



21. 4
Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

ESTUDIO DE FIABILIDAD EN UNA PLATAFORMA DE
COMPRESION DE LA SONDA DE CAMPECHE UTILIZANDO
EL ANALISIS DE ARBOL DE FALLAS.

T E S I S

Que para obtener el Título de
INGENIERO QUIMICO

p r e s e n t a n

Ámerica Campos Figueroa
Juan Agustín Dionisio García Herrera

Director de Tesis: IQ. RAFAEL GARCIA NAVA

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx.

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 DE CONTENIDO

I.- Introducción	1
II.- Generalidades	5
2.1 Importancia de un estudio de análisis de fiabilidad.	8
2.2 Clasificación de los métodos de análisis de fiabilidad	11
2.2.1a Método de diagrama de bloques por Paralelo Activo y Serie.	12
2.2.1b Método por Operaciones Secuen- ciales de Unidades.	21
2.2.1c Método de Descomposición	28
2.2.1d Método de la Gráfica Fluida Señalada.	39
2.2.1e Método de Conjunto de Corte	43
2.2.1f Métodos de Sistemas con Causa de Falla Común.	46
2.2.2 Métodos Complejos ó Reparables	48
2.2.2a Método de análisis de Arbol de Fallas	48
2.2.2b Método de Análisis Markov	50
2.2.2c Análisis de Arreglos Redundantes de Equipos.	61
2.2.2d Método de Análisis de Arbol de Eventos	63
III.- Descripción del Análisis de Arbol de Fallas	70
3.1 Análisis Cualitativo	77
3.2 Análisis Cuantitativo	84

IV.- Descripción de la Plataforma de Compresión	90
4.1 Bases de Diseño	91
4.2 Condiciones de Proceso	99
4.3 Descripción del Proceso	100
V.- Aplicación del Análisis de Arbol de Fallas	105
a la Plataforma de Compresión.	
5.1 Construcción del Arbol de Fallas	106
5.2 Evaluación	118
5.2.1 Análisis Cualitativo	118
5.2.2 Análisis Cuantitativo	123
5.2.3 Cálculo de la Probabilidad de Falla de	130
la Plataforma	
5.3 Análisis de Importancias	135
5.4 Alternativas de Mejoramiento de	141
la Plataforma de Compresión	
Conclusiones	144
Bibliografía	146

**Estudio de Fiabilidad en una Plataforma de
Compresión de la Sonda de Campeche Utilizando
el Análisis de Arbol de Fallas.**

INDICE GENERAL

- I.- Introducción**
 - II.- Generalidades**
 - III.- Descripción del Análisis del Arbol de Fallas**
 - IV.- Descripción de la Plataforma de Compresión**
 - V.- Aplicación del Análisis del Arbol de Fallas a la
Plataforma de Compresión.**
- Conclusiones**
- Bibliografía.**

CAPITULO 1
INTRODUCCION

Uno de los principales problemas de nuestra actual sociedad tecnológica es aumentar la seguridad y fiabilidad de las instalaciones para llevar a cabo - más grandes y complejos procesos petroquímicos y de refinación. Por esta razón, en los últimos 25 años se han aplicado diversas metodologías que ayudan - a los Ingenieros de diseño y operación a mejorar los procesos en cuanto se re - fiere a su disponibilidad y al riesgo que representan, sin embargo, cuando se - trata de analizar procesos demasiado complicados muy pocas de estas técnicas pueden ser aplicadas para modelar las complejas relaciones que entre sí guar - dan sus diferentes subsistemas.

Uno de los métodos más eficaces para el estudio de este tipo de proce -- sos en sus faces de diseño, construcción y operación es el Análisis de Arboles - de Fallas (AAF). Esta técnica no es únicamente útil para cuantificar la seguri - dad y fiabilidad del proceso, si no también entre otras aplicaciones, para la lo - calización de los puntos débiles, selección de inventarios óptimos de piezas de - respuesta, generación de estrategias de localización de fallas, localización de - sensores, establecimiento de políticas de inspección y mantenimiento que incre - menten la seguridad y disponibilidad del proceso.

En la actualidad, el 20% de la extracción petrolífera mundial procede de las regiones marítimas. Este porcentaje es más elevado aún en lo que se refiere al gas natural.

En México la explotación petrolera en el mar ha tenido gran desarrollo en los últimos años, debido a los yacimientos encontrados en la Sonda de Campeche, que constituye en la actualidad la principal fuente productora de Petróleo crudo y gas natural en nuestro país.

Por esta razón y debido a la alta relación de gas/aceite en el crudo (m^3/m^3), fue necesario contar con las plataformas de compresión, que tiene el fin de acondicionar y comprimir el gas para así enviarlo a la costa para su aprovechamiento, evitando así la quema del gas.

En este trabajo se muestra como el análisis de árboles de fallas y las metodologías aplicables para casos específicos (métodos simples ó completos) son de gran importancia para la Ingeniería Química. Ejemplificando el AAF en una plataforma de compresión de la Sonda de Campeche en base a un diseño preliminar.

Así como las modificaciones necesarias para el diseño de la misma plataforma que siendo de fácil implementación mejoran sustancialmente la fiabilidad de dicho sistema.

A continuación describimos la forma en como esta abordado este trabajo.

En el capítulo II mencionamos el porque es tan importante un estudio de fiabilidad, en cualquier proceso por simple ó complejo que este parezca en la Ingeniería Química. Así como la descripción de los diferentes métodos para llevar a cabo un Análisis de Fiabilidad, en los cuales también se definen los conceptos importantes como son; tiempo medio por fallas (TMPF), tasa de falla -- (λ), conjunto mínimo de corte (CMC) y evento tope.

El AAF es descrito en capítulo III, en donde primero se da una idea de lo que es este análisis, posteriormente describimos su simbología la cual es necesaria para la construcción del Arbol de Fallas (AF), y el desarrollo del análisis - cualitativo que son varios métodos posibles para este análisis, del cual se obtienen los conjuntos mínimos de corte que es la base para el análisis cuantitativo - y con este poder obtener índices de confiabilidad y su importancia probabilística, finalmente con esta información se toman decisiones para un mejoramiento de sistema.

En el capítulo IV decibimos el ejemplo que va a ser analizado por el Método Análisis de Arboles de Fallas, que consiste en las bases de diseño, condiciones de proceso, descripción del proceso, así como los diagramas de balace general de materia en la plataforma de compresión de gas amargo.

En el capítulo V aplicamos el AAF a la plataforma de compresión siguiendo la descripción del capítulo III y así llegamos a obtener las conclusiones de este trabajo.

CAPITULO II
GENERALIDADES

Cualquier proceso a lo largo de su vida está sujeto a fallas en sus equipos, por lo que el Ingeniero de Proceso debe tomar en cuenta este aspecto durante la fase de diseño.

La razón de tomar en cuenta las posibilidades de fallas en los equipos es principalmente para lograr diseños que permitan operar un proceso sin interrupciones.

Es frecuente suponer durante la fase inicial de diseño que todos los equipos son fiables 100% y solo hasta fases posteriores se toman en cuenta la posibilidad de falla. Una vez que se ha llegado a la etapa de diseño donde se admiten fallas.

La estrategia que se sigue normalmente es la de duplicar equipos críticos y proponer sistemas de alarma y paro que detecten situaciones anormales de operación. Sin embargo raras veces se hace un análisis cuantitativo que permita evaluar el efecto de duplicar equipos, el adquirir equipos más fiables y el efecto de diferentes políticas de reparación.

La crisis energética contemporánea ha contribuido en buena parte a ace

lerar las actividades de la explotación de los yacimientos petrolíferos en el mar, ésto se pone de manifiesto al observar el incremento anual de las inversiones para la construcción y operación de grandes instalaciones de perforación en el mundo.

2.1 IMPORTANCIA DE UN ESTUDIO DE ANÁLISIS DE FIABILIDAD

Se define el concepto de fiabilidad como la probabilidad de que un compo nente (o sistema) funcione sin fallas durante un tiempo t y bajo condiciones especificadas de operación.

A la mitad de la década de los 70's se desarrolla la importancia del análisis de fiabilidad, debido al espectacular incremento en las tecnologías de fuerza nuclear así como la del petróleo.

El análisis de fiabilidad está sujeto a un análisis de fiabilidad y disponi bilidad , por lo que se requiere considerar la probabilidad de que ocurra un accidente, consistente en un evento o una secuencia de eventos.

El evento es una completa destrucción, semejante a un accidente ocurri do bajo circunstancias conocidas. De cada uno de los eventos ocurridos se - conocerán los diferentes tipos de consecuencias. Por ejemplo, en un acciden- te de un vehículo de motor la consecuencia mayor implica la muerte, una gran variedad de daños, propiedades dañadas y otros posibles efectos.

Una frecuente medida de fiabilidad, es la frecuencia de un accidente y el daño medido en el número de vidas por peso perdido.

La importancia del Análisis de Fiabilidad radica en dos razones esenciales :

1.- Los Ingenieros tienen la obligación moral de designar la mayor seguridad del sistema (conociendo la probabilidad de que el sistema falle y minimizando las consecuencias de esa falla).

De la realización de un Análisis de Fiabilidad se obtiene suficiente información sobre el sistema y la probabilidad de la ocurrencia de un accidente para mitigar las consecuencias. Alternativamente, es de mayor posibilidad mostrar que la probabilidad de ocurrencia por falla humana es pequeña.

2.- Al realizar un Análisis de Fiabilidad para un sistema de Ingeniería, se obtiene información útil para una comparación de fiabilidades.

Un ejemplo son los riesgos en la competencia de tecnologías de carbón y fuerza nuclear para producir el mismo producto.

El análisis de fiabilidad en tecnologías competitivas es de mucha ayuda para influir en la selección de una fuente de energía a otras.

2.2 CLASIFICACION DE LOS METODOS DE ANALISIS DE FIABILIDAD

De acuerdo a los diversos sistemas, según las necesidades de seguridad y fiabilidad del diseño preliminar, existen dos tipos de metodologías para el análisis de dichos sistemas. Uno de ellos es el método Simple o no Reparable y los Métodos Complejos o Reparables.

<p>Simple ó Reparables</p>	<p>a) Método de diagrama de bloques por paralelo activo y serie. b) Método por operaciones secuenciales de unidades. c) Método de descomposición. d) Método de la gráfica fluida señalada. e) Método de conjunto de corte. f) Método de sistemas con causa de falla común.</p>
<p>Métodos</p>	
<p>Complejos ó Reparables</p>	<p>a) Método de análisis de árboles de falla (AAF). b) Método de análisis Markov (AM). c) Análisis de arreglos redundantes de equipos. d) Métodos de análisis de árboles de eventos (AAE).</p>

2.2.1.a Método de Diagrama de Bloques por Paralelo Activo y Serie

Considerando primero un sistema simple, consistente de dos unidades independientes. Esas funciones en Serie y en Paralelo Activo son mostradas en las figuras 2.1a y 2.1b, respectivamente. Las unidades son distinguidas por los subíndices 1 y 2.

De las unidades en serie, bloque 1 y 2, muestran las operaciones de la función del sistema. Las fiabilidades de cada una de las unidades, $R_1(t)$ y $R_2(t)$, son realmente probabilidades. De la regla del producto de probabilidades se conoce la fiabilidad del sistema $R_{sist.}(t)$ es :

$$R_{sist}(t) = R_1(t) \times R_2(t) \quad \dots (2.1)$$

De las dos unidades en Paralelo Activo, Núm. 2 muestran la operación de la función del Sistema, la fiabilidad del sistema $R_{sist}(t)$:

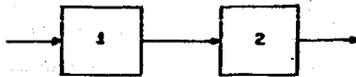
$$R_{sist}(t) = R_1(t) + R_2(t) - R_1(t) \times R_2(t) \quad \dots (2.2)$$

De la condición de falla al azar, se obtienen las siguientes ecuaciones :

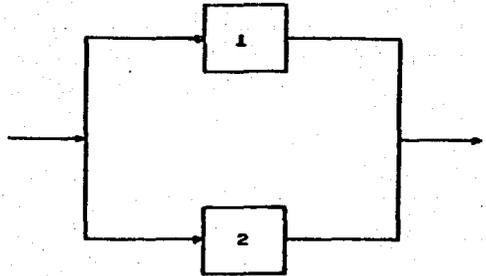
$$R_{\text{sist}}(t) = \exp. [(-\lambda_1 + \lambda_2) t] \dots\dots\dots (2.3)$$

$$R_{\text{sist}}(t) = \exp(-\lambda_1 t) + \exp(-\lambda_2 t) - \exp[-(\lambda_1 + \lambda_2)t] \dots(2.4)$$

donde λ = Tasa de Fallas.



a)



b)

Fig. 2.1 Diagrama de Bloques de Fiabilidad

a) Dos unidades en Serie.

b) Dos unidades en Paralelo

La fiabilidad de las dos unidades en Paralelo Activo es grande, por lo tanto es más fiable, que la de las dos unidades en Serie.

En la fig. 2.2 se muestran gráficas del Sistema fiabilidad contra dimensiones pequeñas de tiempo, las ecuaciones 2.3 y 2.4 indican que $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$ y de las ecuaciones 2.1 y 2.2 $\lambda_1 = \lambda_2 = Kt$.

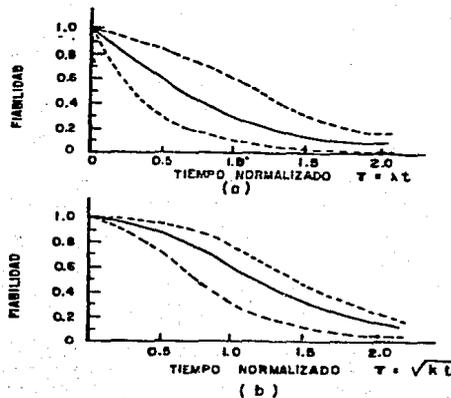


Fig. 2.2 Comparación de Sistemas de Fiabilidad en función de :
 a) Unidades de Tasa de Falla
 b) Unidades con incrementos lineales de Tasa de Falla .

Generalizando a sistemas de n unidades independientes, todos en serie, o en Paralelo Activo, la fiabilidad del sistema viene dado por :

$$R_{\text{sist}}(t) = \prod_{N=1}^N R(n)(t) \\ = \exp \left[- \int_0^t n(\tau) d\tau \right] \quad (\text{Serie}) \quad \dots (2.5)$$

$$1 - R_{\text{sist}} = \prod_{N=1}^N [1 - R_n(t)] \quad (\text{Paralelo-Activo}) \quad \dots (2.6)$$

Del desarrollo de las integrales de las ecuaciones 2.5 y 2.6 por el tiempo medio por fallas (TMPF), para unidades en sistemas en serie o en paralelo - activo, es simplificando con tal que todas las unidades sean abandonadas casualmente, en tal caso :

$$MTTF = (N \lambda)^{-1} (\text{Serie}) \quad \dots (2.7)$$

$$MTTF = \sum_{n=1}^N (n\lambda)^{-1} (\text{Paralelo Activo}) \quad \dots (2.8)$$

Por lo tanto :

$$\lambda (MTTF)_{\text{Serie}} = 1/N < \sum_{n=1}^N (1/N) = \lambda (MTTF)_{\text{Paralelo Activo}} \quad \dots (2.9)$$

Otra clase de sistemas simples en Paralelo Activo consistente de n unidades idénticas, cuando solo m unidades son necesarias para dirigir la función del sistema.

