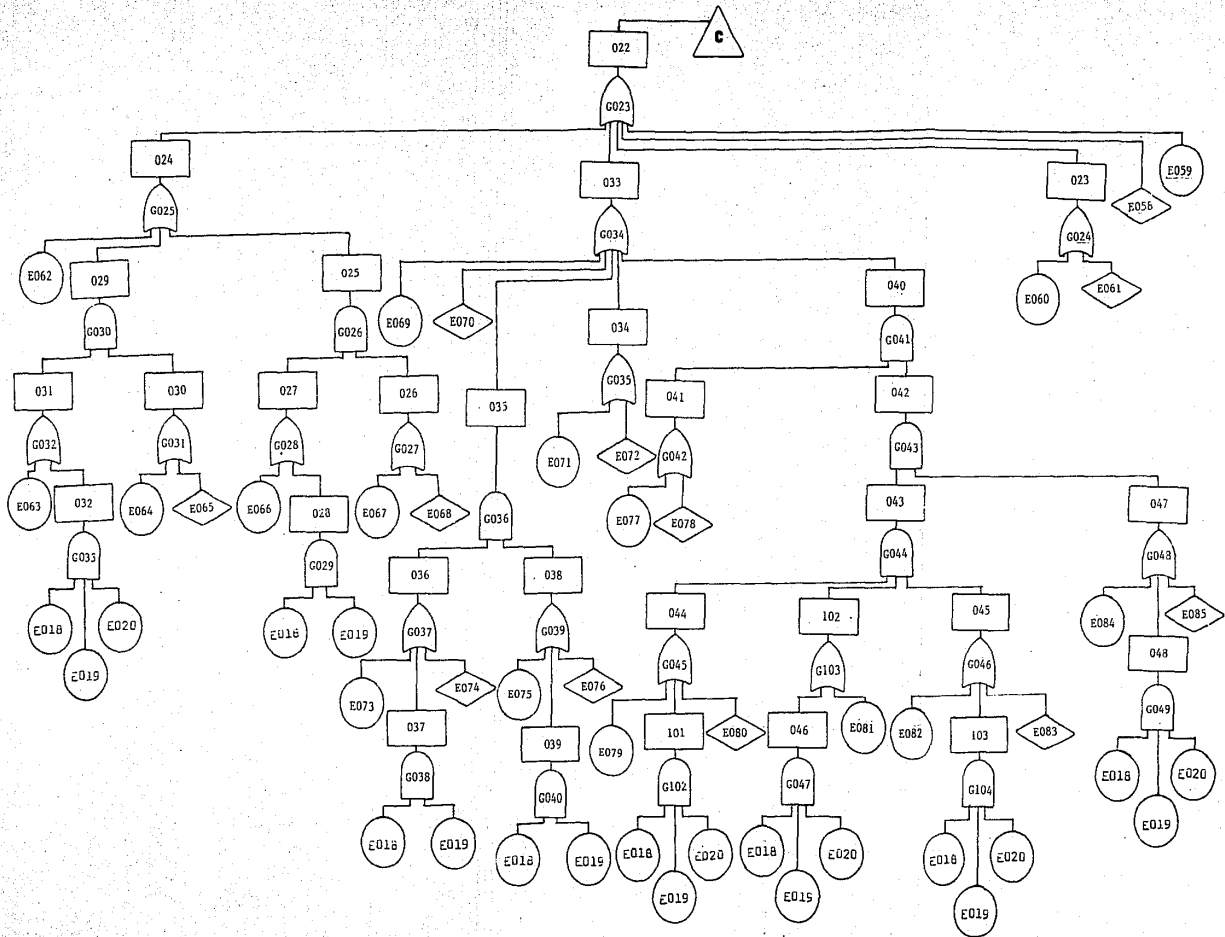
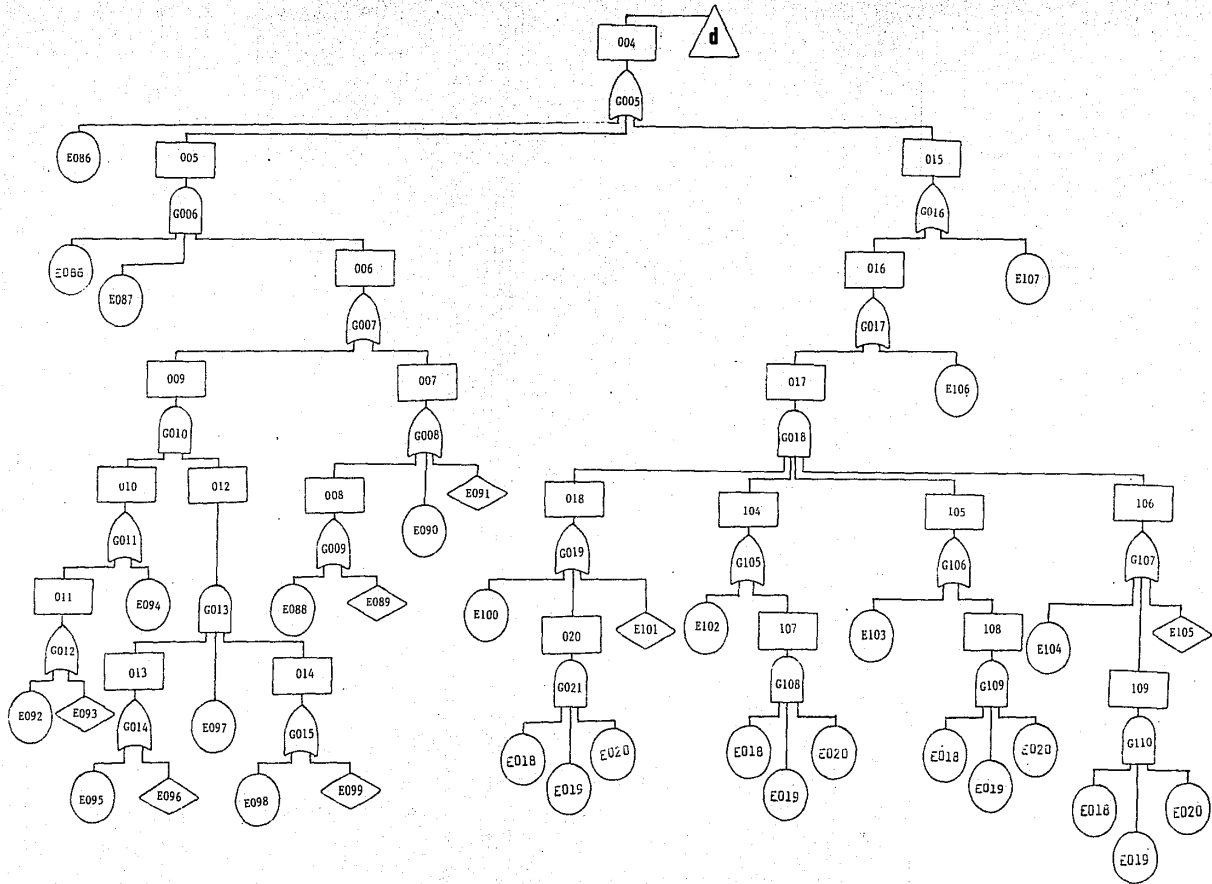


Figura 301
 Árbol de fallas.