Esto es referido algunas veces como un sistema "M - fuera de-N" y es calculado con la teoría de probabilidad de Distribución Binomial. Para fiabilidad de cualquier unidad conocida como $R(t)$, entonces :

$$R_{\text{sist}}(t) = \sum_{n=m}^N \frac{N!}{n!(N-n)!} [R(t)]^n [1-R(t)]^{N-n} \quad \dots (2.10)$$

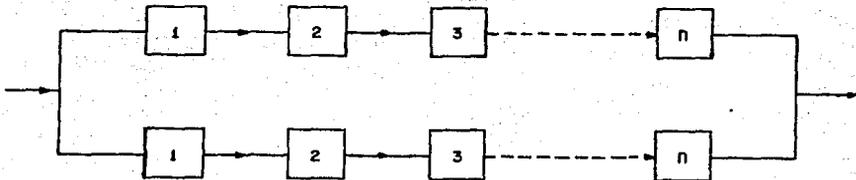
Como $m > 1$, $R_{sist}(\tau)$ en la ecuación 2-10 es, de ese modo menor que el correspondiente sistema Paralelo Activo representado por la ecuación 2.6, el cual es un sistema "1-Fuera -De -N", de tal manera que las unidades sean idénticas.

En los eventos en que las unidades idénticas, todas sean abandonadas - al azar, entonces el TMPF correspondientes a la ecuación 2.10 es :

$$\lambda(\text{TMPF}) = \sum_{n=m}^N (1/n) \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

Ejemplo : 2.1

Calcular la fiabilidad y el tiempo medio por fallas (TMPF) a un sistema 2n de unidades idénticas que operan con el siguiente diagrama de bloques de fiabilidad.



Cada unidad es idéntica y falla al azar con una Tasa de Falla λ constante de la ecuación 2.5, la fiabilidad del eslabón superior $R_u(t)$ en el diagrama de bloques es $[R(t)]^n$, y similarmente para el eslabon inferior, así la fiabilidad del sistema es obtenida por la ecuación (2.2) como :

$$\begin{aligned} R_{sist}(t) &= [R(t)]^n + [R(t)]^n - [R(t)]^{2n} \\ &= e^{-n\lambda t} (2 - e^{-n\lambda t}) \end{aligned}$$

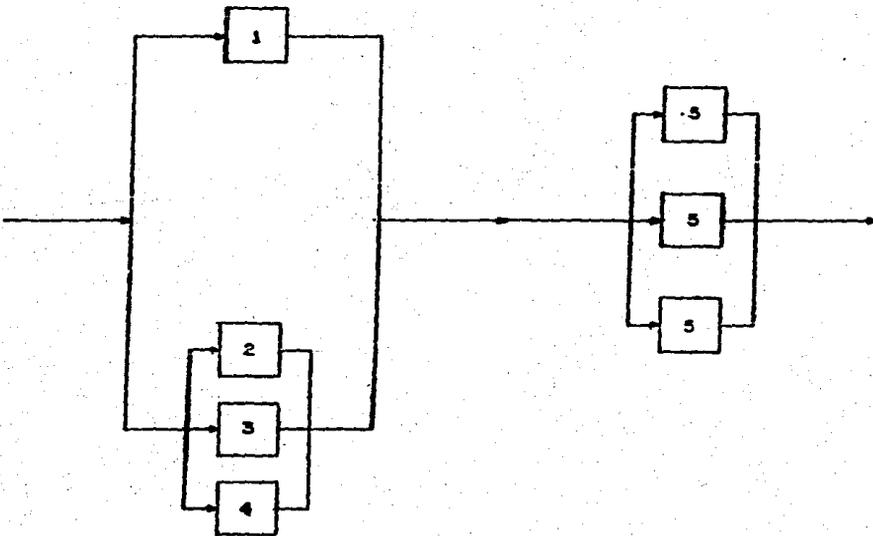
El TMPF es :

$$\begin{aligned} \text{TMPF} &= \int_0^{100} R_{sist}(t) dt \\ &= (3/2) (n\lambda)^{-1} \end{aligned}$$

Cuando $2n = N$ esto es que el TMPF es tres veces mayor para la ecuación (2.9) y menor que para la ecuación (2.10) cuando $N < 2$.

Ejemplo 2.2

Un sistema consistente de 7 unidades conectadas, mostradas en el siguiente diagrama de bloques de fiabilidad, las unidades 1 a 4 son todas diferentes -- (con 2, 3 y 4 en Paralelo Activo) y 3 unidades idénticas, el tipo 5 esta constituido de un sistema "2- fuera - De 3". Si R_i , donde $i= 1$ a 5, denotando la fiabilidad de cada unidad como una función de tiempo. ¿ Calcule la fiabilidad del sistema ?



Las unidades 2, 3 y 4 pueden ser reemplazadas por una unidad equivalente teniendo fiabilidad R_{234} .

$$R_{234} = R_2 + R_3 + R_4 - R_2 R_3 - R_2 R_4 - R_3 R_4 + R_2 R_3 R_4$$

Las unidades R_1 y R_{234} pueden ser combinadas para dar una unidad equivalente, teniendo una fiabilidad R_{1234} .

$$R_{1234} = R_1 + R_{234} - R_1 R_{234}$$

El subsistema 2- Fuera -De -3, puede ser reemplazado por una unidad equivalente teniendo una fiabilidad denotada por $R(55)_5$ calculada de la ecuación 2.10 como :

$$R(55)_5 = 3R_5^2 (1 - R_5) + R_5^3$$

Finalmente la fiabilidad del sistema R_{sist} es :

$$R_{sist} = R_{1234} R(55)_5$$

2.2.1.b Método por Operaciones Secuenciales de Unidades

Otra clase de sistemas simples en paralelo, son aquellos sistemas en secuencia de operaciones, semejante a un camino dentro del único sistema, o a una unidad dentro de una operación en un tiempo.

Dentro del orden de minimizar la complejidad de las ecuaciones, deseando únicamente considerar dos unidades independientes. Una opción es aquella asistencia obtenida inicialmente de la segunda unidad, y la manera de asistir la operación es deseando abandonarla, además la interrupción desde la unidad 1 a la unidad 2 es deseando asumir instantáneamente y no subjetivamente una falla. Es representado el sistema por medio de la siguiente figura.

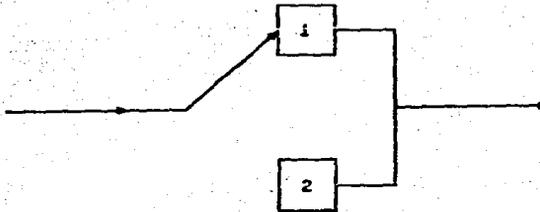


Fig. 2.3 Diagrama de Bloques de Fiabilidad para dos Unidades con la Unidad 2 atendida dentro.

La fiabilidad del sistema es posible calcularla dentro de cualquiera de los dos caminos o modos :

Uno es una aproximación de la probabilidad de densidad de falla $F_{12}(t)$ obtenida del Modelo de Distribución Binomial, y así la fiabilidad del sistema es calculada como :

$$R_{\text{sist}}(t) = \int_t^{\infty} F_{12}(t') dt' \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

El segundo camino o modo, de eventos complicados aproximados, se puede obtener la fiabilidad del sistema como :

$$R_{\text{sist}}(t) = R_1(t) + \int_0^t F_1(t') R_2(t - t') dt' \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

En la ecuación anterior el primer término del lado derecho de la igualdad, es la fiabilidad de la primera unidad. En el segundo término el tiempo - de cuenta es la fiabilidad de la segunda unidad.

Comprendiendo porque aparece así de complicado el segundo término de la igualdad es necesario recordar, exactamente cuando la primera unidad con cida, no se deseaba abandonar. Por lo tanto, debe tomarse en cuenta toda posible falla; por lo general integrando el tiempo t' entre 0 y t .

Tampoco es necesaria la segunda unidad hasta que sea abandonada la primera unidad con probabilidad $f_1(t') dt'$.

Necesariamente la segunda unidad opera en la dirección del tiempo de falla únicamente desde t hasta t' , así la fiabilidad por lo general es conocida por la segunda unidad $R_2(t-t')$.

Para fallas casuales las ecuaciones (2.12) y (2.13) será:

$$R_{sist}(t) = \exp(-\lambda_1 t) + \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} [\exp(-\lambda_2 t) - \exp(-\lambda_1 t)] \quad \dots\dots (2.14)$$

En el caso especial de la ecuación anterior cuando $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$ es:

$$R_{sist}(t) = e^{-\lambda t} (1 + \lambda t) \quad \dots\dots (2.15)$$

Y continuando en la ecuación (2.14) con el uso de series de aproximación $\exp[(\lambda_2 - \lambda_1)t] = 1 + (\lambda_2 - \lambda_1)t$, siguiendo por lo general un procedimiento limitado. El segundo término de la ecuación (2.15) es acumulativo de Distribución de Poisson.

La ecuación (2.12) no es aplicable para la unidad 2, que es posible abandonar en un tiempo, solamente la ecuación (2.13) puede ser generalizada. Para la fiabilidad estas unidades el símbolo $R_2^*(t)$, y el valor de tasa de falla $\lambda_2^*(t)$ son usados en el camino o nodo desde el diferente $\lambda_2(t)$ de la operación activa o, de otra manera la unidad puede ser considerada una operación en Paralelo-Activo.

Con tal que interrumpiendo preferentemente desde la unidad número 1 número 2 asumiendo fijamente, entonces la fiabilidad del sistemas es :

$$R_{sis}(t) = R_1(t) + \int_0^t F_1(t') R_2^*(t') R_2(t-t') dt' \quad \dots(2.16)$$

De ese modo, aquí el segundo término de lado derecho de la igualdad informa sobre el contenido del factor de fiabilidad $R_2^*(t')$. Por consiguiente la interrupción del caso solamente es instantáneo con una fiabilidad conocida, por lo general con la constante R_{sw} que es multiplicada por el segundo término.

La generalización de la ecuación (2.13) para el caso de tres unidades --

independientes operando en secuencia con interrupción perfecta es :

$$R_{sist}(t) = R_1(t) + \int_0^t f_1(t') R_2^*(t-t') R_2(t-t') dt' + \int_0^t f_{12}(t') R_3^*(t-t') R_3(t-t') dt' \quad \dots\dots\dots (2.17)$$

donde $f_{12}(t) = \frac{dR_{12}(t)}{dt}$ y $R_{12}(t)$ es la suma de los primeros dos términos de esta ecuación.

Generalizaciones de las últimas ecuaciones pueden derivar de la misma manera .

La ecuación (2.16) por falla casual de ambas unidades, cuando la segunda unidad es atendida es :

$$R_{sist}(t) = \exp(-\lambda t) + \frac{\lambda}{\lambda_1 + \lambda_2^* - \lambda_2} \left\{ \exp(-\lambda_2 t) - \exp[-(\lambda_1 + \lambda_2^*)t] \right\} \quad \text{Ecuación (2.18)}$$

Para el caso especial cuando $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$, la ecuación (2.18) es reducida a :

$$R_{sist}(t) = e^{-\lambda t} \left[1 + \lambda / \lambda^* (1 - e^{-\lambda^* t}) \right] \quad \dots\dots\dots (2.19)$$

El propósito de atender unidades es para aumentar la fiabilidad y TMPF obtenido por encima y teniendo por fuera las unidades. Por ejemplo N unidades sean idénticas e independientes, inicialmente con un operador y la restante ser atendida, operando secuencialmente y sabiendo que cuando son atendidas no hay fallas o con el mecanismo de interrupción entonces :

$$\lambda \text{ (TMPF)} = N \quad \dots \text{ (2.20)}$$

Comparando la ecuación (2.20) con los resultados obtenidos en las ecuaciones (2.9) y (2.11), demuestran la efectividad de las atenciones a las unidades con respecto al TMPF.

Ejemplo 2.3

El bombeo de un reactor anticogelante tiene un bombeo idéntico en Standby que puede operar sucesivamente por medio de una válvula el 99% del tiempo.

La fiabilidad del bombeo cuando opera por un año es 0.8 y en Standby por un tiempo de 2 años es de 0.95 ¿Cuál es la fiabilidad del bombeo por un tiempo de 6 meses ?

Modificando la ecuación (2.19) que explica la fiabilidad inicial de $R_{inicial} = 0.99$

$$R_{sist}(t) = e^{-\lambda t} \left[1 + R_{inicial} \frac{\lambda}{\lambda^*} (1 - e^{-\lambda^* t}) \right]$$

No conociendo otra información, se asumen fallas al azar y calculando la tasa de falla λ , de cualquier bombeo en operación.

$$\lambda = \frac{-\ln R(t)}{t} = \frac{-\ln(0.8)}{1 \text{ año}} = 0.233/\text{año}$$

Similarmente en Standby la tasa de falla es:

$$\lambda^* = \frac{-\ln R^*(t)}{t} = \frac{-\ln 0.95}{2 \text{ años}} = 0.0256/\text{año}$$

Sustituyendo de aquí los resultados en la ecuación anterior para $t = 0.5$ años.

$R_{sist}(0.5 \text{ años}) = 0.993$, cuando excede la fiabilidad para un sistema de un simple bombeo para el factor de 1.11.

2.3.1.c Método de Descomposición

La fiabilidad de algunos sistemas es por lo general improvisada, como componentes conectados en un camino siendo ellos más que un subsistema.

Por ejemplo, considerando un sistema A mostrado en la fig. 2.4 en el cual todos los componentes actúan independientemente y obteniendo una fiabilidad- R_i .

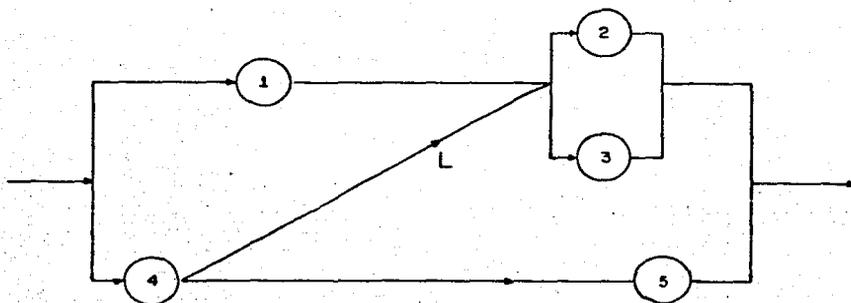


Fig. 2.4 Diagrama de Bloques de Fiabilidad para el Sistema A por Enlace-Cruz.

Las dos ramas son conectadas por lo general en enlace L obtenido semejante a un camino señalado desde una energía absorbida a una producción total, algunas posibilidades de largo flujo de las trayectorias de los componentes conectados 1-2, 1-3, 4-2, 4-3 ó 4-5.

Obteniendo el enlace L de la fig. 2-4, la fiabilidad del sistema puede ser obtenida por lo general considerando primero la trayectoria superior de los componentes conectados 1-2 y 1-3. Usando la ecuación (2.4), para tratar en paralelo las unidades 2 y 3, siendo usada por lo general la ecuación (2.1) para tratar una unidad en serie obtenida de una combinación, conociendo la fiabilidad de la parte superior como :

$$R_{sup} = R_1 (R_2 + R_3 + R_2 R_3)$$

La fiabilidad de la trayectoria continúa de los componentes 4 y 5 es $R_4 R_5$, así la fiabilidad del sistema R_{sist} es obtenida por R_{sup} y $R_4 R_5$ en paralelo. El resultado del sistema A más allá del Enlace-Cruz L es :

$$R_{sist} = R_4 R_5 + R_1 (R_2 + R_3 + R_2 R_3) (1 - R_4 R_5) \quad \dots (2.21)$$

Con tal que los componentes son completamente idénticos con $R_i = e^{-\lambda t}$. Entonces la última ecuación conocida es :

$$R_{sist} (t) = 3e^{-2\lambda t} - e^{-3\lambda t} - 2e^{-4\lambda t} + e^{-5\lambda t} \quad \dots (2.22)$$

Y la integración producida completamente por encima del tiempo es :

$$T_{MPF} = 13/15 \quad \dots (2.23)$$

En donde el enlace L' de la fig. 2.4 esta presente.