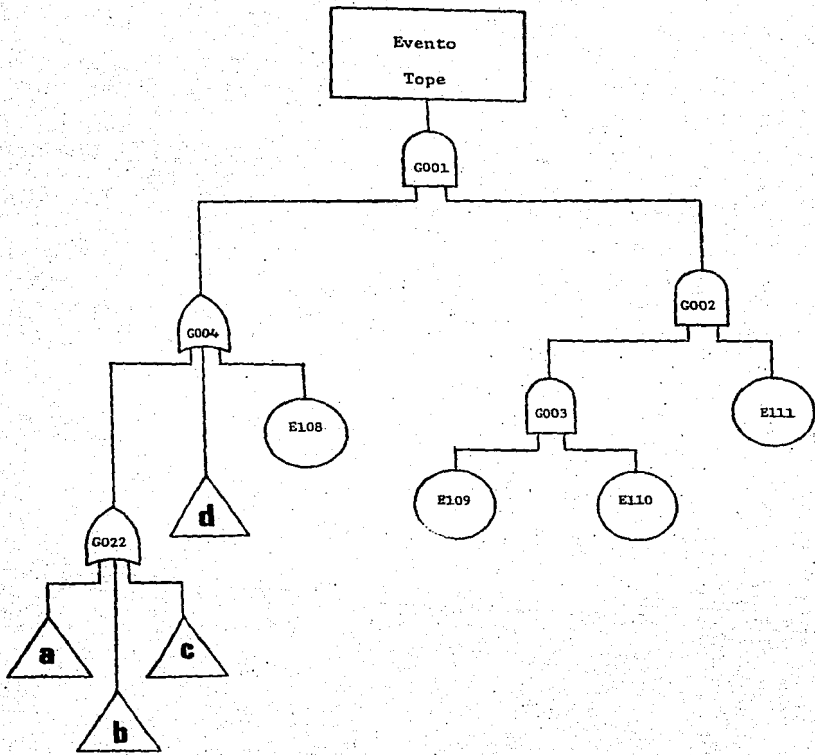
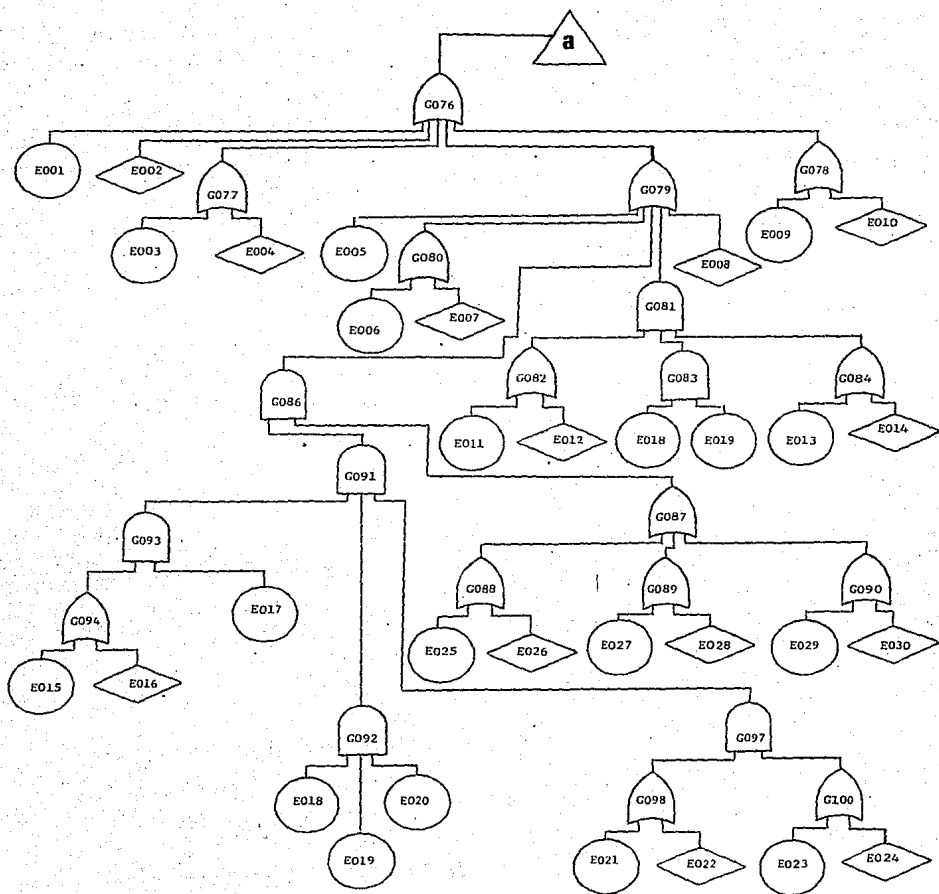
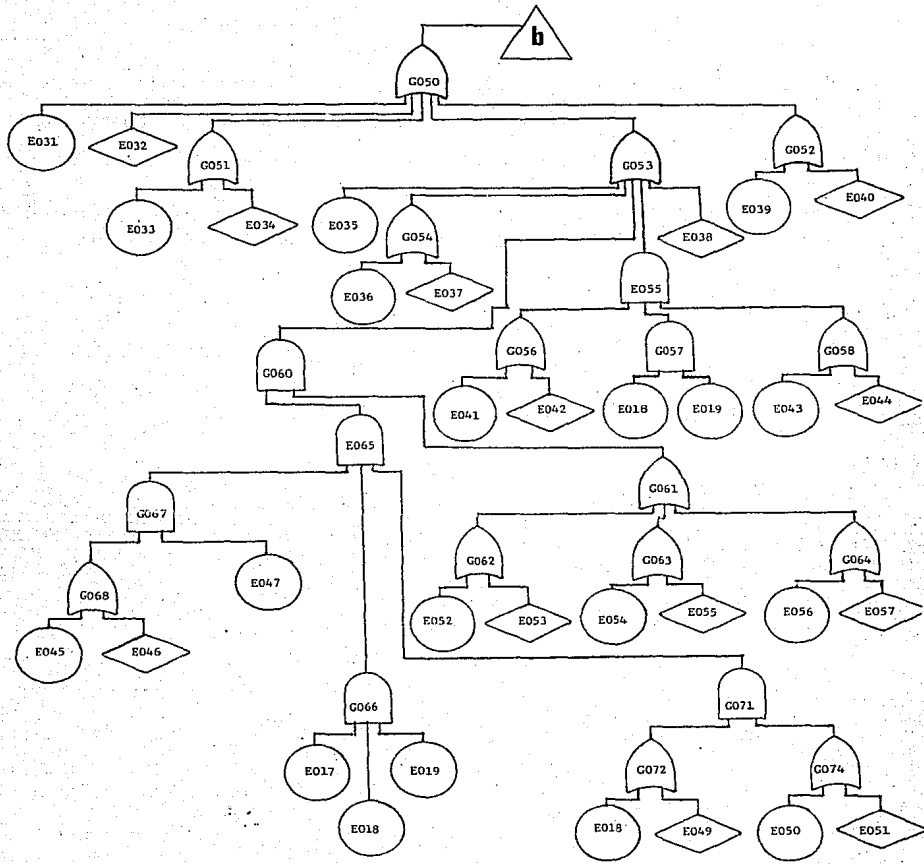
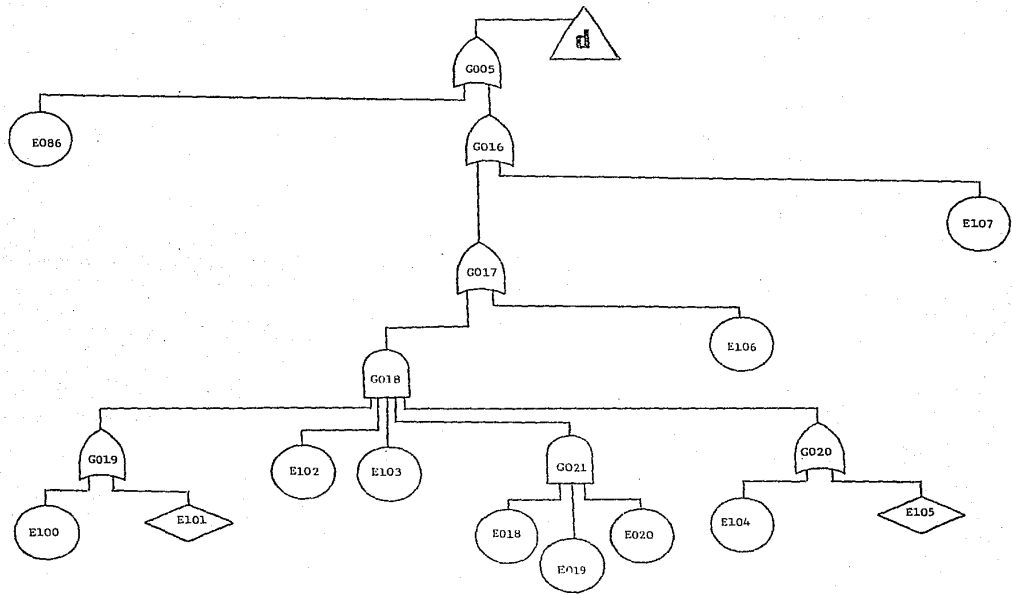


Figura 3.2
 Árbol de fallas reducido.







3.5 Análisis Cualitativo y Cuantitativo del Árbol de Fallas.

Se utilizó el programa de cómputo denominado BONSAI¹¹, para llevar a cabo la evaluación cualitativa y cuantitativa del árbol de fallas. Este programa, se encuentra implementado en una computadora personal I.B.M..

El programa BONSAI tiene las siguientes características:

- 1.- Los datos se introducen de manera interactiva, permitiéndose cambiar las características de uno o varios eventos básicos o compuertas que hayan sido introducidas erróneamente.
- 2.- Con el programa, se pueden crear archivos para almacenar tanto eventos básicos como compuertas. Estos archivos pueden ser editados por el programa.
- 3.- Este programa, permite determinar los conjuntos mínimos de corte de un árbol de fallas, y, calcular las importancias probabilísticas de Fussell-Vesely, así como la indisponibilidad de los conjuntos mínimos de corte y de los eventos básicos para un tiempo dado. También es posible realizar el análisis de sensibilidad para una o varias componentes.
- 4.- Los eventos básicos, las compuertas, así como los resultados del análisis, pueden imprimirse tanto en pantalla como en papel.

Para utilizar este programa, se tiene que tomar en cuenta los siguientes dos puntos:

- 1.- Si se utiliza el mismo evento básico en dos o más ramas del árbol, se debe tener cuidado de que dicho evento no pueda absorber a otros ni así mismo.
- 2.- Sólo reconoce compuertas "OR" y "AND".

Las razones de falla empleadas para el análisis fueron obtenidas de

3.5 Análisis Cualitativo y Cuantitativo del Árbol de Fallas.

Se utilizó el programa de cómputo denominado BONSAI¹¹, para llevar a cabo la evaluación cualitativa y cuantitativa del árbol de fallas. Este programa, se encuentra implementado en una computadora personal I.B.M..

El programa BONSAI tiene las siguientes características:

- 1.- Los datos se introducen de manera interactiva, permitiéndose cambiar las características de uno o varios eventos básicos o compuertas que hayan sido introducidas erróneamente.
- 2.- Con el programa, se pueden crear archivos para almacenar tanto eventos básicos como compuertas. Estos archivos pueden ser editados por el programa.
- 3.- Este programa, permite determinar los conjuntos mínimos de corte de un árbol de fallas, y, calcular las importancias probabilísticas de Fussell-Veseley, así como la indisponibilidad de los conjuntos mínimos de corte y de los eventos básicos para un tiempo dado. También es posible realizar el análisis de sensibilidad para una o varias componentes.
- 4.- Los eventos básicos, las compuertas, así como los resultados del análisis, pueden imprimirse tanto en pantalla como en papel.

Para utilizar este programa, se tiene que tomar en cuenta los siguientes dos puntos:

- 1.- Si se utiliza el mismo evento básico en dos o más ramas del árbol, se debe tener cuidado de que dicho evento no pueda esborbar a otros ni así mismo.