Las ecuaciones 2.21, 2.22 y 2.23 son menos válidas. Entonces la posibilidad analizada de la fiabilidad del sistema por lo general para el método de descomposición es más que la aplicación sucesiva de un teorema de probabilidad condicional. Estos métodos se basan sobre la selección de un componente clave "K" , en una o en la otra del Enlace-Cruz.

La ecuación de descomposición es :

$$R_{sist} = R \cdot K (Sist/K) + R \bar{K} - R (Sist/R) \quad \dots (2.24)$$

Donde K "denota que el valor de K es abandonada", siendo $\bar{K} = 1 - R \cdot K$

Por la fig. 2.4, se supone que el componente K puede ser el componente 4. Entonces $R(sist/K)$ es calculado por la combinación en paralelo de los componentes 2, 3 y 5 de tal manera que puede ser siempre señalado un componente como un camino de paso 1.

La fiabilidad $R(sist/4)$ es R_u desde el Enlace-Cruz L' cuando no esta presente, así la ecuación de descomposición conocida, de la fiabilidad del sistema es :

$$R_{sist} = R_4 [1 - (1 - R_2)(1 - R_3)(1 - R_5)] + (1 - R_4) [R_1(R_2 + R_3 - R_2R_3)] \dots (2.25)$$

En el caso de que todos los componentes sean idénticos con un valor de tasa de falla constante, entonces de estos resultados se obtiene :

$$R_{sist}(t) = 5e^{-2\lambda t} - 6e^{-3\lambda t} + 2e^{-4\lambda t} \dots (2.26)$$

Y la integral por encima del tiempo conocido :

$$TM_{PF} = 1/\lambda \dots (2.27)$$

El mejoramiento de la fiabilidad debido al enlace-cruz L es ilustrado convenientemente por lo general comparando las ecuaciones (2.23) y (2.27).

Ahora seleccionado el componente 3 en el sistema A para ser el componente clave K entonces :

$$R(sist/3) = R_1 + R_4 - R_1R_4$$

Entonces los componentes 2 y 5 pueden ser siempre camino de paso. Una complicación surge en el análisis, porque puede ser que el componente 3 no sea función debida; el diagrama de bloques de fiabilidad de la fig. 2.5, al ser analizado el sistema, aplicando el método de descomposición un segundo tiempo a calcular es :

$$R(Sist/\bar{3}).$$

Por ejemplo si es seleccionado el componente 2, como el segundo componente clave, se evalua de la siguiente forma:

$$R_{sist} = R_3 R (Sist/3) + R_3 \bar{R} [R_2 R (Sist/\bar{2}3) + R_2 \bar{R} (Sist/\bar{2}\bar{3})] \dots (2.28)$$

Cuando el componente 2 trabaja y el componente 5 puede ser un camino de paso así:

$$R(sist/2\bar{3}) = R_1 + R_4 - R_1 R_4$$

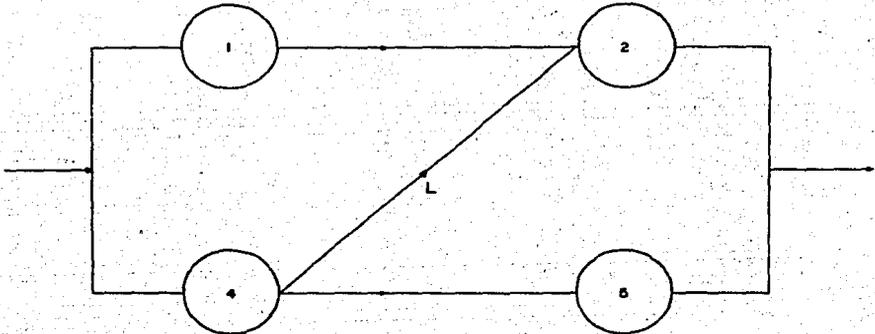


Fig. 2.5 Diagrama de bloques de Fiabilidad del sistema A por Enlace-Cruz con el componente 3 abandonado.

De momento $R(\text{sist}/23) = R4R5$, con la substitución de estos resultados -- en la ecuación (2.28) reproduce la ecuación (2.25).

Estos ejemplos ilustrados por el Método de Descomposición para el sistema A, la respuesta final para la fiabilidad no dependen sobre cual componente al final de un enlace es seleccionado, como el componente clave. También de ese modo al mostrar generalmente un componente clave es posible además usarlos de diferente manera fácilmente mostrando que el Método de Descomposición puede ser aplicado repetidas veces. De ese modo es importante el punto final del Enlace-Cruz obtenido del diagrama de bloques de fiabilidad para conducir el mecanismo al rededor de las funciones del sistema. Por ejemplo en la figura 2.4 el enlace L será conectado en paralelo entre el componente 4 y las unidades 2 y 3. Ahora considerando el diferente sistema B, conectado en el Enlace-Cruz L en el cual se disminuyo la rama superior como se muestra en la figura 2.6.

En el sistema B es más fácil empezar en el componente 3, como el componente clave. Entonces $R(\text{sist}/3)$ es calculada por la combinación en paralelo de los componentes 1 y 4, entonces el componente 5 puede ser camino de paso, en el tiempo $R(\text{sist}/3)$ por la combinación el paralelo de los componentes 1 y 2 obtenidos en serie y los componentes 4 y 5 obtenidos en serie, por lo tanto la fiabilidad del sistema B es :

$$R_{\text{sist}} = R3(R1+R4-R1R4) + (1-R3)(R1R2+R4R5-R1R2R4R5) \quad \dots(2.29)$$

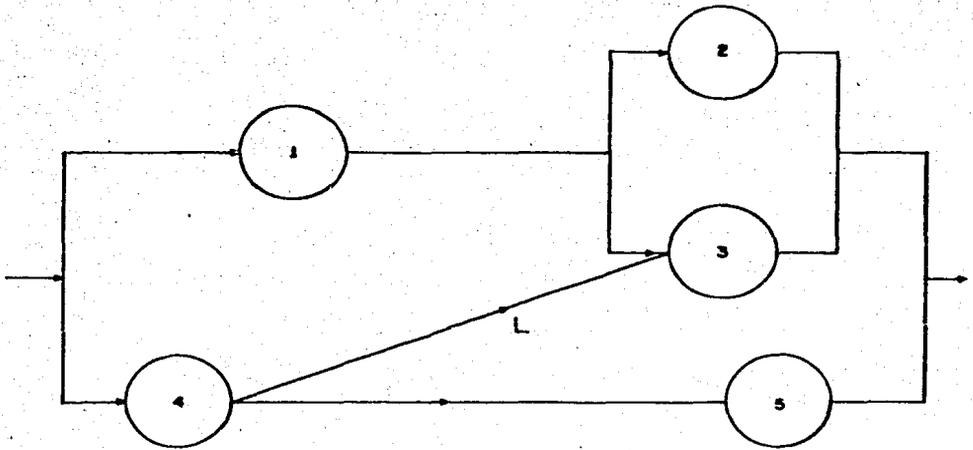


Fig. 2.6 Diagrama de Bloques de Fiabilidad del sistema B por Enlace-Cruz.

En el caso de que todos los componentes obtenidos sean idénticos con un valor de tasa de falla constante , entonces estos resultados nos llevan a :

$$R_{sist}(t) = 4e^{-2\lambda t} - 3e^{-3\lambda t} - e^{-4\lambda t} + e^{-5\lambda t} \quad \dots(2.30)$$

Y la integral para todo tiempo es :

$$TMPF = 19/20 \lambda \quad \dots (2.31)$$

Considerando al sistema C mostrado en la figura 2.7 iniciando en el com-

ponente 4 como componente clave, el resultado, por $R(\text{sist}/4)$ es exactamente aquel de la combinación en paralelo de los componentes 2, 3 y 5 ahora solamente $R(\text{sist}/\bar{4})$ tiene que ser calculada por lo general seleccionando un segundo componente clave, con el uso de la siguiente ecuación :

$$R(\text{sist}/\bar{4}) = R1R(\text{sist}/1\bar{4}) + R\bar{1}R(\text{sist}/\bar{1}\bar{4})$$

Con las observaciones de que $R(\text{sist}/1\bar{4})=0$ y $R(\text{sist}/\bar{1}\bar{4}) = R(\text{sist}/4)$, de ese modo la fiabilidad del sistema C es :

$$R_{\text{sist}} = (R1 + R4 - R1R4) [1 - (1-R2)(1-R3)(1-R5)] \quad \dots (2.32)$$

En el caso obtenido de este modo, todos los componentes son idénticos con una tasa de falla constante λ , estos resultados nos conducen a :

$$R_{\text{sist}}(t) = 6e^{-2\lambda t} - 9e^{-3\lambda t} + 5e^{-4\lambda t} - e^{-5\lambda t} \quad \dots (2.33)$$

Y la integral para todo tiempo es :

$$TMPF = 21/20 \lambda \quad \dots (2.34)$$

Por lo tanto la fiabilidad del sistema C es un poco mayor que la del sistema A.

De ningún modo el valor del sistema C puede ser analizado por fuera del Método de Descomposición usado, entonces el Enlace-Cruz de la figura 2.7 puede ser reducido a un punto simple. El sistema C es tratado como una serie de combinaciones de los componentes 1 y 4 obtenidos en paralelo y los componentes 2, 3 y 5 en paralelo. Por lo tanto el ejemplo del sistema C ilustra de ese modo el análisis simple por fuera del Método de Descomposición. Cualquier sistema conteniendo más de un Enlace-Cruz, puede ser analizado por lo general - usando una ecuación sucesiva de descomposición (2.24) .

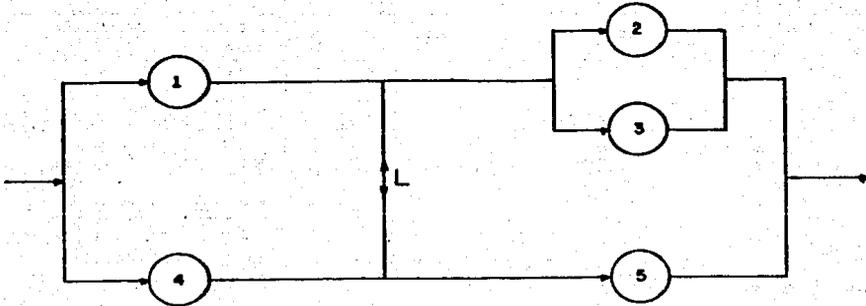
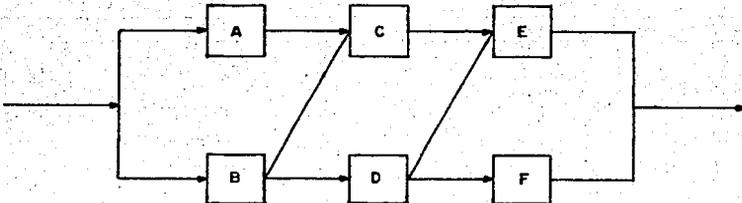


Fig. 2.7 Diagrama de Bloques de Fiabilidad por Enlace-Cruz para el sistema C.

Ejemplo 2.4

Un sistema consiste de 6 unidades idénticas con tasa de falla constante que están conectadas y son mostradas en el siguiente Diagrama de Bloques - de Fiabilidad.



¿Calcule la fiabilidad del sistema y TMPF ?

Si el componente B es seleccionado como el primer componente clave entonces $R(\text{sist}/B) = R_A R_C R_E$, pero $R(\text{sist}/B)$ puede ser calculado por medio de un segundo componente clave como D, entonces :

$$R(\text{sist}/DB) = R_E + R_F - R_E R_F \text{ y } R(\text{sist}/\bar{D}B) = R_C R_E$$

$$R_{\text{sist}} = R_B R_D (R_E + R_F - R_E R_F + R_B(1 - R_D) R_C R_E) + (1 - R_B) R_A R_C R_E$$

sustituyendo $e^{-\lambda t}$

$$R_{\text{sist}} = 4e^{-3\lambda t} - 3e^{-4\lambda t}$$

Integrando para todo tiempo :

$$\text{TMPF} = 7/12 \lambda$$

2.2.1.d Método de la Gráfica Fluida señalada

La técnica de la gráfica fluida señalada es misma, no es capaz de proporcionar más información que el procedimiento de aquellas técnicas usadas similarmente en las partes 2.1a y 2.2.1b.

De cualquier modo el uso de gráficas tiene la misma analogía a las teorías de circuito encontradas en otras disciplinas de la Ingeniería, y por tal razón la misma fiabilidad se prefiere analizar por sistemas simples.

El análisis de un sistema por el Método de la Gráfica Fluida señalada -- consiste de nodos X_1, X_e, \dots, X_n y una colección de junturas de ramas de nodos.

Se representan aquí dos nodos que son la energía absorbida y la producida de un componente i ; una división entre los dos nodos representan el componente y teniendo una dirección indicada en el seguimiento señalado.

El peso de la división, A_i , representa el evento de transmitir un componente i señalado continuo.

Un camino es una secuencia de ramas obtenidas con la producción de un nodo que de una división es la energía absorbida del nodo de la siguiente división, mostrada en la siguiente figura.

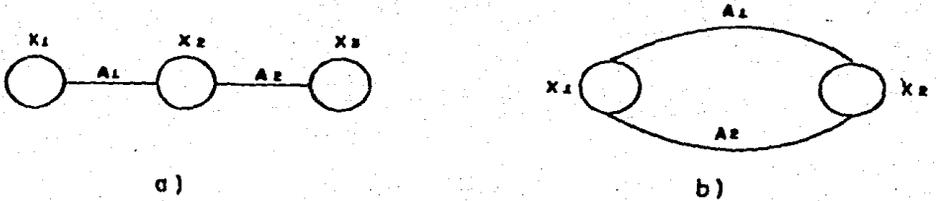


Fig. 2.8 Gráfica Fluida Señalada para (a) dos unidades en serie, (b) dos unidades en Paralelo-Activo.

La gráfica fluida señalada puede ser considerada para ser análoga a los diagramas de bloques de fiabilidad.

Por ejemplo, la gráfica fluida señalada de la figura 2.8a corresponde al diagrama de bloques de la figura 2.1a, así como la figura 2.8b corresponden a la figura 2.1b; la línea entre los nodos X_1 y X_2 clasificados con A_1 , indican los eventos para transmitir una señal desde X_1 a X_3 .

$$P(X_3 - X_1) = P(A_1 A_2) = R_1 R_2$$

Por lo general reponiendo la trayectoria entre los dos nodos X_1 y X_3 , - para una simple dirección igual a la operación "Y" (AND) de ambas ramas - obtenidas en la trayectoria. Esta ecuación es el análogo directo de la ecuación 2.1 y puede ser expresada como en la ecuación 2.5 para el caso de sistemas de más de dos componentes.

La fiabilidad de dos unidades en Paralelo-Activo es escrita en la notación de la figura 2.8 b como :

$$P(X2/X1) = P(A1 + A2) = R1 + R2 - R1R2 \quad \dots (2.35)$$

y correspondiente a la operación "O" (OR) de ambas ramas entre X1 y X2. Esta ecuación es un apoyo a la ecuación (2.2).