- 2.- Sólo reconoce compuertas "OR" y "AND".

Las razones de falla empleadas para el análisis fueron obtenidas de

las referencias 1, 6, 7 y 15.

En la impresión de los resultados del programa, sólo aparecen a lo más, cinco eventos de cada C.M.C. en el ordenamiento de éstos, por importancia de Fussell-Veseiy. A continuación mostramos los resultados que se obtienen del programa antes mencionado.

DESCRIPCION DE LOS EVENTOS BASICOS
 DEL ARBOL DE FALLAS CON EL REACTOR TOPE:
 REACCION DE POST-COMBUSTION CRITICA EN EL REACTOR QUIMICO DE LA U.P.T

#>	EVENTOS	RAZON DE FALLA	DESCRIPCION
1	E001	0.1000E-03/REM	FALLA VALVULA CHECK V1
2	E002	0.1600E-04/HOR	FALLA DE ORIGEN DE ANOMIAO
3	E003	0.6510E-04/HOR	FALLA VALVULA DE COMPUERTA V2
4	E004	0.1800E-02/REM	FALLA HUMANA EN V2
5	E005	0.4480E-04/HOR	FALLA VALVULA DE CONTROL DE DIAFRAGMA V3
6	E006	0.2500E-07/HOR	FALLA EQUIPO NEUMATICO
7	E007	0.1000E-02/REM	FALLA HUMANA EN EL EQUIPO NEUMATICO
8	E008	0.1800E-02/REM	FALLA HUMANA EN V3
9	E009	0.6510E-04/HOR	FALLA VALVULA DE COMPUERTA V4
10	E010	0.1600E-02/REM	FALLA HUMANA EN V4
11	E011	0.7880E-04/HOR	FALLA FRICA-1 (CONTROL)
12	E012	0.6450E-01/REM	FALLA HUMANA EN FRICA-1
13	E013	0.2900E-04/HOR	FALLA TIC-1 (CONTROL)
14	E014	0.6450E-01/REM	FALLA HUMANA EN TIC-1 DE CONTROL
15	E015	0.1500E-07/HOR	FALLA FRICA-1 (SERIAL)
16	E016	0.5000E-02/REM	FALLA HUMANA EN FRICA-1 DE LECTURA
17	E017	0.1390E-04/HOR	FALLA ALARMA DE FLUJO DE ANOMIAO
18	E018	0.3000E-03/HOR	FALLA TURBOGENERADOR-1
19	E019	0.3000E-03/HOR	FALLA TURBOGENERADOR-2
20	E020	0.1000E-05/HOR	FALLA BATERIA
21	E021	0.2900E-04/HOR	FALLA TIC-1 (SERIAL)
22	E022	0.5000E-02/REM	FALLA HUMANA EN TIC-1 DE LECTURA
23	E023	0.1540E-04/HOR	FALLA TI I-1 (SERIAL)
24	E024	0.5000E-02/REM	FALLA HUMANA EN TI I-1 DE LECTURA
25	E025	0.3100E-05/HOR	FALLA TC-1 (SERIAL DE CAMPO)
26	E026	0.5000E-02/REM	FALLA HUMANA EN TC-1 DE LECTURA
27	E027	0.4220E-05/HOR	FALLA PC-1 (SERIAL DE CAMPO)
28	E028	0.5000E-02/REM	FALLA HUMANA EN PC-1 DE LECTURA
29	E029	0.4090E-05/HOR	FALLA PI-1 (SERIAL DE CAMPO)
30	E030	0.5000E-02/REM	FALLA HUMANA EN PI-1 DE LECTURA
31	E031	0.1000E-03/REM	FALLA VALVULA CHECK V5
32	E032	0.3900E-04/HOR	FALLA DE ORIGEN DE PROBLEMS
33	E033	0.6510E-04/HOR	FALLA VALVULA DE COMPUERTA V6
34	E034	0.1800E-02/REM	FALLA HUMANA EN V6
35	E035	0.4480E-04/HOR	FALLA VALVULA DE CONTROL DE DIAFRAGMA V7
36	E036	0.2500E-07/HOR	FALLA EQUIPO NEUMATICO
37	E037	0.1800E-02/REM	FALLA HUMANA EN EL EQUIPO NEUMATICO
38	E038	0.1800E-02/REM	FALLA HUMANA EN V7
39	E039	0.6510E-04/HOR	FALLA VALVULA DE COMPUERTA V8
40	E040	0.1600E-02/REM	FALLA HUMANA EN V8
41	E041	0.3000E-04/HOR	FALLA FRICA-2 (CONTROL)
42	E042	0.6450E-01/REM	FALLA HUMANA EN FRICA-2 DE CONTROL
43	E043	0.2900E-04/HOR	FALLA TIC-2 (CONTROL)
44	E044	0.6450E-01/REM	FALLA HUMANA EN TIC-2 DE CONTROL
45	E045	0.1500E-07/HOR	FALLA FRICA-2 (SERIAL)
46	E046	0.5000E-02/REM	FALLA HUMANA FRICA-2 DE LECTURA
47	E047	0.1390E-04/HOR	FALLA ALARMA DE FLUJO DE PROBLEMS
48	E048	0.2500E-04/HOR	FALLA TIC-2 (SERIAL)
49	E049	0.5000E-02/REM	FALLA HUMANA EN TIC-2 DE LECTURA
50	E050	0.1540E-04/HOR	FALLA TI I-2 (SERIAL)
51	E051	0.5000E-02/REM	FALLA HUMANA EN TI I-2 DE LECTURA
52	E052	0.3100E-05/HOR	FALLA TC-2 (SERIAL DE CAMPO)

53	E053	0.5000E-02/BEH	FALLA HUMANA TC 2 DE LECTURA
54	E054	0.4220E-05/HOR	FALLA PG-2 (SEÑAL DE CAMPO)
55	E055	0.5000E-02/BEH	FALLA HUMANA PG-2 DE LECTURA
56	E056	0.4000E-05/HOR	FALLA FI-2 (SEÑAL DE CAMPO)
57	E057	0.5000E-02/BEH	FALLA HUMANA EN FI-2 DE LECTURA
58	E058	0.1700E-04/HOR	FALLA DE ORIGEN DE AIRE SECO
59	E059	0.1000E-03/BEH	FALLA VALVULA CHECK U6
60	E060	0.6510E-04/HOR	FALLA VALVULA DE COMPUERTA V10
61	E061	0.1000E-02/BEH	FALLA HUMANA EN U10
62	E062	0.5000E-05/HOR	FALLA PFD 1
63	E063	0.7570E-04/HOR	FALLA ALARMA DE ALTA TEMPERATURA
64	E064	0.3700E-05/HOR	FALLAN SEÑALES DE CAMPO
65	E065	0.5000E-02/BEH	FALLA HUMANA DE LECTURA DE CAMPO
66	E066	0.3000E-04/HOR	FALLA CONTROL AUTOMATICO DE TEMP. Y PRES.
67	E067	0.4200E-05/HOR	FALLAN CONTROLES MANUALES DE CAMPO
68	E068	0.4450E-01/BEH	FALLA HUMANA EN LOS CONTROLES
69	E069	0.4200E-04/HOR	FALLA VALVULA DE CONTROL DE DIAFRAGMA V11
70	E070	0.1000E-02/BEH	FALLA HUMANA EN V11
71	E071	0.2500E-07/HOR	FALLA EQUIPO NEUMATICO
72	E072	0.1500E-02/BEH	FALLA HUMANA EN EQUIPO NEUMATICO
73	E073	0.2800E-04/HOR	FALLA FRICA-2 (CONTROL)
74	E074	0.4450E-01/BEH	FALLA HUMANA EN FRICA-3 DE CONTROL
75	E075	0.2900E-04/HOR	FALLA TICA-3 (CONTROL)
76	E076	0.3450E-01/BEH	FALLA HUMANA EN TICA-3 DE CONTROL
77	E077	0.4220E-05/HOR	FALLA PG-3 (SEÑAL DE CAMPO)
78	E078	0.5000E-02/BEH	FALLA HUMANA EN PG-3 DE LECTURA
79	E079	0.1500E-07/HOR	FALLA FR-3 (SEÑAL)
80	E080	0.5000E-02/BEH	FALLA HUMANA EN FR-3 DE LECTURA
81	E081	0.1200E-04/HOR	FALLA ALARMA DE FLUJO DE AIRE
82	E082	0.1500E-07/HOR	FALLA FRICA 3 (SEÑAL)
83	E083	0.5000E-02/BEH	FALLA HUMANA EN FRICA-3 DE LECTURA
84	E084	0.1540E-04/HOR	FALLA TI 1 7 (SEÑAL)
85	E085	0.5000E-02/BEH	FALLA HUMANA TI 1 3 DE LECTURA
86	E086	0.1000E-04/HOR	REDUCCION DE CATALIZADOR
87	E087	0.5000E-06/HOR	FALLA EN LOS CICLONES
88	E088	0.2510E-04/HOR	FALLA VALVULA DE COMPUERTA V12
89	E089	0.1000E-02/BEH	FALLA HUMANA EN V12
90	E090	0.1000E-07/BEH	FALLA VALVULA CHECK V13
91	E091	0.2000E-07/HOR	FALLA DE ORIGEN DE AIRE SECO
92	E092	0.4510E-04/HOR	FALLA VALVULA DE COMPUERTA V14
93	E093	0.1000E-02/BEH	FALLA HUMANA EN V14
94	E094	0.1000E-05/HOR	FALLA DE ORIGEN DE CATALIZADOR 1
95	E095	0.4510E-04/HOR	FALLA VALVULA DE COMPUERTA V15
96	E096	0.1000E-07/BEH	FALLA HUMANA EN V15
97	E097	0.1000E-05/HOR	FALLA DE ORIGEN DE CATALIZADOR 2
98	E098	0.6510E-04/HOR	FALLA VALVULA DE COMPUERTA V16
99	E099	0.1000E-02/BEH	FALLA HUMANA EN V16
100	E100	0.4570E-04/HOR	FALLA SEÑAL DE TEMPOR 1
101	E101	0.5000E-02/BEH	FALLA HUMANA EN TEMPOR 1 DE LECTURA
102	E102	0.7570E-04/HOR	FALLA ALARMA DE ALTA TEMPERATURA
103	E103	0.7570E-04/HOR	FALLA ALARMA DE TEMPERATURA DE EFLUENTE
104	E104	0.4570E-04/HOR	FALLA SEÑAL DE TEMPOR 2
105	E105	0.5000E-02/BEH	FALLA HUMANA EN TEMPOR 2 DE LECTURA
106	E106	0.1000E-05/HOR	FALLA SISTEMA DE ENFRIAMIENTO
107	E107	0.2500E-05/HOR	FALLA CONTROL DE PRESION EN R1
108	E108	0.1000E-06/HOR	FALLA PRIMARIA EN EL REACTOR
109	E109	0.1000E-04/HOR	FALLA SUMINISTRO DE NITROGENO 1
110	E110	0.1000E-04/HOR	FALLA SUMINISTRO DE NITROGENO 2
111	E111	0.1050E-04/HOR	FALLA SUMINISTRO DE VAPOR DE AGUA

DESCRIPCION DEL ARBOL DE FALLAS CON EL EVENTO TOPE:
 REACCION DE POST-COMBUSTION CRITICA EN EL REACTOR QUIMICO DE LA U.P.T

<#>	<COMPUERTA>	<TIPO>	<#C0>	<COMPONENTES QUE LE LLEGAN>
1	G001	*	0	G002,G004
2	G002	*	0	E111,G003
3	G003	*	0	E109,E110
4	G004	+	0	E108,G005,G022
5	G005	+	0	E086,G016
6	G006	*	0	E086,E087,G007
7	G007	+	0	G008,G010
8	G008	+	0	E088,E091,G009
9	G009	+	0	E088,E092
10	G010	*	0	E011,G013
11	G011	+	0	E012,G013
12	G012	+	0	E027,E028
13	G013	+	0	E027,G014,G015
14	G014	+	0	E025,E026
15	G015	+	0	E028,E029
16	G016	+	0	E107,G017
17	G017	+	0	E104,G018
18	G018	*	0	E102,E103,G019,G020,G021
19	G019	+	0	E100,E101
20	G020	+	0	E104,E105
21	G021	*	0	E018,E019,E020
22	G022	+	0	G023,G050,G076
23	G023	+	0	E058,E059,G024,G025,G074
24	G024	+	0	E040,E041
25	G025	+	0	E042,E043,G070
26	G026	*	0	G027,G028
27	G027	+	0	E067,E068
28	G028	+	0	E066,G029
29	G029	*	0	E017,G019
30	G030	*	0	G031,G032
31	G031	+	0	E034,E035
32	G032	+	0	E033,G033
33	G033	*	0	E018,E019,E020
34	G034	+	0	E069,E070,G035,G036,G041
35	G035	+	0	E071,E072
36	G036	*	0	G037,G038,G039
37	G037	+	0	E073,E074
38	G038	*	0	E018,E019
39	G039	+	0	E075,E076
40	G040	*	0	E018,E019
41	G041	*	0	E042,E044
42	G042	+	0	E077,E078
43	G043	*	0	G044,G048
44	G044	*	0	E081,G045,G046,G047
45	G045	+	0	E077,E080
46	G046	+	0	E082,E083
47	G047	*	0	E018,E019,E020
48	G048	+	0	E084,E085,G049
49	G049	*	0	E018,E019,E020
50	G050	+	0	E031,E032,G051,G052,G053
51	G051	+	0	E033,E034
52	G052	+	0	E039,E040
53	G053	+	0	E035,E036,G054,G055,G060

RELACIONES ENTRE COMPUERTAS Y EVENTOS BASICOS
 PARA EL ARBOL DE FALLAS CON EL EVENTO TOPE:
 REACCION DE POST-COMBUSTION CRITICA EN EL REACTOR QUIMICO DE LA U.P.T

G001 = G002*G004
 G002 = E111*G003
 G003 = E107*E110
 G004 = E108*G005*G022
 G005 = E088*G018
 G006 = E082*E087*G007
 G007 = G008*G010
 G008 = E090*E091*G009
 G009 = E086*E089
 G010 = G011*G013
 G011 = E094*G012
 G012 = E092*E093
 G013 = E097*G014*G01F
 G014 = E095*E096
 G015 = E078*E079
 G016 = E107*G017
 G017 = E104*G018
 G018 = E102*E103*G019*G020*G021
 G019 = E100*E101
 G020 = E104*E105
 G021 = E018*E019*E020
 G022 = G023*G050*G076
 G023 = G058*G059*G074*G025*G024
 G024 = E060*E061
 G025 = E062*G026*G030
 G026 = G027*G028
 G027 = E067*E068
 G028 = E066*G029
 G029 = E018*E019
 G030 = G031*G032
 G031 = E064*E065
 G032 = E063*G033
 G033 = E018*E019*E020
 G034 = E069*E070*G035*G036*G041
 G035 = E074*E072
 G036 = G037*G039*G039
 G037 = E073*E074
 G038 = E018*E019
 G039 = E075*E076
 G040 = E018*E019
 G041 = G042*G044
 G042 = E077*E078
 G043 = G044*G046
 G044 = E081*G045*G046*G047
 G045 = E079*E080
 G046 = E082*E083
 G047 = E018*E019*E020
 G048 = E084*E085*G049
 G049 = E018*E019*E020
 G050 = E031*E032*G051*G052*G053
 G051 = E033*E034
 G052 = E032*E040
 G053 = E035*E036*G054*G055*G040
 G054 = E034*E037
 G055 = G056*G057*G058
 G056 = E041*E042

G057 = F018*E019
 G058 = F043*E044
 G059 = F018*E019
 G060 = G061*G065
 G061 = G062*G063*G064
 G062 = F052*F053
 G063 = F054*F055
 G064 = F054*F057
 G065 = G066*G067*G071
 G066 = F018*E019*E020
 G067 = F047*G068
 G068 = F045*E046
 G069 = E047*G070
 G070 = F018*E019*E020
 G071 = G072*G074
 G072 = F048*E049
 G073 = G018*E019*E020
 G074 = F050*F051
 G075 = E018*E019*E020
 G076 = F0014*F002+G077+G078+G079
 G077 = F003*F004
 G078 = F009*E010
 G079 = F005*F008+G090*G091*G094
 G080 = F002*F007
 G081 = G092*G084*G083
 G082 = F011*E012
 G083 = E018*E019
 G084 = F012*E014
 G085 = E018*E019
 G086 = G087*G091
 G087 = F008+G093*E090
 G088 = F025*F026
 G089 = E027*E028
 G090 = F029*F030
 G091 = G092*G093*G097
 G092 = E018*E019*E020
 G093 = E017*G094
 G094 = F015*E016
 G095 = E017*G096
 G096 = E018*E019*E020
 G097 = G098*G100
 G098 = E021*E022
 G099 = F018*E019*E020
 G100 = F027*F024
 G101 = F018*E019*E020
 G102 = F018*E019*E020
 G103 = F051*G047
 G104 = F018*E019*E020
 G105 = E102*E103
 G106 = E103*E109
 G107 = E104*E105*E110
 G108 = F018*E019*E020
 G109 = F018*E019*E020
 G110 = F018*E019*E020

 DATOS GENERALES SOBRE EL ARROL DE FALLAS CON EL EVENTO TOPE;
 REACCION DE POST-COMBUSTION CRITICA EN EL REACTOR QUIMICO DE LA U.P.T

NUMERO TOTAL DE EVENTOS BASICOS.....	111
NUMERO TOTAL DE COMPUERTAS.....	110
NUMERO TOTAL DE TERMINOS EN LA EXPANSION.....	161
ORDEN MAXIMO CONSIDERADO EN LA EXPANSION.....	11
NUMERO TOTAL DE CONJUNTOS MINIMOS DE CORTE(CMC)...	161
NUMERO TOTAL DE CMC DE ORDEN(1).....	0
NUMERO TOTAL DE CMC DE ORDEN(2).....	0
NUMERO TOTAL DE CMC DE ORDEN(3).....	0
NUMERO TOTAL DE CMC DE ORDEN(4).....	33
NUMERO TOTAL DE CMC DE ORDEN(5).....	4
NUMERO TOTAL DE CMC DE ORDEN(6).....	2
NUMERO TOTAL DE CMC DE ORDEN(7).....	14
NUMERO TOTAL DE CMC DE ORDEN(8).....	0
NUMERO TOTAL DE CMC DE ORDEN(9).....	0
NUMERO TOTAL DE CMC DE ORDEN(10).....	12
NUMERO TOTAL DE CMC DE ORDEN(11).....	76

 EXPANSION DEL EVENTO TOPE:
 REACCION DE POST-COMBUSTION CRITICA EN EL REACTOR QUIMICO DE LA U.P.T
 EN SUS CONJUNTOS MINIMOS DE CORTE

- OT = E111E109E110E108
- + E111E109E110E084
- + E111E109E110E107
- + E111E109E110E104
- + E111E109E110E058
- + E111E109E110E059
- + E111E109E110E040
- + E111E109E110E041
- + E111E109E110E032
- + E111E109E110E037
- + E111E109E110E070
- + E111E109E110E071
- + E111E109E110E072
- + E111E109E110E031
- + E111E109E110E032
- + E111E109E110E033
- + E111E109E110E034
- + E111E109E110E039
- + E111E109E110E040
- + E111E109E110E035
- + E111E109E110E038
- + E111E109E110E034
- + E111E109E110E037
- + E111E109E110E001
- + E111E109E110E002
- + E111E109E110E003
- + E111E109E110E004
- + E111E109E110E007
- + E111E109E110E010
- + E111E109E110E005
- + E111E109E110E008