Ejemplo 2.5

Obtener la fiabilidad del sistema mostrado en la siguiente gráfica fluida señalada.

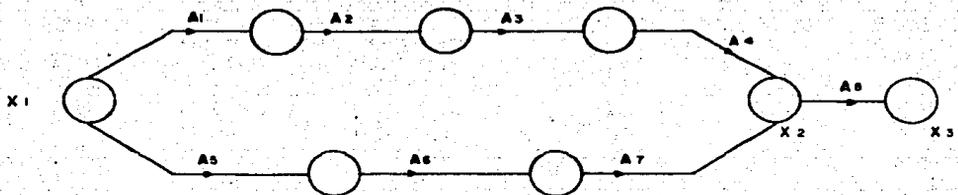


Fig. 2.8a

El primer paso es el uso de la ecuación "Y" obteniendo la siguiente gráfica de flujo reducido.

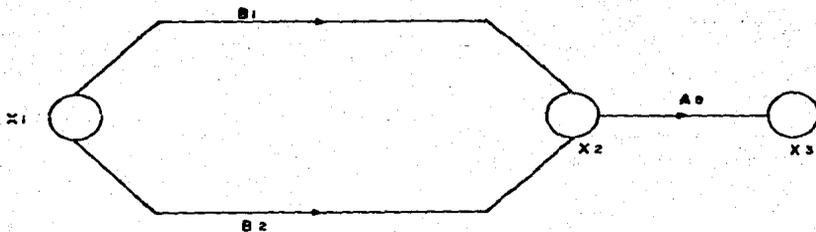


Fig. 2.8 b

Aquí la regla del producto es $B1 = A1 A2 A3 A4$ y $B2 = A5 A6 A7$.

Cuando la operación "O" es un evento del subsistema es $(B1+B2)$ y finalmente la operación "Y" será :

$$X3/X1 = A8 (B1 + B2)$$

La probabilidad de transmisión de X1 a X3 es :

$$\begin{aligned} \bar{P}(X3/X1) &= P [A8 (A1 A2 A3 A4 + A5 A6 A7)] \\ &= R8 [1 - (1 - R1 R2 R3 R4) (1 - R5 R6 R7)] \end{aligned}$$

2.2.1.e Método de Conjunto de Corte.

Un conjunto de corte de un sistema, es definido como un grupo de eventos de un sistema de manera que si todos ellos ocurren, causa falla en el sistema. Aunque el concepto de conjunto de corte es general, un conjunto semejante -- puede ser ilustrado de alguna manera por una gráfica fluida señalada, entonces -- un conjunto de corte es algun corte de ese conjunto servidor de toda rama entre la energía absorbida y producida de los nodos. Un conjunto mínimo de corte de un sistema es un conjunto de corte de eventos de un sistema, de ese modo no son un subconjunto de los eventos de algun otro conjunto de corte. Un camino diferente es remover algun evento de un conjunto mínimo de corte el cual puede no ser un grupo de corte idéntico del sistema.

Ejemplo 2.6

Como un ejemplo de conjunto mínimo de corte consideremos la siguiente -- gráfica fluida señalada

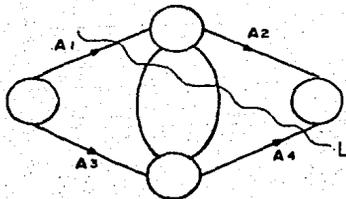


Fig. 2.9

Un Conjunto de Corte C_1 el cual corresponde a la línea ondulante L en la figura 2.9, es el evento $A_1A_5A_6A_4$.

Otros conjuntos de corte denotados por lo general C_n ; $n = 2, 3$ etc. son :

$$\begin{array}{lll} C_2 = A_1A_3 & C_3 = A_2A_4 & C_6 = A_3A_5A_6A_2 \\ C_4 = A_1A_5A_3 & C_5 = A_2A_6A_4 & \text{etc.} \\ C_7 = A_1A_5A_4 & C_8 = A_3A_6A_2 & \end{array}$$

Los conjuntos de corte posibles son obtenidos por lo general cortando la gráfica desde una cima hasta el cimiento (con tal que la energía absorbida y la producida de los nodos sea horizontal).

Los conjuntos de corte C_4 y C_5 no son conjuntos mínimos de corte porque los conjuntos C_2 y C_3 son subconjuntos de C_4 y C_5 respectivamente.

El conjunto de corte C_1 no es mínimo porque el componente A_6 no puede operar.

De manera que A_1 y A_5 no se realizan; similarmente C_6 no es un conjunto mínimo de corte. Los conjuntos de corte C_7 y C_8 son mínimos de cualquier nodo como fuente C_2 y C_5 .

Consideremos un sistema general para el cual todo conjunto mínimo de corte sean denotados por lo general C_n ; $n = 1 \dots n$.

La probabilidad de falla del sistema F_{sist} puede ser escrita como :

$$F_{sist} = P(C_1 + C_2 + \dots + C_n) \quad \dots (2.36)$$

Entonces una falla de los componentes en cualquier conjunto mínimo de corte deseado ser dirigido para falla del sistema. La F_{sist} puede ser determinada -- por lo general usando la ecuación :

$$F_{sist} \leq \sum_{n=1}^N P(C_n) \quad \dots (2.37)$$

Así el determinado inferior de la fiabilidad del sistema R_{sist} es :

$$R_{sist} = 1 - F_{sist} \geq 1 - \sum_{n=1}^N P(C_n) \quad \dots (2.38)$$

Igualmente conociendo el determinado superior de R_{sist} como :

$$R_{sist} \leq 1 - \sum_{n=1}^N P(C_n) + \sum_{n=1}^{N-1} \sum_{m=n+1}^N P(C_n C_m) \quad \dots (2.39)$$

Para evaluar la probabilidad del sistema F_{sist} definido en la ecuación -- (2.36) primero es necesario reducir a $(C_1 + C_2 + \dots + C_n)$ a todos los eventos complicados R_i , esto puede ser hecho con las reglas del algebra de Bool que es el algebra para eventos .

Una lista general de reglas para algebra booleana aparece en la tabla 3.1

2.2.1.f Métodos de Sistemas con Causa de Falla Común.

El potencial causa común o el modo común de fallas es de mayor interés para el análisis de fiabilidad. Aquí únicamente se ve el posible análisis de los métodos de aproximación incorporados a unas ciertas clases de potencial- causa común de fallas dentro de un análisis de fiabilidad. De tal manera que pueden ser asumidos aquellos componentes de un sistema cuando, dejando subjetivamente a un evento impuesto a un choque, aún choque fatal, y de ese modo la ocurrencia de los choques es gobernada por lo general por el proceso -- Poissón; en la siguiente ecuación :

$$P_c(r,t) = \frac{e^{-\lambda_{ct}} (\lambda_{ct})^r}{r!} \quad \dots (2.40)$$

Donde $P_c(r,t)$ es aquella probabilidad exacta de r choques, en el tipo- de causa común ocurrida en el intervalo $(0,t)$.

El efecto del mismo potencial común de fallas puede ser estudiada cualitativamente en un mínimo común, por lo general asumiendo todos aquellos - componentes que pueden ser simultaneamente destruidos con un simple choque de un modo común tipo ($S_{or}=1$), entonces la probabilidad de falla de un sistema debido a una causa común de falla es gobernado por lo general por la distribución exponencial, y la fiabilidad de el sistema semejante contra fallas, -- $R_c(t)$ es :

$$R_c(t) = e^{-\lambda_c t} \quad \dots (2.41)$$

La fiabilidad del sistema completo $R_{sist}(t)$ es entonces :

$$R_{sist}(t) = e^{-\lambda_c t} R_{sist_c}(t) \quad \dots (2.42)$$

De tal manera que $R_{sist_c}(t)$ denota la fiabilidad del sistema no con causas comunes de falla.

La principal conclusión de la ecuación (2.42) es aquella causa común de falla que causa un decrecimiento en la fiabilidad dentro del sistema.

En el caso especial de un sistema en serie de N unidades, por ejemplo λ_c debe satisfacer la ecuación $\lambda_c \ll N\lambda$ en el orden de la contribución donde la causa común de fallas pasa a ser insignificante.

Las relaciones similares son disponibles por los sistemas M-fuera-De-N. Del tal modo se deduce que la ecuación (2.42) sea válida, los valores de tasas de falla del sistema de vida a causas comunes de falla, λ_c , debe ser estimado. Estas determinaciones deben ser hechas, por lo general usando cualquier dato posible normalmente debe ser estimado con un buen juicio Ingenieril.

2.2.2 Métodos Complejos o Reparables.

En estas metodologías los dos estados posibles son : "operando y reparando".

Es necesario tomar en cuenta el frecuente período de mantenimiento y los tiempos de reparación para todos los subsistemas, para lograr una mayor disponibilidad del sistema. Estas metodologías son las siguientes :

2.2.2.a Método de Análisis de Arbol de Fallas (AAF).

El Análisis de Arbol de Fallas (AAF) fue inicialmente desarrollado en 1961 por la Compañía Bell Telephone Laboratories en conexión con los programas espacial y militar norteamericanos. Posteriormente la Compañía Boeing continuó con dichos estudios, elaborandose los primeros programas de cómputo para el Análisis Cuantitativo de la fiabilidad y seguridad de procesos complejos o reparables.

Desde entonces esta técnica a recibido un impulso acelerado en su aplicación al análisis probabilístico de riesgo en plantas petroquímicas, y en la actualidad a comenzado a incursionar en varias áreas más de la Ingeniería.

El AAF es un sistema que facilita el diseño y operación de procesos más seguros y más fiables.

El concepto fundamental de esta metodología es el modelado del sistema físico mediante un diagrama lógico, o Arbol de Fallas, en el cual estan descritas todas las posibles combinaciones de eventos (normales y de fallas) que causan un evento indeseable (tope). Este evento tope puede definirse ya sea como una condición peligrosa, por ejemplo la explosión de un reactor -- químico, o bien como la indisponibilidad del sistema para operar correctamente, por ejemplo, turbogenerador fuera de servicio.

Una vez construido el AF es muy útil para obtener los modos de falla del proceso (conjuntos mínimos de corte), índices numéricos de fiabilidad, e importantes conclusiones acerca de áreas potenciales de mejoramiento del proceso.

En el capítulo III se describe detalladamente este importante método de Análisis de Arbol de Fallas.

2.2.2.b Método de Markov (AM)

A continuación se describe la manera de evaluar cuantitativamente las diferentes alternativas mediante un Análisis Markoviano.

Parámetros de Falla y Reparación.

La ocurrencia de fallas de equipos es básicamente aleatorio por lo que, para realizar un análisis cuantitativo de los posibles arreglos de equipo y de política de mantenimiento y reparación se requieren las tasas de falla de los equipos y suponer el tipo de proceso estocástico que ocurre.

La tasa de falla (τ) es la probabilidad de que un equipo falle por unidad de tiempo en el instante t dado que el componente funcionaba en $t = 0$ y ha continuado funcionando hasta t .

$$(\tau)dt = \frac{\text{Número de fallas durante } (t; t + dt)}{\frac{\text{Número de equipos sujetos a prueba}}{\text{Número de equipos funcionando en } t}} \quad \dots (2.43)$$

Se puede definir una función $F(t)$ de la siguiente manera :

$$F(t) dt = \frac{\text{Número de fallas durante } (-t, t+dt)}{\text{Número de equipos sujetos a prueba}} \quad \dots (2.44)$$

Por otra parte se define la fiabilidad $R(t)$ como :

$$R(t) = \frac{\text{Número de equipos funcionando en } t}{\text{Número de equipos sujetos a prueba}} \quad \dots (2.45)$$

La función que define la probabilidad de que falle un equipo en el intervalo $(0, t)$ dado que funcionaba en $t = 0$ es $F(t)$ y esta relacionada con $R(t)$ de la siguiente manera :

$$R(t) + F(t) = 1 \quad \dots (2.46)$$

Esto significa que la probabilidad de que el equipo funcione hasta probabilidad de que falle en un tiempo $t = 1$.

La relación existente entre estas funciones es :

$$\left(\frac{d}{dt} R(t) \right) dt = \frac{F(t) dt}{R(t)} = \frac{F(t) dt}{1-F(t)} \quad \dots (2.47)$$

y

$$F(t) = \frac{F(t+\Delta t) - F(t)}{\Delta t} \quad \dots (2.48)$$

$$\lim \frac{F(t+\Delta t) - F(t)}{\Delta t} = \frac{df}{dt} \quad \dots (2.49)$$

Reemplazando (2.49) en (2.47)

$$\lambda(t) = \frac{dF(t)/dt}{1-F(t)} \quad \dots (2.50)$$

Para el proceso de reparación $m(t)$ se define como :

$$M(t) = \frac{\text{Número de reparaciones durante } (t; t+dt)}{\text{Número total de reparaciones}} \quad \dots (2.51)$$

$$\frac{\text{Número de operaciones no efectuadas}}{\text{Número total de reparaciones}}$$

La función $g(t)$ se define como :

$$g(t) = \frac{\text{Número de reparaciones durante } (t, t+dt)}{\text{Número total de reparaciones}} \quad \dots (2.52)$$

La probabilidad de que un equipo sea reparado en el intervalo $(0, t)$ dado que en $t=0$ no funcionaba es $G(t)$.

Estas funciones se relacionan entre sí de la siguiente manera :

$$m(t) = \frac{g(t)}{1-G(t)} \quad \dots (2.53)$$

En base a la ecuación (2.52) se puede definir $g(t)$ como :

$$g(t) = \frac{G(t + \Delta t) - G(t)}{\Delta t} \quad \dots (2.54)$$

Y por consiguiente :

$$g(t) = \frac{dG(t)}{dt} \quad \dots (2.55)$$

Remplazando (2.55) en (2.53) se obtiene finalmente :

$$m(t) = \frac{dG(t)/dt}{1-G(t)} \quad \dots (2.56)$$

Con la condición que un cierto equipo solo puede encontrarse exclusivamente en alguno de los dos posibles estados :

- a) Operando
- b) Reparando

Conociendo primero la tasa de falla $\lambda(t)$ y la de reparación $m(t)$ se puede efectuar un análisis del proceso Falla-Reparación y obtener información acerca de la disponibilidad e indisponibilidad del equipo en un tiempo dado.

La complejidad del cálculo de la disponibilidad o indisponibilidad dependerá de que si las tasas de falla y reparación son constantes o no, con respecto al tiempo.

El análisis se simplifica cuando las tasas de falla son constantes :

$$\lambda(t) = \lambda \quad \dots (2.57)$$

$$m(t) = \mu \quad \dots (2.58)$$

En general las tasas de falla son constantes durante la vida útil de un cierto equipo, es decir cuando se elimina el período de fallas por envejecimiento. En la siguiente figura (2.15) se muestra la variación de la tasa de falla con respecto al tiempo.

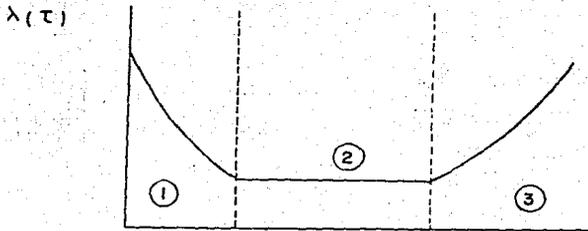


Fig. (2.15) Gráfica de $\lambda(t)$ vs t .