RESULTADOS OBTENIDOS DE LA EVALUACION CUANTITATIVA DE LOS CORTEOS
 MÍNIMOS DE CORTE DEL ASROL DE FALLAS CON EL EVENTO TOPE:
 REACCION DE POST-COMBUSTION CRITICA EN EL REACTOR QUIMICO DE LA U.P.T
 AL TIEMPO: 2160.00 HORAS

(#)	(CONJUNTO MINIMO DE CORTE)	(CORREN)	(IMPORTANCIA)	(INDISPONIBILIDAD)
20	E111*E107*E110*E009	4	0.11422E+00	0.19258E-05
24	E111*E107*E110*E003	4	0.11422E+00	0.19258E-05
18	E111*E107*E110*E009	4	0.11422E+00	0.19258E-05
14	E111*E107*E110*E032	4	0.11422E+00	0.19258E-05
7	E111*E107*E110*E040	4	0.11422E+00	0.19258E-05
20	E111*E109*E110*E005	4	0.25157E-01	0.14112E-05
20	E111*E109*E110*E035	4	0.25157E-01	0.14112E-05
10	E111*E109*E110*E029	4	0.25157E-01	0.14112E-05
15	E111*E109*E110*E032	4	0.25173E-01	0.29049E-04
25	E111*E109*E110*E002	4	0.26067E-01	0.49072E-04
5	E111*E109*E110*E050	4	0.26097E-01	0.49072E-04
2	E111*E109*E110*E004	4	0.26093E-01	0.34472E-04
39	E111*E109*E110*E048*E018	6	0.12998E-01	0.24557E-04
9	E111*E109*E110*E042	4	0.25175E-02	0.15771E-04
3	E111*E109*E110*E107	4	0.47715E-02	0.79066E-07
35	E111*E109*E110*E046*E044	4	0.25257E-02	0.25412E-07
4	E111*E109*E110*E106	4	0.22934E-02	0.36004E-07
38	E111*E109*E110*E047*E018	6	0.18192E-02	0.30154E-07
33	E111*E109*E110*E007	4	0.15946E-02	0.26426E-07
31	E111*E109*E110*E040	4	0.15948E-02	0.26426E-07
27	E111*E109*E110*E004	4	0.15945E-02	0.26426E-07
23	E111*E109*E110*E037	4	0.15948E-02	0.26426E-07
21	E111*E109*E110*E038	4	0.15948E-02	0.26426E-07
19	E111*E109*E110*E040	4	0.15948E-02	0.26426E-07
17	E111*E109*E110*E034	4	0.15948E-02	0.26426E-07
13	E111*E109*E110*E007	4	0.15946E-02	0.26426E-07
11	E111*E109*E110*E007	4	0.15946E-02	0.26426E-07
8	E111*E109*E110*E041	4	0.15948E-02	0.26426E-07
34	E111*E109*E110*E044*E043	5	0.10645E-02	0.17471E-07
51	E111*E109*E110*E041*E014	7	0.10449E-02	0.17314E-07
47	E111*E109*E110*E041*E010	7	0.10449E-02	0.17314E-07
45	E111*E109*E110*E073*E018	7	0.10449E-02	0.17314E-07
50	E111*E109*E110*E041*E013	7	0.98364E-03	0.16297E-07
46	E111*E109*E110*E043*E018	7	0.98366E-03	0.16297E-07
44	E111*E109*E110*E073*E018	7	0.98365E-03	0.16297E-07
55	E111*E109*E110*E012*E014	7	0.83934E-03	0.13692E-07
49	E111*E109*E110*E042*E018	7	0.83934E-03	0.13692E-07
41	E111*E109*E110*E074*E018	7	0.83934E-03	0.13692E-07
52	E111*E109*E110*E010*E013	7	0.79921E-03	0.13077E-07
46	E111*E109*E110*E042*E018	7	0.79921E-03	0.13077E-07
40	E111*E109*E110*E074*E018	7	0.79921E-03	0.13077E-07
37	E111*E109*E110*E046*E043	5	0.64797E-03	0.11109E-07
34	E111*E109*E110*E047*E044	5	0.50204E-03	0.63101E-08
1	E111*E109*E110*E108	4	0.19175E-03	0.31715E-08
24	E111*E109*E110*E001	4	0.89661E-04	0.14681E-08
14	E111*E109*E110*E031	4	0.88401E-04	0.14681E-08
6	E111*E109*E110*E059	4	0.88601E-04	0.14681E-08

32	E111*E109*E110*E006	4	0.47846E-04	0.79032E-09
32	E111*E109*E110*E036	4	0.47846E-04	0.79032E-09
12	E111*E109*E110*E071	4	0.47846E-04	0.79032E-09
42	E111*E109*E110*E044*E018	7	0.34612E-05	0.57355E-10
43	E111*E109*E110*E065*E018	7	0.21740E-05	0.36024E-10
65	E111*E109*E110*E102*E103	10	0.97039E-07	0.14555E-11
63	E111*E109*E110*E102*E107	10	0.46724E-08	0.77433E-13
42	E111*E109*E110*E102*E103	10	0.46724E-08	0.77433E-13
44	E111*E109*E110*E102*E103	10	0.28524E-09	0.44184E-14
57	E111*E109*E110*E077*E081	10	0.29574E-11	0.49824E-17
61	E111*E109*E110*E070*E081	10	0.16976E-11	0.26000E-16
134	E111*E109*E110*E027*E018	11	0.11591E-11	0.19004E-16
72	E111*E109*E110*E054*E018	11	0.11591E-11	0.19004E-16
150	E111*E109*E110*E029*E018	11	0.10780E-11	0.18209E-16
88	E111*E109*E110*E050*E018	11	0.10960E-11	0.18009E-16
116	E111*E109*E110*E025*E018	11	0.85249E-13	0.14126E-17
104	E111*E109*E110*E020*E018	11	0.85249E-13	0.14126E-17
150	E111*E109*E110*E030*E018	11	0.62870E-13	0.10556E-16
142	E111*E109*E110*E020*E018	11	0.62870E-13	0.10556E-16
124	E111*E109*E110*E024*E018	11	0.42670E-13	0.10556E-16
112	E111*E109*E110*E057*E018	11	0.42670E-13	0.10556E-16
94	E111*E109*E110*E057*E018	11	0.62870E-13	0.10556E-16
80	E111*E109*E110*E055*E018	11	0.45570E-13	0.10556E-16
135	E111*E109*E110*E027*E018	11	0.47714E-13	0.29355E-17
73	E111*E109*E110*E054*E018	11	0.47714E-13	0.29355E-17
151	E111*E109*E110*E029*E018	11	0.16794E-13	0.27822E-17
89	E111*E109*E110*E050*E018	11	0.16794E-13	0.27822E-17
119	E111*E109*E110*E025*E018	11	0.13008E-13	0.31588E-17
105	E111*E109*E110*E020*E018	11	0.17008E-13	0.21588E-17
159	E111*E109*E110*E070*E018	11	0.97410E-13	0.16174E-17
143	E111*E109*E110*E020*E018	11	0.97410E-13	0.16174E-17
127	E111*E109*E110*E024*E018	11	0.97410E-13	0.16174E-17
115	E111*E109*E110*E057*E018	11	0.97410E-13	0.16174E-17
97	E111*E109*E110*E057*E018	11	0.97410E-13	0.16174E-17
81	E111*E109*E110*E055*E018	11	0.97410E-13	0.16174E-17
134	E111*E109*E110*E027*E018	11	0.95440E-13	0.15014E-17
74	E111*E109*E110*E054*E018	11	0.95440E-13	0.15014E-17
152	E111*E109*E110*E027*E018	11	0.96490E-13	0.14905E-17
96	E111*E109*E110*E050*E018	11	0.96490E-13	0.14905E-17
120	E111*E109*E110*E025*E018	11	0.72001E-13	0.11430E-17
104	E111*E109*E110*E050*E018	11	0.72001E-13	0.11430E-17
146	E111*E109*E110*E020*E018	11	0.52595E-13	0.87150E-18
142	E111*E109*E110*E020*E018	11	0.52595E-13	0.87150E-18
128	E111*E109*E110*E024*E018	11	0.52595E-13	0.87150E-18
95	E111*E109*E110*E057*E018	11	0.52595E-13	0.87150E-18
92	E111*E109*E110*E055*E018	11	0.52595E-13	0.87150E-18
84	E111*E109*E110*E050*E018	11	0.52595E-13	0.87150E-18
54	E111*E109*E110*E077*E081	10	0.10919E-13	0.31345E-18
55	E111*E109*E110*E077*E081	10	0.10919E-13	0.31345E-18
137	E111*E109*E110*E027*E018	11	0.14567E-13	0.24174E-18
75	E111*E109*E110*E054*E018	11	0.14567E-13	0.24174E-18
153	E111*E109*E110*E029*E018	11	0.13809E-13	0.22914E-18
91	E111*E109*E110*E054*E018	11	0.13809E-13	0.22914E-18
107	E111*E109*E110*E025*E018	11	0.10729E-13	0.17777E-18
59	E111*E109*E110*E050*E018	11	0.10729E-13	0.17777E-18
60	E111*E109*E110*E070*E081	10	0.10405E-13	0.17275E-18
131	E111*E109*E110*E070*E081	10	0.10405E-13	0.17275E-18
145	E111*E109*E110*E030*E018	11	0.80379E-14	0.13319E-18
129	E111*E109*E110*E030*E018	11	0.80379E-14	0.13319E-18
99	E111*E109*E110*E057*E018	11	0.80379E-14	0.13319E-18