- 1 Período de Fallas de Juventud
- 2 Período de Vida Util
- 3 Período de Envejecimiento

Las tasas de falla son constantes para componentes electrónico de estado sólido o también cuando el equipo esta integrado por muchos elementos -- que tienen diferentes tasas de falla.

En el caso de contar con poca información con respecto a fallas la mejor suposición que se puede hacer es que la tasa de falla es constante.

Por simplicidad se acostumbra a suponer que la tasa de reparación también es constante.

Análisis Markoviano.

Supóngase un proceso $X(t)$ de falla y reparación que depende en forma continua de t y sólo puede tomar valores discretos. El proceso $X(t)$ es un proceso Markoviano si para $n=1, 2, 3, \dots$ etc. y para t_n arbitrario ($m=0, 1, 2, \dots, n$) donde t_0, t_1, t_n , y para enteros arbitrarios i, j la igualdad :

$$\begin{aligned} \text{Prob} [X(t_n) = j / X(t_{n-1}) = i, X(t_{n-2}) = i, \dots, X(t_0) = i_0] \\ = \text{Prob} [X(t_n) = j / X(t_{n-1}) = i] \quad \dots (2.59) \end{aligned}$$

Se satisface para cualquier entero $n=2, \dots, i_0$.

Para t_1, t_2 , se define la función de probabilidad de transición, como :

$$P_{ij}(t_1, t_2) = \text{Prob} [X(t_2) = j / X(t_1) = i] \quad \dots (2.60)$$

Donde $P_{ij}(t_1, t_2)$ no depende de los valores de $X(t)$ para $t < t_1$ la función $P_{ij}(t_1, t_2)$ satisface :

$$\begin{aligned} P_{ij}(t_1, t_2) &= 1 \\ P_{ij}(t_1, t_2) &= \sum_k p_{ik}(t_1 - \tau) p_{kj}(\tau, t_2) \quad \dots (2.61) \end{aligned}$$

donde $t_1 < \tau < t_2$

Suponiendo que el estado de falla sea $X(t) = 1$ y el estado "operando" se designe por $X(t) = 0$, las probabilidades de paso de un estado a otro pueden calcularse con las siguientes ecuaciones :

$$P10(t, t+dt) = \text{Prob } X(t+dt) = 1/X(t) = 0 = dt \dots (2.62)$$

$$P01(t, t+dt) = \text{Prob } X(t+dt) = 0/X(t) = 1 = dt \dots (2.63)$$

$$P00(t, t+dt) = \text{Prob } X(t+dt) = 0/X(t) = 0 = 1 - dt \dots (2.64)$$

$$P11(t, t+dt) = \text{Prob } X(t+dt) = 1/X(t) = 1 = 1 - dt \dots (2.65)$$

Donde μ y λ son las probabilidades instantaneas de reparación y falla respectivamente.

Las ecuaciones anteriores pueden representarse gráficamente mediante un diagrama de Markov como se muestra en la figura (2.16).

Si se designa por $P_i(t)$ la probabilidad de que el equipo se encuentre en el estado i en el tiempo t , la variación de esta probabilidad con respecto al tiempo esta dada por :

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = (\text{Entradas al estado } i) - (\text{Salidas del estado } i) \dots (2.66)$$

Si la expresión (2.66) se escribe en términos de probabilidades de transición se obtiene :

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = \sum_j (\text{Prob de transición hacia el estado } i \text{ de los } j \text{ estados } j) (\text{Prób. de que se encuentre en el estado } j) - \sum_j (\text{Prob de transición -- desde el estado } i \text{ hasta } j \text{ los estados } j) (\text{Prob de que se encuentre en el estado } i) \dots (2.67)$$

Aplicando la expresión (2.67) al proceso que se muestra en la figura (2.11) el sistema de ecuaciones diferenciales que resulta es :

$$\frac{dp_0}{dt} = -\lambda p_0 + \mu p_1 \quad \dots (2.68)$$

$$\frac{dp_1}{dt} = -\mu p_1 + \lambda p_0 \quad \dots (2.69)$$

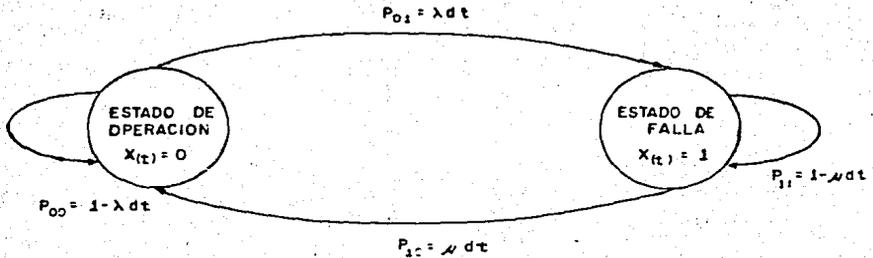


Fig. 2.16

El sistema de ecuaciones diferenciales formado por (2.68) y (2.69) tiene la siguiente solución :

$$p_0(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad \dots (2.70)$$

$$p_1(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} [1 - e^{-(\lambda + \mu)t}] \quad \dots (2.71)$$

La probabilidad $P_0(t)$ representa la probabilidad de que el equipo este disponible en el tiempo t ; de manera semejante $P_1(t)$ representa la probabilidad de que el equipo no este disponible en el tiempo t .

Cuando t tiende infinito las ecuaciones (2.70) y (2.71) se reducen a :

$$P_0(\infty) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad \dots (2.72)$$

$$P_1(\infty) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \quad \dots (2.73)$$

Y las probabilidades de operación y falla son funciones únicamente de las tasas de falla y reparación.

El Análisis Markoviano puede extenderse a situaciones más complejas - siempre y cuando las tasas de falla y reparación sean constantes.

El Análisis Markoviano del proceso de falla reparación permite cuantificar la disponibilidad de un sistema cuyos eventos son dependientes, como puede ser el caso de falla de varios equipos y disponer de un sólo mecanismo.

2.2.2.c Análisis de Arreglos Redundantes de Equipos.

Normalmente existen varios criterios para seleccionar un equipo específico.

Uno de los criterios que debe tomarse en cuenta es el de tasa de falla que repercute directamente en la productividad de la planta. Por ejemplo al seleccionar una bomba se especifica su capacidad y algunos otros parámetros. Cada marca y modelo de bomba posee una cierta tasa de falla, que puede ser mayor o menor dependiendo de la calidad de la misma; una bomba de mejor calidad tiene tasa de falla menor y consecuentemente funcionará correctamente durante períodos más largos requiriendo menor número de reparaciones.

El tiempo de indisponibilidad de un equipo puede disminuirse si se dispone de una tasa alta de reparación. Otra manera de disminuir la indisponibilidad es utilizando un equipo de mayor capacidad que la necesaria ya que normalmente esto hace disminuir la tasa de falla.

Tradicionalmente la indisponibilidad de un sistema se reduce por medio de la duplicación de equipos en paralelo.

Para analizar los sistemas con redundancias deben tomarse en cuenta las siguientes alternativas :

- 1) Sobrecapacidad del equipo
- 2) Calidad del equipo
- 3) Número de equipos redundantes
- 4) Tasa y política de reparación
- 5) Políticas de operación.

La influencia de las alternativas 1, 2 y 5 con respecto a la indisponibilidad ya ha sido mencionada anteriormente. La alternativa 3, se refiere a instalar 2 o más equipos en paralelo de manera que al fallar el equipo principal exista algún otro que pueda reemplazar sus funciones.

En cuanto a las políticas de operación las posibilidades pueden ser :

I) Varios equipos en paralelo que comparten la capacidad total y todos operan simultáneamente.

II) Cada uno de los equipos en paralelo tienen la capacidad requerida y pueden operar todos al mismo tiempo o sólo uno de ellos.

III) El elemento principal de la capacidad requerida y los elementos redundantes sólo proporcionan una fracción de la requerida. En este caso el elemento principal funciona siempre y sólo en caso de fallar se hacen funcionar los equipos de reemplazo.

Estas alternativas pueden evaluarse entre ellas y evaluarse utilizando las metodologías; árboles de fallas, árboles de eventos, y markovianas.

Por ejemplo es frecuente encontrar plantas que fueron diseñadas para cierta capacidad de procesamiento y que no logran alcanzar el nivel de producción; esto puede deberse a diversas causas, una de ellas puede ser por fallas frecuentes de los equipos y que provocan un paro de producción. Para disminuir el efecto de las fallas en la producción es necesario analizar el proceso y modificarlo de manera que tenga una mayor tolerancia a las fallas.

De esta manera se puede contar con mayor número de elementos para seleccionar el mejor arreglo así como establecer las políticas más adecuadas en cuanto a operación y reparación.

2.2.2.d Método de Análisis de Árboles de Eventos (AAE).

Un Arbol de Eventos es un modelo gráfico y lógico binario que representa varios sistemas, que dado un evento iniciador enumera todos los posibles efectos involucrados para mitigar ese evento iniciador.

El evento inicial es una decisión de árbol, es un riesgo de una decisión aceptada y las varias consecuencias dependen de la variación subsecuente. En la aplicación de Análisis de Fiabilidad, el evento inicial de un árbol de eventos es un sistema de fracaso y los subsecuentes eventos son determinados por las características del sistema.

Un Arbol de Eventos inicia con un evento accidental y definido. Los diferentes eventos del árbol podrán ser construidos y evaluados para analizar una serie de accidentes.

Este sistema de fiabilidad es estructurado en la forma de encabezados para el árbol de eventos que pueden ser involucrados después del evento inicialmente definido que ha ocurrido.

Una vez que los sistemas para un evento inicialmente dado ha sido identificado, la serie de posibilidades de fracaso y los estados de suceso para cada sistema podrán ser definidos y enumerados.

Una vez que los sistemas de falla y los estados de suceso estén propiamente definidos, los estados están combinados a través de la decisión de rama lógica para obtener varias secuencias de accidentes que están asociados con el evento inicial. Este evento inicial es representado por la línea horizontal inicial; los sistemas de estados están conectados en forma de rama; los sistemas de suceso y los estados de falla están denotados por una S y F respectivamente.

Las secuencias de accidentes que resulta de la estructura de árbol son mostrados en la figura (2.17), cada rama del árbol produce una secuencia de accidentes en la cual el evento inicial (1) ocurre, el sistema 1 es llamado y sucede (S1), y el sistema 2 es llamado, pero en estado de falla, por consiguiente esta función no está definida.

Para eventos de árbol grandes esta rama podrá ser continuada.

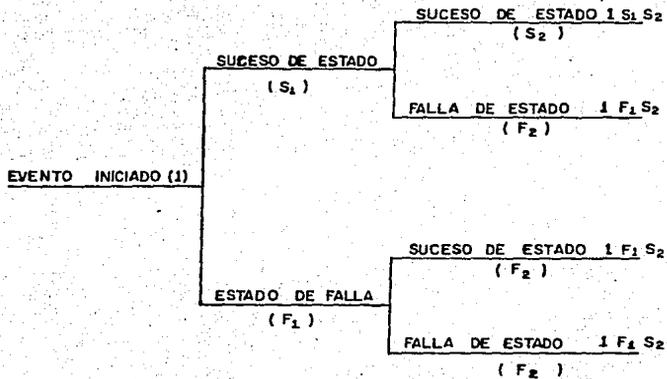
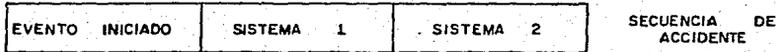


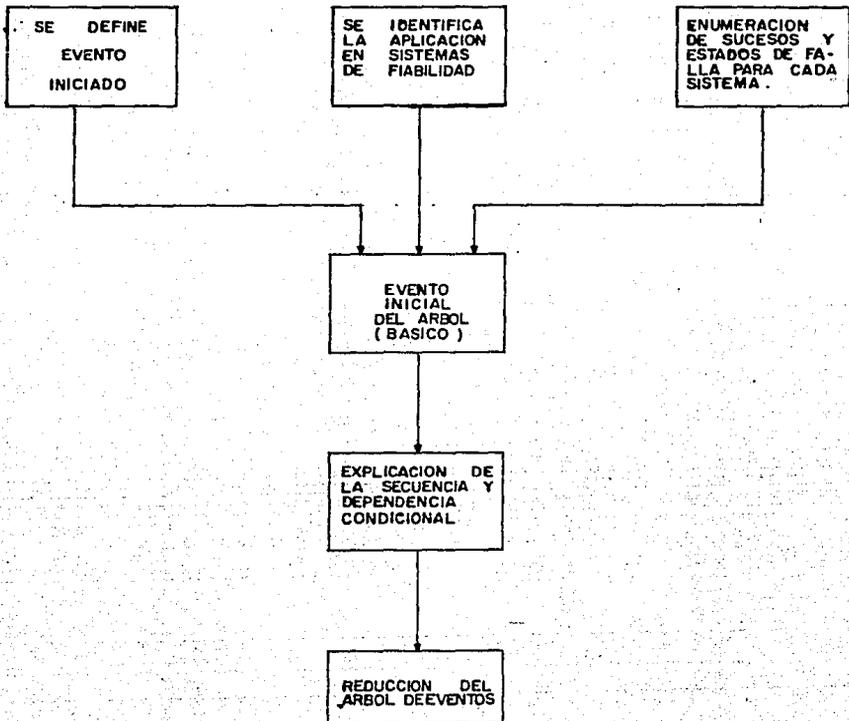
Fig. (2.17)

Los sistemas de estado en una rama dada de un árbol de eventos están condicionados a un estado previo, es decir en la figura (2.17) el suceso y la falla del sistema 1 podrá ser definido bajo la condición, con lo que original-

mente un evento a ocurrido en la línea superior del árbol correspondiente al sistema 1. El suceso y la falla 2 podrá ser definido bajo las condiciones con los que el evento inicial ha ocurrido y el sistema 1 a sucedido.

El posible reducir un árbol de eventos por la eliminación de todas las rayas que contenga la probabilidad igual a 0 para uno de los últimos eventos. Por ejemplo en la figura (2.17) si la falla del sistema 1 causa falla del sistema 2, entonces por consiguiente la secuencia de accidentes 1F1S2 y 1F1F2, se puede considerar solamente la secuencia 1F1.

En la fig. (2.18) se muestran los pasos básicos de la construcción de un Arbol de Eventos.



Una vez que el evento final ha sido construido los resultados asociados con cada secuencia accidental ha sido definido, la tarea final es calcular la probabilidad del sistema de falla por el Método de Análisis de Arbol de Falla (álgebra booleana descrita en el cap. III), usada para calcular la probabilidad condicional requerida para cada rama del Arbol de Eventos. La multiplicación de la probabilidad condicional para cada rama en una secuencia de la - probabilidad de dicha secuencia como es mostrada en la fig. (2.19).

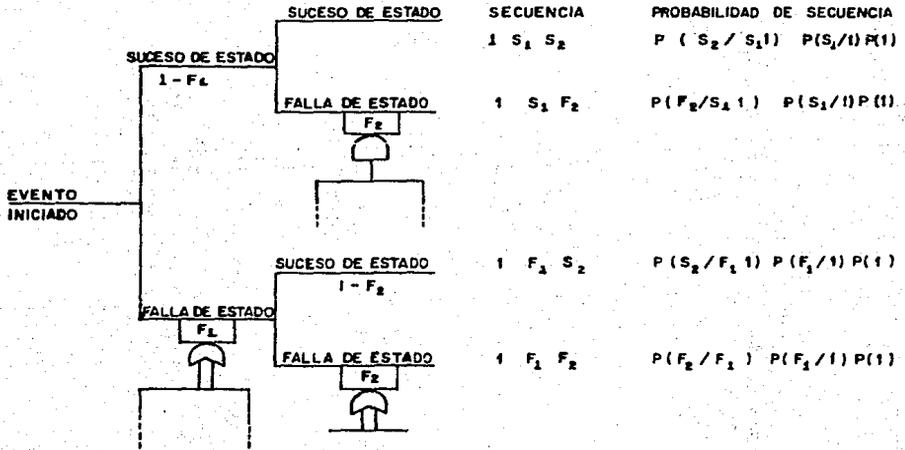


Figura 2.19

Ejemplos de Aplicaciones de Métodos Simples y Complejos

Métodos	Ejemplos
Método de Diagrama de Bloques por Paralelo Activo y Serie	Accionador - Compresor
Método por Operaciones Secuenciales de Unidades	Explosión de un Reactor
Método de Descomposición	Ruptura de un Tanque a Presión
Método de la Gráfica Fluida Señalada	Accionador - Compresor
Método del Conjunto de Corte	Explosión de un Reactor
Método de Sistemas con causa Común de Falla	Accionador - Compresor
Método de AAF	Para cualquier Sistema
Método de Markov	Para cualquier Sistema
Análisis de Arreglos Redundantes de Equipos	Para cualquier Sistema
Método de AAE	Para cualquier Sistema

CAPITULO III
DESCRIPCION DEL ANALISIS
DE ARBOL DE FALLAS

Descripción del Análisis de Arbol de Fallas.

Un prerrequisito para la construcción del Arbol de Fallas consiste en obtener un profundo conocimiento del diseño y operación del sistema que va a ser analizado. Cuando se cuenta con personal ampliamente capacitado en el sistema este paso se reduce a la recopilación de la información más importante (diagramas, manuales de operación, etc.)

Un Arbol de Fallas. Es un modelo gráfico y lógico binario de un sistema que representa la combinación de posibles eventos, que la ocurrencia de algunos de estos eventos nos conducen a otro evento que es un estado anormal de un sistema.

Es decir, el evento falla del sistema que será estudiado será llamado "Evento Tope". Un suceso subordinado que puede ser contribuido del acontecimiento del evento tope, entonces estos son idénticos y el evento tope es el eslabón para conectar funciones lógicas, el evento subordinado está entonces interrumpiendo de su contribución lógica, y de esta manera una estructura de árbol de evento fallas creada.

Posteriormente la síntesis de árbol es recordada gráficamente para arreglar los eventos dentro de la estructura de árbol usando símbolos conectados llamados gates :

Los símbolos más comunes usados en árboles de fallas son :

Símbolos

Nombre

Descripción



Compuerta "O"

Esta función lógica es aplicada cuando la relación en tre varios es alta y la ocurrencia de cualquiera de -- ellos puede provocar el even to indeseado.



Compuerta "Y"

En este caso es lo contrario a lo anterior, se aplica cuand o se tiene varios eventos y, la ocurrencia de estos debe - existir simultáneamente para- que ocurra el evento indesea- do.



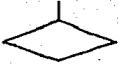
RECTANGULO

Es un evento intermedio, cuando una contribución del evento falla no es identificada como básica, esta será examinada por una contribución subordinada para que su relación lógica sea identificada.



CIRCULO

Evento básico. La decisión para la elección de este evento de falla puede ser influenciada por falta de conocimiento respecto a la forma de falla de los componentes o a desear un límite al grado de detallar. Si es to es decidido que una contribución determina el evento de falla es una falla primaria, la rama correspondiente del árbol es detenida, quedando como evento terminante inde-pendiente de otro evento terminante subsecuente.



DIAMANTE

Evento no desarrollado. Es un evento terminal que puede ser considerado como un desarrollo temporal. Es decir estos eventos desarrollados incompletamente son aquellos que completan propiamente la estructura - del árbol, en estado presente es completo- pero que puede requerir otro paso (rama) descrito adecuadamente a la falla del sistema



CASA

Eventos básicos que ocurren normalmente: esto no es una falla de eventos.



TRIANGULO DE ENTRADA

El símbolo triángulo proporciona una herramienta evitando la repetición de una sección en el Arbol de Falla



TRIANGULO DE SALIDA

Se asemejan al triángulo de entrada.

Entonces para la construcción del árbol de fallas, el primer paso es seleccionar al evento de falla tope, será subjetivo el análisis. Cada evento siguiente se considerará en términos de sus efectos sobre el evento tope.

El próximo paso es identificar eventos que contribuyan directamente causando que ocurra el evento tope.

Existen por lo menos cuatro posibilidades :

1.- No entrar en el mecanismo estando recibida como tal una señal de operación.

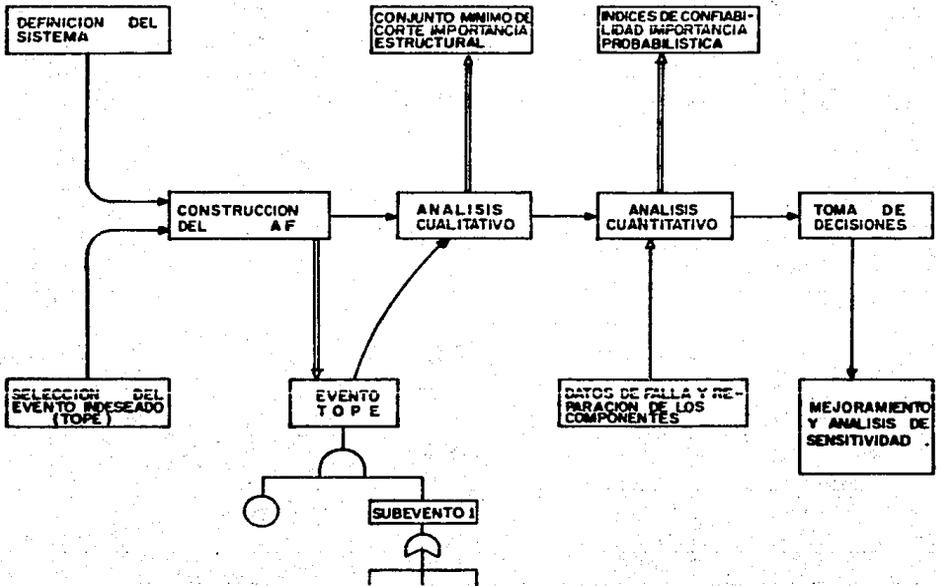
2.- El mecanismo está experimentando algunas fallas de esta manera no operará.

3.- Hay un error humano, tal como una falla debe accionar un switch debidamente instalado en el mecanismo.

4.- Algún evento externo puede ocurrir, eso es previniendo la operación del mecanismo, tal como una causa común de falla.

Se toman en cuenta tanto fallas en el equipo como errores humanos en la operación y mantenimiento del mismo.

En la siguiente figura se muestra c/u de las etapas de aplicación del AAF.



3.1 Análisis Cualitativo

Una vez construido el árbol de fallas se produce una evaluación cualitativa haciendo un análisis empleando la ecuación algebraica de Bool.

Para cada entrada, la introducción de eventos (tal como eventos primarios) son variables independientes; y eventos de salida (como evento intermedio) son variables dependientes.

Utilizando las reglas de álgebra de Bool es posible solucionar dichas ecuaciones por lo que los superiores e intermedios son expresados individualmente en términos de CMC (Conjunto Mínimo de Corte) que involucra sólo a los eventos básicos.

Se define como CMC de un árbol al conjunto mínimo de eventos (círculos ó diamantes) tales que si todos ocurren el evento tope ocurre.

Así resulta de gran interés para el analista identificar principalmente los CMC de una componente ya que estos representan las fallas de componentes que por si solos pueden conducir al evento tope.

Un árbol dependiendo de su tamaño y estructura, podrá contener desde unos cuantos hasta cientos de CMC.

Para el cálculo de un CMC de un árbol de falla existen varios métodos :

- Métodos de redacción determinísticos
- Métodos de simulación de Monte Carlo
- Métodos de algoritmo de sustitución arriba-abajo
- Métodos de algoritmo de sustitución abajo-arriba

Los dos primeros métodos son muy poco aplicados por su complejidad y por no ser fiables.

El algoritmo de sustitución arriba-abajo comienza en el evento tope y se mueve hacia abajo sustituyendo cada una de las compuertas por sus eventos de entrada. Cada compuerta "O" aumenta el número de conjuntos mínimos de corte en tanto que cada "Y" aumenta su tamaño (número de eventos que forman el conjunto).

El algoritmo de sustitución abajo-arriba comienza en el evento básico moviéndose hacia arriba. Así como el algoritmo arriba-abajo se sustituye en cada una de sus compuertas por sus eventos de entrada.

En caso de no existir eventos básicos repetidos en el árbol, al terminar de substituir todas las compuertas tendremos directamente los CMC.

Para un cambio, cuando existen eventos repetidos se requieren algunas minimizaciones utilizando reglas del álgebra Booleana.

Para un árbol de falla largo, constituido por cientos de compuertas lógicas y eventos básicos, la cantidad de CMC total pueden ser miles de conjuntos de corte.

Por lo tanto es necesaria la generación de un programa de cómputo para la determinación de los CMC de estos sistemas de fracaso.

Los programas de cómputo Mocus, Theel y Micsp implementan 2 algoritmos diferentes para la obtención de la CMC de árboles de falla largos. Los dos programas están escritos en lenguaje fortran y son restringidos para operar diagramas de árboles de falla con compuerta "Y" y "O" únicamente.

En resumen el análisis cualitativo de un árbol de falla es una reducción del álgebra booleana y el procedimiento es el siguiente :

- 1.- Código de entrada y eventos primarios
- 2.- Lista de tipos de compuertas lógicas
- 3.- La escritura de la ecuación booleana para cada compuerta
- 4.- Uso del álgebra booleana para la solución del evento tope en términos del conjunto de corte.
- 5.- Eliminación de las redundancias del conjunto de corte (utilizando álgebra booleana para obtener el conjunto mínimo de corte).

Equivalencias entre funciones booleanas

$$f(X, Y) = X + Y$$

$$g(X, Y) = X + X \cdot Y$$

# X Y f	# X Y g
1 0 0 0	1 0 0 0
2 0 1 1	2 0 1 1
3 1 0 1	3 1 0 1
4 1 1 1	4 1 1 1

$$\begin{aligned}
 f(X, Y) &= \bar{X} \cdot Y + X \cdot \bar{Y} + X \cdot Y \\
 &= \bar{X} \cdot Y + X \cdot (\bar{Y} + Y) \\
 &= \bar{X} \cdot Y + Y \\
 &= X + \bar{X} \cdot Y = g(X, Y)
 \end{aligned}$$

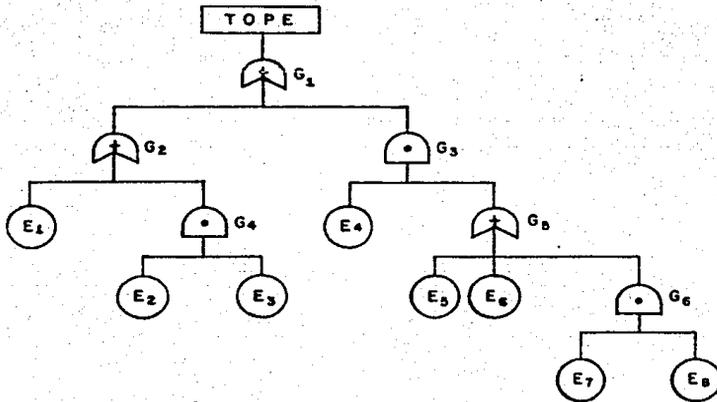
Funciones booleanas

Eventos Topo

 X_1, X_2, \dots, X_n
 $f(X_1, X_2, \dots, X_n)$
 $f(X_1, X_2, \dots, X_n)$
 $\left. \begin{array}{l} 1 \text{ ocurre} \\ 0 \text{ No ocurre} \end{array} \right\}$

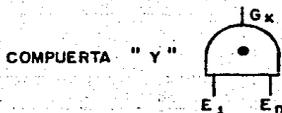
Aplicación al análisis de árbol de fallas.

Partimos de la construcción del árbol de fallas siguiente (supuesto).



$$G_K = E_1 + E_2 + \dots + E_n$$

$$P(G_K) = P(E_1) + P(E_2) + \dots + P(E_n)$$



$$G_K = E_1 \cdot E_2 \cdot \dots \cdot E_n$$

$$P(G_K) = P(E_1) \cdot P(E_2) \cdot \dots \cdot P(E_n)$$

Como es un diagrama sencillo, el cálculo de los CMC se pueden hacer por inspección, mediante el algoritmo de sustitución arriba-abajo. Comenzando en el evento tope y se mueve hacia abajo.

- . $G1 = G2 + G3$
- . $G2 = E1 + G4$
- . $G3 = E4 . G5$
- . $G4 = E2 . E3$
- . $G5 = E5 . E6 + G6$
- . $G6 = E7 . E8$

Sustituyendo

$$\begin{aligned}
 G1 &= E1 + G4 + G3 \\
 G1 &= E1 + E2 . E3 + E4 . G5 \\
 &= E1 + E2 . E3 + E4 . (E5 . E6 + G6) \\
 &= E1 + E2 . E3 + E4 . (E5 . E6 + E7 . E8) \\
 &= E1 + E2 . E3 + E4 . E5 + E4 . E6 + E4 . E7 . E8
 \end{aligned}$$

$$\text{Tope} = G1 = E1$$

- E2 . E3
- E4 . E5
- E4 . E6
- E4 . E7
- E4 . E8

3.2 Análisis Cuantitativo

Una vez que los CMC han sido encontrados y analizados se puede proceder a llevar a cabo la evaluación cuantitativa del árbol.

Los principales resultados obtenidos de esta evaluación son índices numéricos de fiabilidad y mediciones de importancia probabilística tanto de componentes como de CMC; además se puede efectuar análisis de sensibilidad.

A partir de la importancia probabilística pueden encontrarse los puntos débiles del sistema, sugerirse mejoras al diseño, localizarse obtimamente sensores de diagnóstico o elaborarse estrategias óptimas de localización de fallas, entre otras cosas. El análisis de sensibilidad se realiza principalmente para obtener una media cuantitativa del impacto real que tendría sobre la fiabilidad del sistema, los cambios en el diseño, en las políticas de inspección y mantenimiento, mejoras en la fiabilidad de componentes, etc.

Para poder evaluar cuantitativamente la fiabilidad del sistema, es necesario asignar tasas de falla y tiempos de reparación (duración de falla) en todos los eventos básicos (círculos, diamantes). Estos datos pueden obtenerse de los fabricantes y vendedores de equipo, de la experiencia del personal de operación y mantenimiento, de la literatura especializada, etc.

Tasa de Falla $\lambda(t)$. La definimos como la probabilidad por unidad de tiempo, de que el componente (o sistema.) falle en el intervalo $(t, t+dt)$, con la condición de que no haya fallado hasta el tiempo T ; podemos decir que se trata de una probabilidad condicional por unidad de tiempo.

El componente esta equívocamente en uno y solo uno de dos estados posibles :

- Operable e Inoperable

Como operable podemos manejar el término de fiabilidad denotado por:

$$R(T) = e^{-\lambda T} \quad \dots (2.74)$$

Y lo lo definimos como la probabilidad de que un componente (o sistema) funcione sin fallas durante un tiempo T y bajo condiciones especificadas de operación.