83	E111*E109*E110*E055*E018	11	0.86377E-14	0.13319E-18
87	E111*E109*E110*E055*E018	11	0.86377E-14	0.13319E-18
130	E111*E109*E110*E027*E018	11	0.75166E-14	0.12455E-18
88	E111*E109*E110*E054*E018	11	0.75166E-14	0.12455E-18
146	E111*E109*E110*E029*E018	11	0.71265E-14	0.11809E-18
84	E111*E109*E110*E053*E018	11	0.71265E-14	0.11809E-18
114	E111*E109*E110*E025*E018	11	0.55284E-14	0.91606E-19
100	E111*E109*E110*E052*E018	11	0.55284E-14	0.91606E-19
154	E111*E109*E110*E023*E018	11	0.41419E-14	0.68632E-19
138	E111*E109*E110*E020*E018	11	0.41419E-14	0.68632E-19
122	E111*E109*E110*E024*E018	11	0.41419E-14	0.68632E-19
108	E111*E109*E110*E057*E018	11	0.41419E-14	0.68632E-19
92	E111*E109*E110*E057*E018	11	0.41419E-14	0.68632E-19
76	E111*E109*E110*E055*E018	11	0.41419E-14	0.68632E-19
131	E111*E109*E110*E027*E018	11	0.11487E-14	0.19035E-19
69	E111*E109*E110*E054*E018	11	0.11487E-14	0.19035E-19
147	E111*E109*E110*E029*E018	11	0.10551E-14	0.18047E-19
95	E111*E109*E110*E053*E018	11	0.10551E-14	0.18047E-19
115	E111*E109*E110*E025*E018	11	0.84489E-15	0.14000E-19
101	E111*E109*E110*E029*E018	11	0.84489E-15	0.14000E-19
155	E111*E109*E110*E036*E018	11	0.43300E-15	0.10469E-19
139	E111*E109*E110*E028*E018	11	0.43300E-15	0.10469E-19
123	E111*E109*E110*E026*E018	11	0.43300E-15	0.10469E-19
109	E111*E109*E110*E053*E018	11	0.43300E-15	0.10469E-19
93	E111*E109*E110*E057*E018	11	0.43300E-15	0.10469E-19
77	E111*E109*E110*E055*E018	11	0.43300E-15	0.10469E-19
132	E111*E109*E110*E027*E018	11	0.41897E-15	0.10285E-19
70	E111*E109*E110*E054*E018	11	0.41897E-15	0.10285E-19
148	E111*E109*E110*E029*E018	11	0.55485E-15	0.97241E-20
86	E111*E109*E110*E053*E018	11	0.55485E-15	0.97241E-20
116	E111*E109*E110*E025*E018	11	0.45525E-15	0.75435E-20
102	E111*E109*E110*E029*E018	11	0.45525E-15	0.75435E-20
156	E111*E109*E110*E030*E018	11	0.34188E-15	0.56517E-20
140	E111*E109*E110*E028*E018	11	0.34188E-15	0.56517E-20
124	E111*E109*E110*E026*E018	11	0.34188E-15	0.56517E-20
110	E111*E109*E110*E053*E018	11	0.34188E-15	0.56517E-20
94	E111*E109*E110*E057*E018	11	0.34188E-15	0.56517E-20
78	E111*E109*E110*E055*E018	11	0.34188E-15	0.56517E-20
54	E111*E109*E110*E027*E018	10	0.12240E-15	0.20330E-20
133	E111*E109*E110*E027*E018	11	0.74596E-16	0.15587E-20
71	E111*E109*E110*E054*E018	11	0.74596E-16	0.15587E-20
149	E111*E109*E110*E029*E018	11	0.87686E-16	0.14641E-20
87	E111*E109*E110*E054*E018	11	0.87686E-16	0.14641E-20
117	E111*E109*E110*E025*E018	11	0.67574E-16	0.11592E-20
103	E111*E109*E110*E029*E018	11	0.67574E-16	0.11592E-20
58	E111*E109*E110*E027*E018	10	0.67487E-16	0.11503E-20
157	E111*E109*E110*E023*E018	11	0.52126E-16	0.86373E-21
141	E111*E109*E110*E020*E018	11	0.52126E-16	0.86373E-21
125	E111*E109*E110*E024*E018	11	0.52126E-16	0.86373E-21
111	E111*E109*E110*E053*E018	11	0.52126E-16	0.86373E-21
97	E111*E109*E110*E057*E018	11	0.52126E-16	0.86373E-21
79	E111*E109*E110*E055*E018	11	0.52126E-16	0.86373E-21

INRESPONSIBILIDAD DEL SISTEMA: 0.1657E-04

RESULTADOS OBTENIDOS DE LA EVALUACION CUANTITATIVA DE LOS EVENTOS
 BASICOS DEL ARBOL DE FALLAS CON EL EVENTO TOP:
 REACCION DE POST-CORRUPCION CRITICA EN EL REACTOR QUIMICO DE LA U.P.T

NO. EVENTOS	RAZON DE FALLA	IMPORTANCIA	INDISPONIBILIDAD
111	E111	0.1050E-04/HOR	0.10432E+01
110	F110	0.1200E-04/HOR	0.10432E+01
107	E109	0.1200E-04/HOR	0.10432E+01
60	E060	0.6510E-04/HOR	0.11422E+00
32	E039	0.6510E-04/HOR	0.11422E+00
33	E033	0.6510E-04/HOR	0.11422E+00
9	E009	0.6510E-04/HOR	0.11422E+00
3	E003	0.6510E-04/HOR	0.11422E+00
69	E069	0.4380E-04/HOR	0.85187E-01
35	E035	0.4380E-04/HOR	0.85187E-01
5	E005	0.4380E-04/HOR	0.85187E-01
32	E032	0.3200E-04/HOR	0.59177E-01
58	E058	0.1600E-04/HOR	0.30097E-01
2	E002	0.1600E-04/HOR	0.30097E-01
19	E019	0.3000E-03/HOR	0.25792E-01
10	E010	0.3000E-03/HOR	0.25792E-01
84	L084	0.1160E-04/HOR	0.20083E-01
68	F068	0.4450E-01/DEM	0.10584E-01
62	E062	0.5000E-05/HOR	0.25175E-00
107	E107	0.2500E-05/HOR	0.47715E-02
64	E064	0.3500E-04/HOR	0.40878E-02
67	E067	0.4200E-05/HOR	0.23519E-02
104	E104	0.1200E-05/HOR	0.22974E-02
77	E077	0.7800E-04/HOR	0.20084E-02
41	E041	0.7800E-04/HOR	0.20084E-02
11	E011	0.7800E-04/HOR	0.20084E-02
71	E071	0.4450E-01/DEM	0.12833E-02
44	E044	0.4450E-01/DEM	0.12833E-02
14	E014	0.4450E-01/DEM	0.12833E-02
75	E075	0.2200E-04/HOR	0.17297E-01
47	E047	0.2200E-04/HOR	0.17297E-01
13	E013	0.2200E-04/HOR	0.17297E-01
67	E067	0.7500E-04/HOR	0.17243E-02
74	E074	0.3400E-01/DEM	0.14276E-02
40	E040	0.4450E-01/DEM	0.14276E-02
10	E010	0.4450E-01/DEM	0.14276E-02
70	E070	0.1800E-02/DEM	0.15949E-02
70	E070	0.1800E-02/DEM	0.15949E-02
61	E061	0.1800E-02/DEM	0.15949E-02
40	E040	0.1800E-02/DEM	0.15949E-02
70	E070	0.1800E-02/DEM	0.15949E-02
37	E037	0.1800E-02/DEM	0.15949E-02
34	E034	0.1800E-02/DEM	0.15949E-02
10	E010	0.1800E-02/DEM	0.15949E-02
3	E003	0.1800E-02/DEM	0.15949E-02
7	E007	0.1800E-02/DEM	0.15949E-02
44	E044	0.4450E-01/DEM	0.15949E-02
75	E075	0.2200E-04/HOR	0.15949E-02
100	E100	0.1000E-01/DEM	0.15118E-01
70	E070	0.1800E-02/DEM	0.15949E-02
71	E071	0.1800E-02/DEM	0.15949E-02
11	E011	0.1800E-02/DEM	0.15949E-02