Inoperable o Indisponibilidad de que el componente (o sistema) $Q(t)$. Es la probabilidad de que el componente (o sistema) esté en estado no operable en el tiempo t .

$$Q(t) = 1 - K(t) = 1 - e^{-\lambda T} \quad \dots (2.75)$$

Siguiendo con el mismo ejemplo para calcular la probabilidad del sistema:

Suponiendo: E1, E2, ...E8 independientes :

$$P(\text{tope}) = 1 - [1 - P(E1)] [1 - P(E2) P(E3)] [1 - P(E4)P(E5)] \\ [1 - P(E4)P(E6)] [1 - P(E4)P(E7)] [1 - P(E4)(E8)]$$

Datos de falla

Eventos básicos	Tasa de Falla (falla/Hr.)	Tipo de reparación (Hr)	Prob. de Ocurren <u>cia</u> .
E1	.	.	.
E2	.	.	.
E3	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
E8	.	.	.

Sustituyendo en la ecuación P(tope) la probabilidad de ocurrencia se obtiene la probabilidad de falla.

Posteriormente en base a los datos anteriores se puede hacer un análisis de importancias :

a) Importancias de componentes mediante el método (Fussell-Vasely).

$$I(E_i) = \frac{P[\text{Unión de todos los CMC donde aparece } E_i]}{P(\text{tope})} \quad \dots(2.76)$$

$$I^{FV}(E_1) = \frac{P(E_1)}{P(\text{tope})}$$

$$I^{FV}(E_2) = \frac{1 - [1 - P(E_2)P(E_3)]}{P(\text{tope})}$$

$$I^{FV}(E_4) = \frac{1 - [1 - P(E_4)P(E_5)] [1 - P(E_4)P(E_6)] [1 - P(E_4)P(E_7)] [1 - P(E_4)P(E_8)]}{P(\text{tope})}$$

$$I^{FV}(E_5) = \frac{1 - [1 - P(E_4)P(E_5)]}{P(\text{tope})}$$

$$I^{FV}(E_6) = 1 - [1 - P(E_4)P(E_6)]$$

$$I^{FV}(E_7) = 1 - [1 - P(E_4)P(E_7)]$$

$$I^{FV}(E_8) = 1 - [1 - P(E_4)P(E_8)]$$

$$I^{FV}(E_3) = I^{FV}(E_4)$$

Ya calculadas estas importancias se observa en por ciento cual es de mayor importancia.

b) Importancia de conjuntos mínimos de corte.

E1

E2 E3

E4 E5

E4 E6

E4 E7

E4 E8

$$I^{FV}(E1 \dots E_n) = \frac{P[\text{CMC}]}{P(\text{tope})} \quad \dots (2.7)$$

$$I^{FV}(E1) = \frac{P(E1)}{P(\text{tope})}$$

$$I^{FV}(E2E3) = \frac{P(E2) P(E3)}{P(\text{tope})}$$

$$I^{FV}(E4E5) = \frac{P(E4) P(E5)}{P(\text{tope})}$$

$$I^{FV}(E4E6) = \frac{P(E4) P(E6)}{P(\text{tope})}$$

$$I^{FV}(E4E7) = \frac{P(E4) P(E7)}{P(\text{tope})}$$

$$I^{FV}(E4E8) = \frac{P(E4) P(E8)}{P(\text{tope})}$$

Una vez ya calculadas las importancias probabilísticas de los CMC se puede identificar cuales son los componentes más críticos y en base a esto buscar componentes más eficientes. Calculando nuevamente la probabilidad del sistema.

Capítulo IV
Descripción de la plataforma
de Compresión

4.1 Bases de Diseño.

Las bases de diseño contienen la información básica que define la cantidad y calidad de la alimentación y productos de la plataforma, los servicios auxiliares y los requisitos específicos que un diseño como éste requiere, tales como: condiciones meteorológicas y oceanográficas; datos sísmológicos; mecánica de suelos, códigos de diseño; etc.

Para éste trabajo sólo se analizará el sistema de compresión de la plataforma.

4.1.2 Tipo de Proceso

El proceso constará de dos niveles de compresión :
uno denominado de baja presión de 2.0 a 8.0 Kg/cm² man.
Y otro denominado de alta presión de 6.9 a 85.0 Kg/cm² man.

4.1.3 Capacidad, Rendimiento y Flexibilidad

4.1.3a Factor de Servicio

La plataforma se diseñará para operar 355 días al año. Consta de cuatro módulos de compresión, operando tres normalmente permaneciendo uno como relevo.

4.1.3b Capacidad y Rendimiento Normal

I) Para la etapa de gas de baja presión $873 \text{ Mm}^3/\text{día}$ 15.6°C y 1 ATM.

II) Para la etapa de gas de alta presión $7860 \text{ Mm}^3/\text{día}$ 15°C y 1 ATM mínima.

Estará determinada por la capacidad de operación satisfactoria de los compresores y será aproximadamente el 80% de la capacidad de diseño de uno sólo de los trenes de compresión que integran el sistema.

4.1.3c Flexibilidad.

El sistema de compresión deberá estar constituido por 4 trenes, tres en operación y uno de relevo, cada uno con una capacidad nominal del 33.3% del total diseñado para la plataforma.

4.1.3d

La plataforma no operará a falta de aire de instrumentos y/o energía eléctrica.

4.1.3e

Se deberán de interconectar los sistemas de aire de planta y de aire de instrumentos para poder utilizar aire de planta en caso de fallar el sistema de aire de instrumentos.

4.1.3f

No se preveen aumentos de capacidad.

4.1.4 Especificaciones de las alimentaciones.

4.1.4a Gas de Baja Presión.

Composición

Componente	% Mol.
N ₂	0.33
CH ₄	28.45
C ₂ H ₆	18.44
C ₃ H ₈	18.35
iC ₄	2.65
nC ₄	7.94
iC ₅	1.70
nC ₅	1.60
C ₆	3.79
CO ₂	3.42
H ₂ S	4.63
H ₂ O	8.70
Peso molecular promedio	33.747
Flujo	873Mm ³ Std/día

4.1.4b Gas de Alta Presión

Composición

Componente	% Mol.
N ₂	1.93
CH ₄	56.4
C ₂ H ₆	14.52
C ₃ H ₈	9.30
iC ₄	1.11
nC ₄	3.20
iC ₅	0.63
nC ₅	0.60
C ₆	1.42
CO ₂	4.64
H ₂ S	2.56
H ₂ O	3.69
Peso molecular promedio	26.31
Flujo	7860Mm ³ Std/día

4.1.5 Condiciones en Límite de Batería (LB)

4.1.5a Condiciones de las Alimentaciones en LB

Estas corrientes provienen de los separadores de alta y baja presión localizados en la plataforma de producción temporal, la cual estará unida a la plataforma de compresión por puente.

Alimentación	Edo. Físico	Presión	Kg/Cm ²	Temperatura °C		Forma de Entrega
		Normal	Mínima	Normal	Mín.	
Gas de Baja Presión	Gas	2.0	2.0	60	60	Tubería
Gas de Alta Presión	Gas	8.0	8.0	66	66	Tubería

4.1.5b Condiciones de los Productos en LB

El destino del gas comprimido deshidratado será la plataforma de enlace de gas, para su envío en la costa.

Producto	Edo. Físico	Presión	Kg/Cm ²	Temperatura °C		Forma De Entrega
		Normal	Mínima	Normal	Mín.	
Gas Amargo Comprimido.	Gas	83	80	52	50	Tubería

4.1.6 Enfriamiento

4.1.6a

Se usarán soloaires preferentemente con una temperatura de bulbo seco de 35°C.

4.1.6b Agua de Enfriamiento.

Para este servicio se usará agua potable en circuito cerrado, la que será -
enfriada con agua de mar.

4.1.7 Combustible

4.1.7a Gas

Se usará gas natural, el cual será endulzado dentro de la plataforma en -
las siguientes condiciones de suministro.

Presión	83 Kg/Cm ² man.
Temperatura	49°C
Características Principales	15°C y un ATM
Peso molecular	25.6
Densidad relativa	0.8646
Poder calorífico Bajo	41 064 Kj/m ³ Std.

4.1.7b Diesel

Se recibirá por barco, se contará con las facilidades para su recepción, - centrifugado y almacenamiento.

Características Principales :

Temperatura de suministro	30°C
Densidad	0.87 Kg/lt
Viscosidad 37°C	3.1 CP
Contenido Máximo de Sólidos	0.5 % peso
Contenido de Azufre	1% (Max.)
Grados API	28-32
Poder Calorífico Bajo	2200 K Cal/Kg

4.1.8 Aire de Instrumentos y de Planta.

Serán obtenidos en la misma plataforma, mediante compresores independientes no lubricados e interconectados.

4.1.9 Energía Eléctrica

4.1.9a Generadores

Se generará dentro de la plataforma debiéndose contar con una capacidad de generación instalada del 200% del consumo requerido, como mínimo.

4.1.9b Sistema de Fuerza Ininterrumpible.

Deberá contar con dos bancos de baterías independientes especiales para medio marino.

4.1.10 Desfogue

Se deberá contar con un quemador de desfogues, el cual deberá estar a una distancia mínima de 200 m. de la plataforma, diseño según API.

4.1.11 Sistemas de Seguridad y Protección.

Deberá contarse con sistemas de detección de gas combustible, gas tóxico, fuego y humo; así como de sistemas de protección y control de fuego a base de agua de mar, espuma, polvo químico seco y Halón.

Estos sistemas deberán ser diseñados de acuerdo a los siguientes códigos: National Fire Protection Association (NFPA); American Petroleum Institute (API); v.s. Coast Guard Publications; Underwriters Laboratories (UL); Factory Mutual (FM).

4.1.12 Localización de la Plataforma.

Se darán las coordenadas a centro de la Plataforma utilizando el sistema UTM. (Universal Transversor Mercator), así como en coordenadas geográficas.

4.2 Condiciones de Proceso

El sistema incluirá dos niveles de compresión, uno desde 2.0 hasta 8.0 Kg/Cm² y el otro desde 6.9 hasta 85 Kg/Cm².

Alimentaciones (Por módulo)	Normal	Mínimo
Gas de Baja Presión		
Flujo (Mm ³ Std/día)	291	Determinado por los compresores.
Temperatura °C	60	60
Presión Kg/Cm ² man.	2.0	2.0
Composición	Ver inciso 4.1.4a	
Productos por (módulo)		
Gas Amargo		
Flujo Mm ³ Std/día	2707	Determinado por los compresores.
Temperatura °C	52	50
Presión Kg/Cm ² man.	85	82
Gas de Alta Presión		
Flujo Mm ³ Std/día	2620	Determinado por los compresores
Temperatura °C	66	66
Presión Kg/Cm ² man	8.0	8.0
Composición	Ver inciso 4.1.4b	

Composición

Componente	% Mol.
Nitrógeno	1.92
Sulfuro de Hidrógeno	2.85
Bióxido de Carbono	4.82
Metano	57.81
Etano	15.66
Propano	10.27
Iso-Butano	1.20
N-Butano	3.73
Iso-Pentano	0.61
N-Pentano	0.54
Hescanos y más pesados	0.36
Agua	0.23

4.3 Descripción del Proceso

El crudo obtenido en los pozos de producción se encuentra generalmente a presiones tal altas como 200 Kg/Cm^2 man; y al extraerse provoca flujos a 2 fases sumamente turbulentos. A este crudo se le reduce la presión a $9.0 - \text{Kg/Cm}^2$ man. aproximadamente en el cabezal del pozo ó "Arbol de Navidad" localizado en la plataforma de perforaciones. El crudo es enviado por fuente a la plataforma de producción donde se somete a dos etapas de separación -

denominadas de alta y baja presión. El separador de alta presión recibe el crudo y por medio de mamparas de choque se efectúa un rompimiento de la corriente para liberar el gas, seguido de una disminución en la velocidad del flujo - que permite la segregación por gravedad de las tres fases (gas, aceite y agua), extrayéndose el gas por la parte superior. A éste gas se le denomina "Gas de Alta presión" ($P= 8.5 \text{ Kg/Cm}^2 \text{ man.}$; $T= 66^\circ\text{C}$), y es enviado a la plataforma de -- compresión.

El aceite separado es enviado a una segunda etapa de separación similar -- a la anterior, donde el gas separado "Gas de Baja Presión" a $2.2 \text{ Kg/Cm}^2 \text{ man.}$ y 60°C se envía a la plataforma de compresión. El aceite separado es enviado a deshidratación y de ahí se bombea a la costa para su procesamiento. El agua se parada en ambas etapas es tratada y se retorna al mar.

La corriente de gas de baja presión se recibe en la plataforma de compresión en límite de batería a $2.0 \text{ Kg/Cm}^2 \text{ man.}$ y 60°C , y se pasa al interceptor de condensados de baja presión (RP-11), (Diagrama 4.1) cuya función es la de atrapar las cargas del líquido, que por mala operación de la plataforma de producción se pueden tener. En operación normal este recipiente remueve las partículas líquidas de la corriente de gas (Cargas líquidas relativamente ligeras). Estos condensados son extraídos por medio del controlador de nivel LC-101 que actúan sobre la válvula LV-101. En caso de recibirse cargas considerables del líquido se cuenta con una válvula de apertura rápida LV-102, que actuará con la señal del interruptor por alto nivel LSH-102.

Estos condensados se retornan a la plataforma de producción temporal. El gas de baja presión libre de líquidos, se alimenta a los módulos de compresión.

La corriente de gas de alta presión a 8.0 Kg/Cm^2 man. y 66°C , proveniente de la plataforma de producción temporal, se recibe los interceptores de condensados de alta presión (RP-12), cuya función es la misma que la del interceptor de baja presión. El gas se reúne en un cabezal para ser alimentado a los módulos compresión.

Cada módulo consta de dos trenes de compresión independientes. A continuación se describe la operación de uno de los módulos.

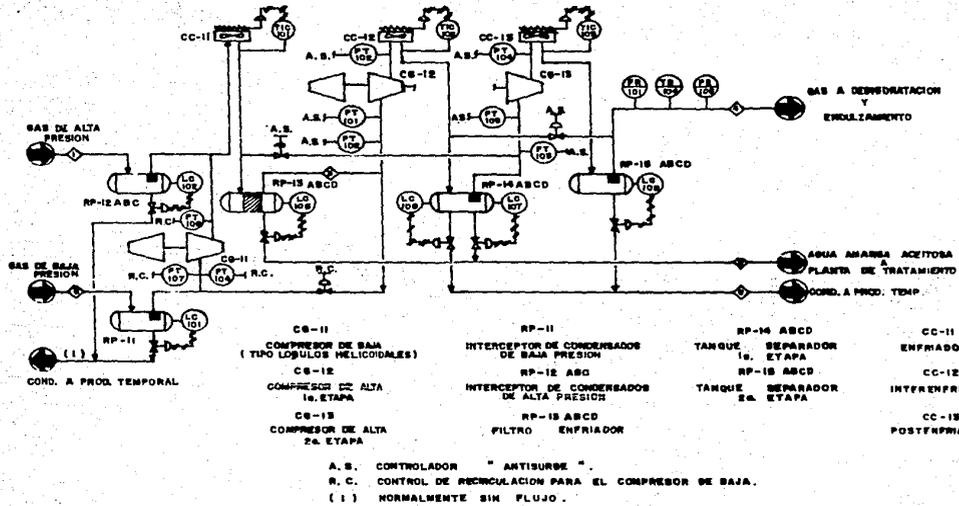
La corriente del gas de baja presión <2> se alimenta a la succión del compresor de baja presión (CG-11) del tipo lóbulos helicoidales, accionado por turbina de gas mediante caja de engranes reductora de velocidad, éste compresor cuenta con tanques amortiguadores de pulsaciones a la succión y a la descarga. La corriente de gas es comprimida desde 2.0 hasta 8.0 Kg/Cm^2 man.; la temperatura a la descarga es de 120°C aproximadamente a éstas condiciones se une a la corriente de gas de alta presión <1>, procedente de los interceptores de condensados (RP-12). Esta corriente es enfriada en el enfriador (CC-11), del tipo so laire, con el objeto de provocar la mayor condensación posible de hidrocarburos y agua, y también aumentar el rendimiento de la siguiente etapa de compresión. La temperatura de salida de gas (52°C) es controlada por el (TIC-101) que actúa las persianas de paso del aire.