74	E074	0.2500E-07/HOR	0.47044E-04	0.54002E-04
32	E032	0.2500E-07/HOR	0.47044E-04	0.54002E-04
6	E006	0.2500E-07/HOR	0.47044E-04	0.54002E-04
3	E003	0.1000E-05/HOR	0.57327E-05	0.21577E-02
103	E103	0.7500E-04/HOR	0.97432E-07	0.15121E+00
102	E102	0.7500E-04/HOR	0.97432E-07	0.15121E+00
104	E104	0.4570E-04/HOR	0.92511E-07	0.93296E-01
100	E100	0.4570E-04/HOR	0.92511E-07	0.93296E-01
101	E101	0.5000E-02/BEH	0.48210E-09	0.50000E-02
105	E105	0.5000E-02/BEH	0.48210E-09	0.50000E-02
17	E017	0.1320E-04/HOR	0.43104E-11	0.29578E-01
47	E047	0.1320E-04/HOR	0.43104E-11	0.29578E-01
14	E014	0.5000E-02/BEH	0.42720E-11	0.50000E-02
46	E046	0.5000E-02/BEH	0.42720E-11	0.50000E-02
48	E048	0.2000E-04/HOR	0.50334E-11	0.60716E-01
21	E021	0.2000E-04/HOR	0.50334E-11	0.60716E-01
50	E050	0.1540E-04/HOR	0.54750E-11	0.32017E+01
23	E023	0.1540E-04/HOR	0.54750E-11	0.32017E+01
21	E021	0.1300E-04/HOR	0.45133E-11	0.20557E+01
83	E083	0.5000E-02/BEH	0.45554E-11	0.50000E-02
80	E080	0.5000E-02/BEH	0.45554E-11	0.50000E-02
77	E077	0.4220E-05/HOR	0.29553E-11	0.90753E-02
70	E070	0.5000E-02/BEH	0.16700E-11	0.50000E-02
34	E034	0.4220E-05/HOR	0.14550E-11	0.90753E-02
37	E037	0.4220E-05/HOR	0.14550E-11	0.90753E-02
81	E081	0.4000E-05/HOR	0.13004E-11	0.64602E-02
79	E079	0.4000E-05/HOR	0.13004E-11	0.64602E-02
52	E052	0.3100E-05/HOR	0.10700E-11	0.44757E-02
35	E035	0.3100E-05/HOR	0.10700E-11	0.44757E-02
51	E051	0.5000E-02/BEH	0.03400E-12	0.50000E-02
24	E024	0.5000E-02/BEH	0.03400E-12	0.50000E-02
57	E057	0.5000E-02/BEH	0.00211E-12	0.50000E-02
55	E055	0.5000E-02/BEH	0.00211E-12	0.50000E-02
53	E053	0.5000E-02/BEH	0.00211E-12	0.50000E-02
30	E030	0.5000E-02/BEH	0.00211E-12	0.50000E-02
10	E010	0.5000E-02/BEH	0.00211E-12	0.50000E-02
26	E026	0.5000E-02/BEH	0.00211E-12	0.50000E-02
49	E049	0.5000E-02/BEH	0.40000E-12	0.50000E-02
22	E022	0.5000E-02/BEH	0.40000E-12	0.50000E-02
15	E015	0.1500E-07/HOR	0.40074E-13	0.30400E-04
45	E045	0.1500E-07/HOR	0.40074E-13	0.30400E-04
82	E082	0.1500E-07/HOR	0.29575E-13	0.32425E-04
79	E079	0.1500E-07/HOR	0.29575E-13	0.32425E-04
99	E099	0.1000E-02/BEH	0.00000E+00	0.10000E-02
90	E090	0.1000E-02/BEH	0.00000E+00	0.10000E-02
93	E093	0.1000E-02/BEH	0.00000E+00	0.10000E-02
54	E054	0.1000E-02/BEH	0.00000E+00	0.10000E-02
94	E094	0.1000E-02/BEH	0.00000E+00	0.10000E-02
92	E092	0.1000E-02/BEH	0.00000E+00	0.10000E-02
91	E091	0.1000E-02/BEH	0.00000E+00	0.10000E-02
90	E090	0.1000E-02/BEH	0.00000E+00	0.10000E-02
89	E089	0.1000E-02/BEH	0.00000E+00	0.10000E-02
88	E088	0.1000E-02/BEH	0.00000E+00	0.10000E-02
87	E087	0.1000E-02/BEH	0.00000E+00	0.10000E-02
85	E085	0.1000E-02/BEH	0.00000E+00	0.10000E-02
84	E084	0.1000E-02/BEH	0.00000E+00	0.10000E-02

Tabla de indisponibilidades obtenidas al considerar diferentes ordenes para el analisis cuantitativo en distintos tiempos

ORDEN/TIEMPO	2 meses	3 meses	4 meses	5 meses	6 meses	7 meses	8 meses	9 meses
4e	3.457E-06	1.633E-05	5.126E-05	1.205E-04	2.420E-04	4.349E-04	7.193E-04	1.117E-03
5e	3.457E-06	1.633E-05	5.150E-05	1.213E-04	2.438E-04	4.383E-04	7.254E-04	1.127E-03
6e	3.457E-06	1.657E-05	5.233E-05	1.236E-04	2.487E-04	4.476E-04	7.411E-04	1.152E-03
7e	3.457E-06	1.657E-05	5.287E-05	1.262E-04	2.559E-04	4.635E-04	7.717E-04	1.207E-03
10e	3.457E-06	1.657E-05	5.287E-05	1.262E-04	2.559E-04	4.635E-04	7.717E-04	1.207E-03
11e	3.457E-06	1.657E-05	5.287E-05	1.262E-04	2.559E-04	4.635E-04	7.717E-04	1.207E-03

Tabla 3.3

ANALISIS DE SENSIBILIDAD		
EVENTO	RAZON DE FALLA MODIFICADA	INDISPONIBILIDAD DEL SISTEMA
111	5.2500E-06	8.2250E-06
109;110	6.0000E-06	8.2250E-06
60;39;33;9;3	3.2560E-06	1.5680E-05
69;35	2.3400E-05	1.5680E-05
111	1.5750E-05	2.4740E-05
109;110	1.8500E-05	2.4740E-05
60;39;33;9;3	9.7650E-05	1.7460E-05
69;35	7.0200E-05	1.7230E-05

Tabla 3.4

Evaluación efectuada para tres meses considerando C.M.C. de orden 11.

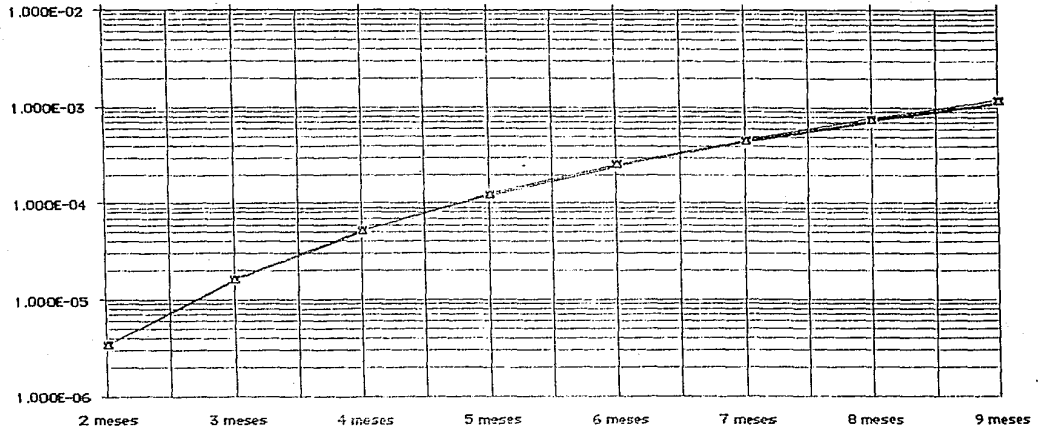
ANALISIS DE SENSIBILIDAD	
Evento(s) que se supone(n) fallado(s)	Indisponibilidad del sistema
111	7.7060E-04
110	6.7510E-04
109 y 110	2.6090E-02
109 y 111	2.9720E-02
109, 110 y 111	7.3807E-01

Tabla 3.5

ANALISIS CUANTITATIVO DEL ARBOL DE FALLAS

Gráfica 3.1

Gráfico de indisponibilidad vs. tiempo



CAPITULO IV

ANALISIS DE RESULTADOS.

4.1 Análisis de resultados.

Para ejemplificar los resultados que se obtienen con el programa de cómputo, se presenta el listado del análisis cuantitativo a un tiempo de tres meses, ya que para el mantenimiento del proceso Sónico de la Unidad Petroquímica Tuis, se realizan cuatro paros programados al año.

El menor orden de los conjuntos mínimos de corte obtenidos en el análisis fué cuatro, lo cual indica de manera cualitativa, que el sistema tiene un buen grado de confiabilidad, puesto que por lo menos tienen que suceder cuatro eventos de un mismo conjunto mínimo de corte (C.M.C.), para que se lleve a cabo el evento tope.

Aunque el análisis cualitativo por sí sólo, nos dá una idea de la importancia de los C.M.C., no siempre corresponde al orden de importancia obtenida con el análisis cuantitativo, como lo muestran los resultados.

El árbol de fallas obtenido, contiene 161 C.M.C., esto es, 161 conjuntos de eventos de falla diferentes que nos llevan al evento tope.

En la tabla 3.3 y gráfica 3.1, se puede observar como para un mismo tiempo, considerando distintos ordenes, la variación entre una indisponibilidad y otra es muy pequeña, esto indica, que los eventos de menor orden (en este caso de orden cuatro), son los que tienen mayor peso o los que contribuyen en mayor proporción en la indisponibilidad del sistema; es por esto, que en la mayoría de los casos no es necesario involucrar detalles del proceso para tener resultados de mayor calidad. En nuestro caso, el incluir C.M.C. de orden 10 y 11 no afecta de manera alguna a la indisponibilidad total de sistema, además de que éstos C.M.C. son los que tienen valores más bajos de importancias.

Los diez C.M.C. de mayor importancia, que son el 5.21% del total

de los C.M.C. considerados en el árbol de fallas, representan el 89.39% de la contribución a la indisponibilidad del sistema para la ocurrencia del evento tope.

El que la importancia de los eventos 109, 110 y 111 sea mayor a uno, se debe a la precisión de la computadora utilizada, ya que los valores de importancia no pueden ser mayores a uno de acuerdo a la definición de importancia de Fussell-Vesely.

La gráfica 3.1 muestra la tendencia que tiene la indisponibilidad del sistema con respecto al tiempo, al considerarse distintos tiempos de paro del proceso.

Para realizar el análisis de sensibilidad, modificamos la razón de falla de cada uno de los diez eventos de mayor importancia del sistema. Se redujo la tasa de falla de un sólo evento por corrida a la mitad, y después se incremento en un 50% (tabla 3.4). Con este análisis se puede observar que la variación en las tasas de los eventos 109, 110 y 111 tiene una gran repercusión en la indisponibilidad del sistema, ya que cada una de las dos modificaciones que se efectuaron por evento, afectaron a la indisponibilidad aproximadamente en un 50%, mientras que para los eventos 60, 39, 33, 9, 3, 69 y 35 se tuvo un impacto aproximado del 5%.

En la tabla 3.5 consideramos fallados a cada uno de los sistemas de apagado de reacción (sistemas de nitrógeno y de vapor de agua) y a la combinación de éstos. Como se puede observar, el tener fallado uno, dos, o tres de los sistemas, aumenta de manera muy considerable la indisponibilidad del sistema y por ende su peligrosidad.

CAPITULO V

CONCLUSIONES
Y
RECOMENDACIONES.

5.1 Conclusiones:

De acuerdo a los resultados arrojados por la metodología de árboles de fallas, el sistema analizado para el evento tope "Reacción de post-combustión crítica en el reactor químico de la Unidad Petroquímica Tuia" es muy seguro, dado que la indisponibilidad del sistema a tres meses que es el tiempo de operación de la planta antes de un paro para mantenimiento, es muy baja. Esto también puede ser visualizado, si consideramos que para poderse dar la post-combustión crítica, tendrían que suceder por lo menos cuatro eventos de un mismo conjunto mínimo de corte.

Los sistemas de nitrógeno y vapor de agua para apagado de reacción, resultan vitales para el reactor desde el punto de vista de seguridad y confiabilidad, ya que como se puede observar en el análisis de sensibilidad, un cambio en sus tasas de falla, tiene gran repercusión en la indisponibilidad del sistema.

Acercos de la metodología de árboles de fallas podemos decir lo siguiente:

La metodología de árboles de fallas consta de dos tipos de análisis: el cualitativo y el cuantitativo.

Con el uso de la metodología se obtiene de manera gráfica el camino de fallas que originan al evento tope: ésta, únicamente involucra a aquellos eventos que contribuyen para que se de el evento no deseado, y

aún más, solo aquellos que el analista considere.

Mediante el uso del álgebra de Boole, se obtienen los conjuntos mínimos de corte (C.M.C.). El orden de los C.M.C., nos da de una manera cualitativa su importancia, aunque ésta no siempre corresponde al orden de importancia obtenido con el análisis cuantitativo. Además los C.M.C., son auxiliares en la verificación de criterios de diseño.

Una vez hecho el análisis cualitativo, se puede o no, efectuar el análisis cuantitativo. Este análisis consiste básicamente en tres puntos:

- 1.- Obtener indisponibilidades de los eventos y C.M.C., a un tiempo dado.
- 2.- Importancias de Fussell-Vesely de eventos básicos y C.M.C..
- 3.- Análisis de sensibilidad.

Tanto el análisis cualitativo como el cuantitativo, se puede hacer de forma manual, aunque para sistemas complejos el uso de programas de cómputo se hace necesario.

La metodología de árboles de fallas nos puede brindar información para la toma de decisiones, en lo que respecta a confiabilidad y seguridad de un sistema, aunque no es el único medio para obtener este tipo de información.

La aplicación de este tipo de análisis a un sistema, se justificará económicamente cuando la inversión en tiempo y costo sea menor a las consecuencias económicas que pueda originar la falla de dicho sistema.

Ningún proceso, aunque represente un beneficio económico, tendrá razón de existir, si éste representa un peligro para el hombre o su medio ambiente.

La metodología de árboles de fallas ha tenido su principal aplicación en:

- a) Sistemas eléctricos y electrónicos.
- b) Plantas nucleares.
- c) Procesos químicos.

Dentro de los problemas a que nos enfrentamos en la aplicación de la metodología se encuentran:

a) La metodología de árboles de fallas utiliza una lógica binaria, lo cual impide en ocasiones simular situaciones que se presentan en los procesos químicos.

b) Es difícil obtener información sobre razones de fallas para los eventos básicos. En nuestro caso, además de los libros especializados que contienen razones de fallas, recurrimos a los archivos de información referentes a los problemas que se han presentado en la Unidad Petroquímica Tuia.

La información obtenida de manuales y diagramas del proceso Sohio, fue cotejada con el personal de la planta, lo que nos permitió comprender mejor el sistema seleccionado, complementar y verificar el análisis.

5.2 Recomendaciones.

Si se quiere mantener o incrementar el nivel de seguridad y confiabilidad del reactor para la reacción de post-combustión crítica, se deberá concentrar los esfuerzos principalmente, en los sistemas de nitrógeno y de vapor de agua para apagado de reacción, sin descuidar los demás aspectos del proceso, dado que como se observa en el análisis de sensibilidad, un cambio en las tasas de falla de los eventos 109, 110 y 111, provoca una gran variación en la indisponibilidad total del sistema.

Es conveniente el utilizar las hojas de datos (Tabla 1.2 y 1.3) ya que permiten organizar mejor la información requerida para el análisis, además de que ayudan a comprender mejor el proceso.

Cotejar la información del proceso con el personal de la planta en estudio (si es que existe), enriquece el análisis en todos los sentidos, ya que no se debe separar la experiencia que se obtiene en una planta, con el conocimiento teórico que implica el conocer metodologías de confiabilidad y seguridad.

El estructurar un análisis por medio de modelos unitarios, evita el perderse en un mar de información.

El conocimiento de la metodología de árboles de fallas, así como el contar con un programa de cómputo implementado en una computadora personal que auxilie en el análisis cualitativo y cuantitativo, permitirá solucionar problemas en la misma planta de proceso.

La metodología de árboles de fallas aún se encuentra en evolución; existen todavía muchos problemas por resolver. ¿Cómo definir los límites de resolución del sistema para su análisis?. ¿Podremos mantener una descripción precisa del proceso, mientras éste es reparado o rediseñado?. ¿Son los datos de las propiedades físicas y químicas realistas para las condiciones a las que opera el proceso?. Es el procedimiento planteado para el análisis de árboles de fallas el mejor?. ¿Podremos predecir el comportamiento del ser humano en una situación específica de operación?. Todas estas, son preguntas serias y cada una de ellas requiere de un esfuerzo de investigación adicional.

Bibliografía

- 1.- Gary J. Powers and Frederick C. Tompkins Jr. "Fault Tree Synthesis For Chemical Processes." AIChE Journal Vol 20, 1974, pp 374-378.
- 2.- H. Ozog and A. D. Little "Hazard Identification, Analysis and Control." Chem. Engr. Vol 92, Feb 18, 1985, pp 161-170.
- 3.- Carl F. Kings and Dale F. Rudd "Design and Maintenance of Economically Failure-Tolerant Process." AIChE Journal Vol 18, 1972, pp 257-269.
- 4.- Kumamoto Hirumitsu "Reliability" Edit. Prentice Hall Inc. U.S.A., 1981.
- 5.- United States Nuclear Regulatory Commission "Fault Tree Handbook." NUREG-0492, Washington D. C., U.S.A..
- 6.- The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. (I.E.E.E.) "Guide to the Collection and Presentation of Electrical, Electronics and Sensing Component, Reliability Data for Nuclear-Power Generating Stations." The I.E.E.E. and Wiley Interscience, Adivision of John Wiley and Sons Inc., N.Y., U.S.A., 1977.
- 7.- United States Nuclear Regulatory Commission "An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants"

Apendix IV, 1975, WASH-1400, NUREG-75/014.

- 8.- Howard E. Lambert and George Yadigaroglu "Fault Trees for Diagnosis of System Fault Conditions." Nuclear Science and Engineering. 62,20-34 U.S.A., 1977.
- 9.- Charles O. Smith "Introduction to Reliability in Design." Robert E. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, U.S.A., 1983.
- 10.- Erwing Kreyszig "Introducción a la Estadística Matemática, Principios y Aplicaciones." Edit. Limuse. Mexico, D.F., 1983.
- 11.- E. del Valle G. y D. Meade M. "BONSAI: Un programa de cómputo para llevar a cabo análisis de árboles de fallas utilizando una computadora personal.", Por publicar, 1987.
- 12.- PEMEX, Gerencia Petroquímica. "Manual de Operación de la Planta Acrlonitrilo, Tula, Hidalgo, México." j-p2'-5.
- 13.- Fegaza Meiero G. "Acrlonitrilo, Aplicación de la Tecnología Actual para su Obtención en la Industria Petroquímica.". Tesis, Facultad de Química, U.N.A.M., México, 1977.
- 14.- María de J. Martínez G. "Metodología de Árboles de Falla, Aplicada al Análisis Probabilístico de Sistemas.", Tesis, Facultad de Ciencias, U.N.A.M., México, 1986.

- 15.- PEMEX, Gerencia Petroquímica " Reporte Mensual de Fallas de la Unidad Petroquímica Tula." 1980-1987.
- 16.- PEMEX "Reglas básicas de seguridad para el manejo de acrilonitrilo." Gerencia de Seguridad Industrial, Editorial Galache S.A., México, D.F. 1981, (Boletín de Seguridad Industrial No. 48.).
- 17.- PEMEX "Reglas básicas de seguridad para el manejo de amoníaco." Gerencia de Seguridad Industrial, Editorial Galache S.A., México, D.F. 1976, (Boletín de Seguridad Industrial No. 24).
- 18.- PEMEX "Reglas básicas de seguridad para el manejo de propileno." Gerencia de Seguridad Industrial, Editorial Galache S.A., México, D.F. 1975, (Boletín de Seguridad Industrial No. 74).
- 19.- PEMEX "Reglas básicas de seguridad para el manejo de ácido cianhídrico." Gerencia de Seguridad Industrial, Editorial Galache S.A., México, D.F. 1973, (Boletín de Seguridad Industrial No. 63).