Los condensados formados son colectados en el filtro separador (RP-13), provisto de filtros cualescedores y eliminador de niebla tipo aletas.

Los condensados principalmente agua se envían al cabezal de agua aceitosa para su tratamiento, por medio del controlador de nivel (LC-105).

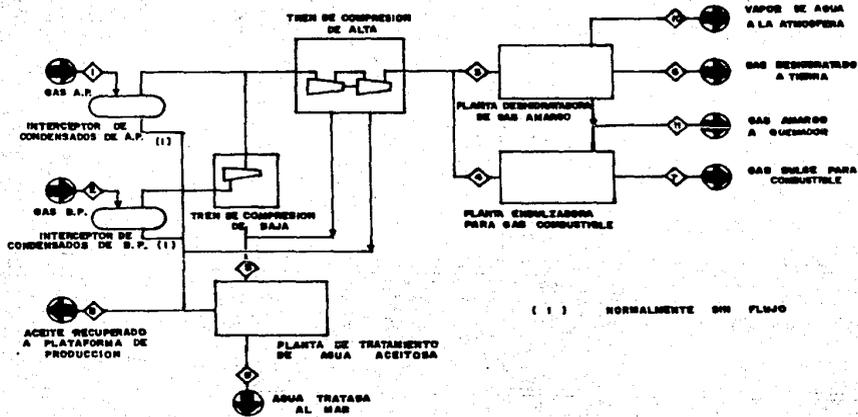
La corriente de gas que abandona el filtro separador (RP-13) es succionada por el compresor centrífugo (CG-12), donde se le incrementa la presión desde 6.9 hasta 35 Kg/Cm² man. El gas comprimido sale a una temperatura aproximada de 163 °C por lo que se le envía al interenfriador (CC-12) (tipo soloaire), donde se le reduce la temperatura hasta 52°C, ésta es controlada mediante el (TIC-102), alimentándose de esta manera al tanque separador (RP-14) en donde se le separan el agua y los hidrocarburos condensados. El agua se envía al cabezal de agua aceitosa, por medio del controlador de interfase (LC-107), y los hidrocarburos son retomados a la plataforma de producción temporal por medio del controlador de nivel (LC-108). El gas sale através de un eliminador de niebla y es succionado por el compresor centrífugo (CG-13) que le incrementa la presión desde 34.4 hasta 86.0 Kg/Cm² man. Esta última compresión eleva la temperatura hasta 120°C. La corriente de gas se enfría en el postenfriador (CC-13) (tipo soloaire) hasta 52°C, ésta temperatura se controla mediante el (TIC-103). A continuación corriente de gas es alimentada al tanque separador (RP-15) donde los líquidos condensados se colectan y se retornan a la plataforma de producción temporal, mediante el controlador de nivel (LC-109). El gas abandona el tanque y se le registra el flujo la temperatura y la presión; con el fin de supervisar la producción de gas y lle

DIAGRAMA 4.1



U N D M F E S C	TESIS PROFESIONAL	ING. RAFAEL GARCIA NAVA	SISTEMA DE COMPRESION GAS AMARGO.
	INGENIERIA QUIMICA	AMERICA CAMPOS FIGUEROA AGUSTIN GARCIA HERRERA	

DIAGRAMA 4.2



(1) NORMALMENTE NO PRESENTE

U n a m F E S C	TESIS PROFESIONAL	ING. RAFAEL GARCIA NAVA	DIAGRAMA DE BALANCE GENERAL DE MATERIA EN PLATAFORMA DE COMPRESION
	INGENIERIA QUIMICA	AMERICA AGUSTIN CAMPOS GARCIA FIGUEROA HERRERA	

var una estadística de la operación de cada módulo de compresión. Las corrientes de descarga de cada módulo se reúnen en un cabezal para enviarse a las secciones de endulzamiento y deshidratación.

Capítulo V
Aplicación del Análisis de
Arbol de Fallas a la
Plataforma de Compresión

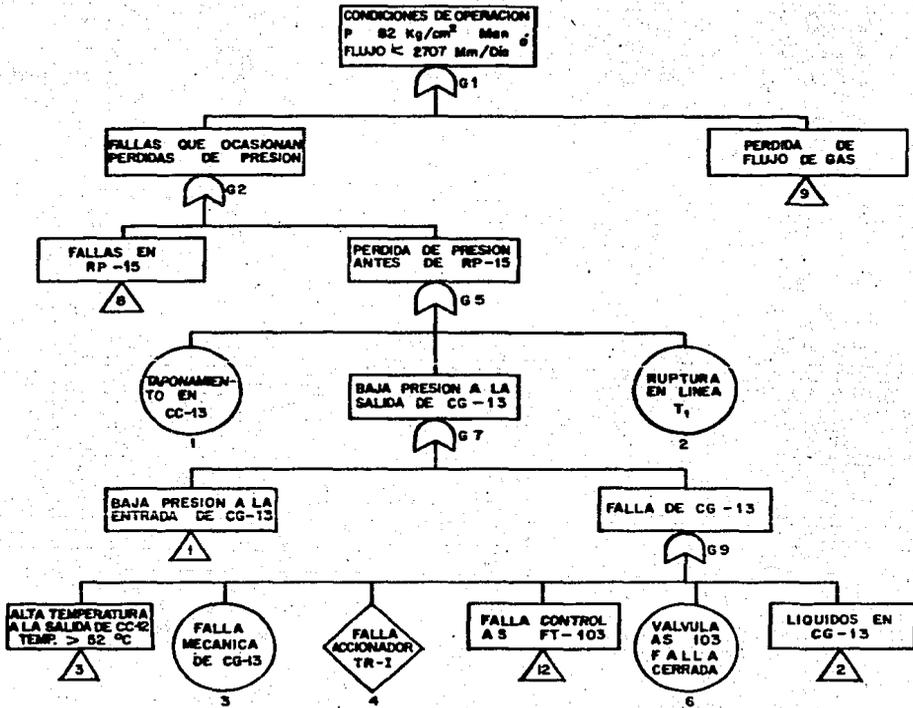
5.1 Construcción del Arbol de Fallas.

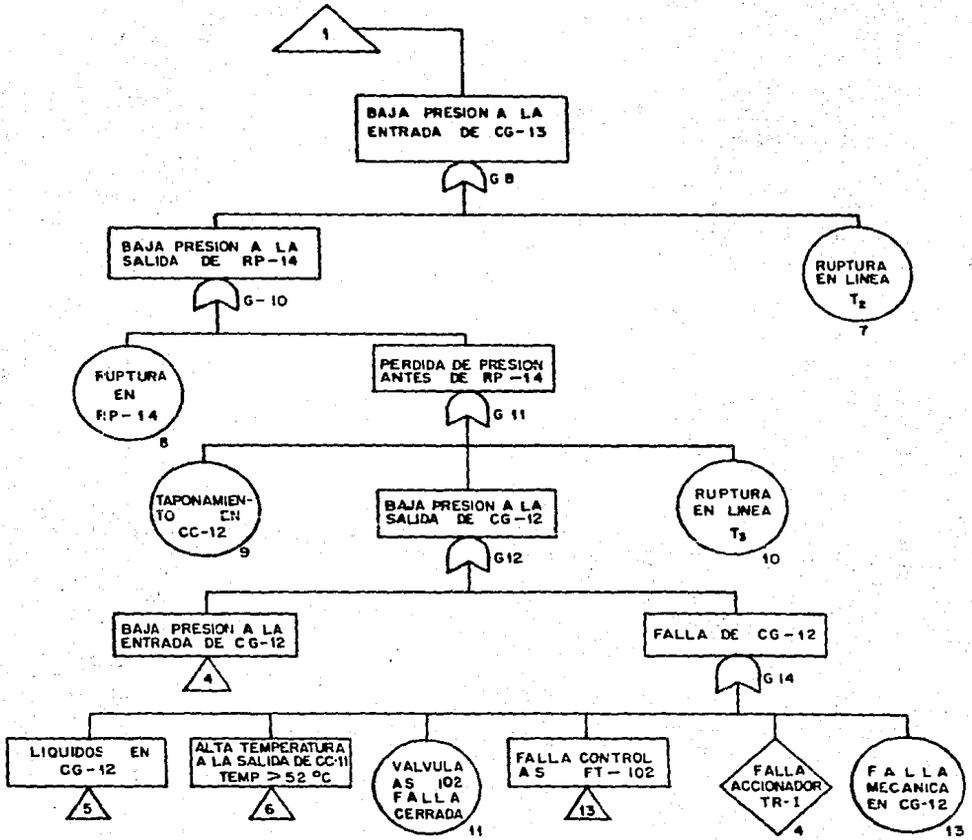
En base al análisis del funcionamiento de los componentes de la plataforma de compresión se construyó el árbol de fallas para el evento tope "Condiciones - de operación $P = 82 \text{Kg/Cm}^2$ man. ó flujo $2707 \text{ Mm}^3 \text{ Std/día}$ ". Desarrollado el árbol de fallas en la figura 5-1, en donde se muestran la relación lógica de todas las - posibles causas (eventos intermedios) que originan el evento tope. Es de hacerse - notar que el árbol que se obtuvo consta de 51 compuertas lógicas y 57 eventos ba sicos.

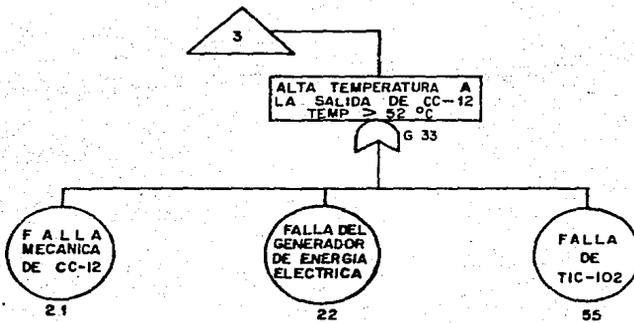
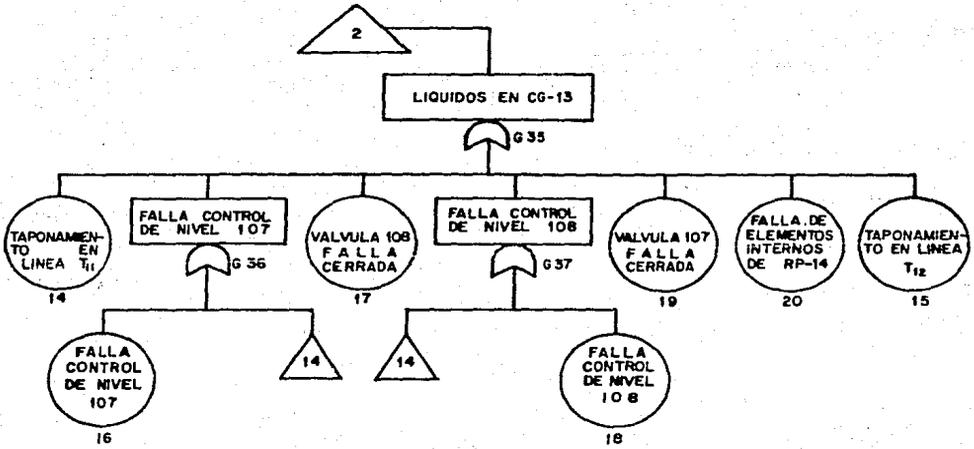
Los eventos mostrados en la figura 5.1 con diamante (Accionadores) no estan desarrollados, debido a que su desarrollo representaria un análisis tan extenso como el mostrado en dicha figura. Para la construcción del árbol de fallas se toma en - cuenta tanto fallas en el equipo, como errores humanos en la operación y manteni - miento del mismo.

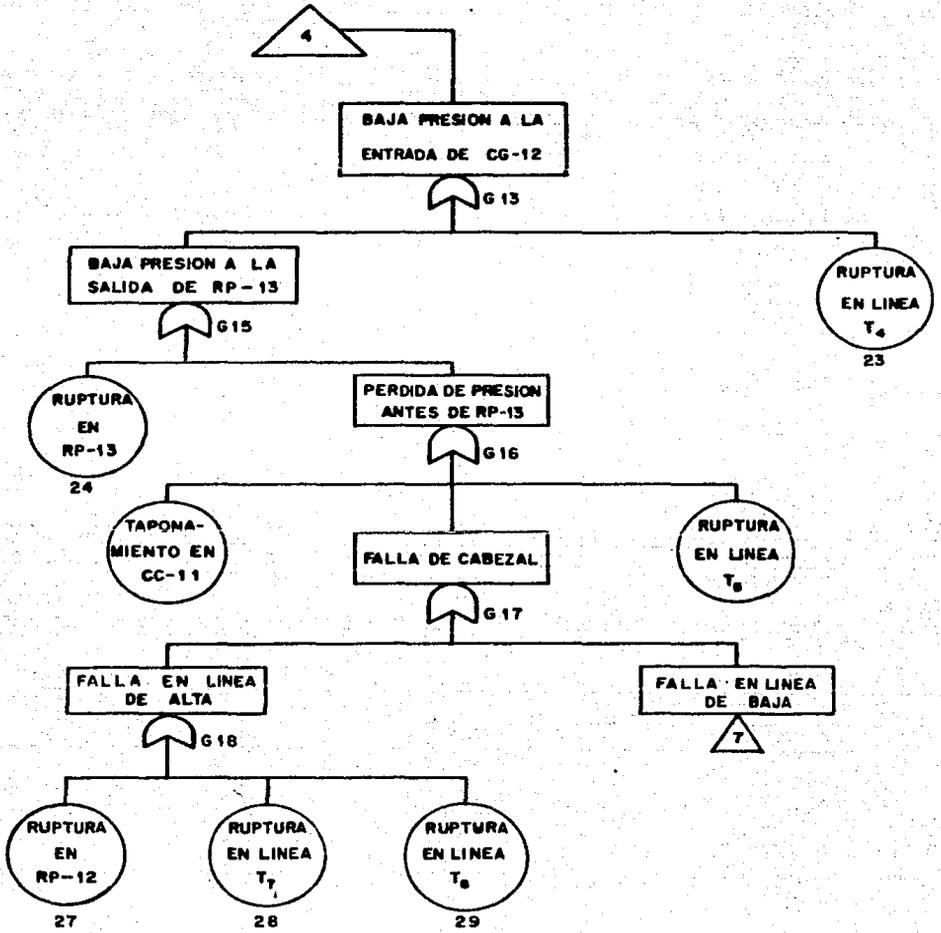
Los eventos intermedios principales de los cuales se van generando las ramas - son : Fallas que ocasionan pérdidas de presión y pérdida de flujo de gas, dichos - eventos ocasionados a su vez o por los eventos básicos, siguiendo la secuencia lógi - ca de las compuertas.

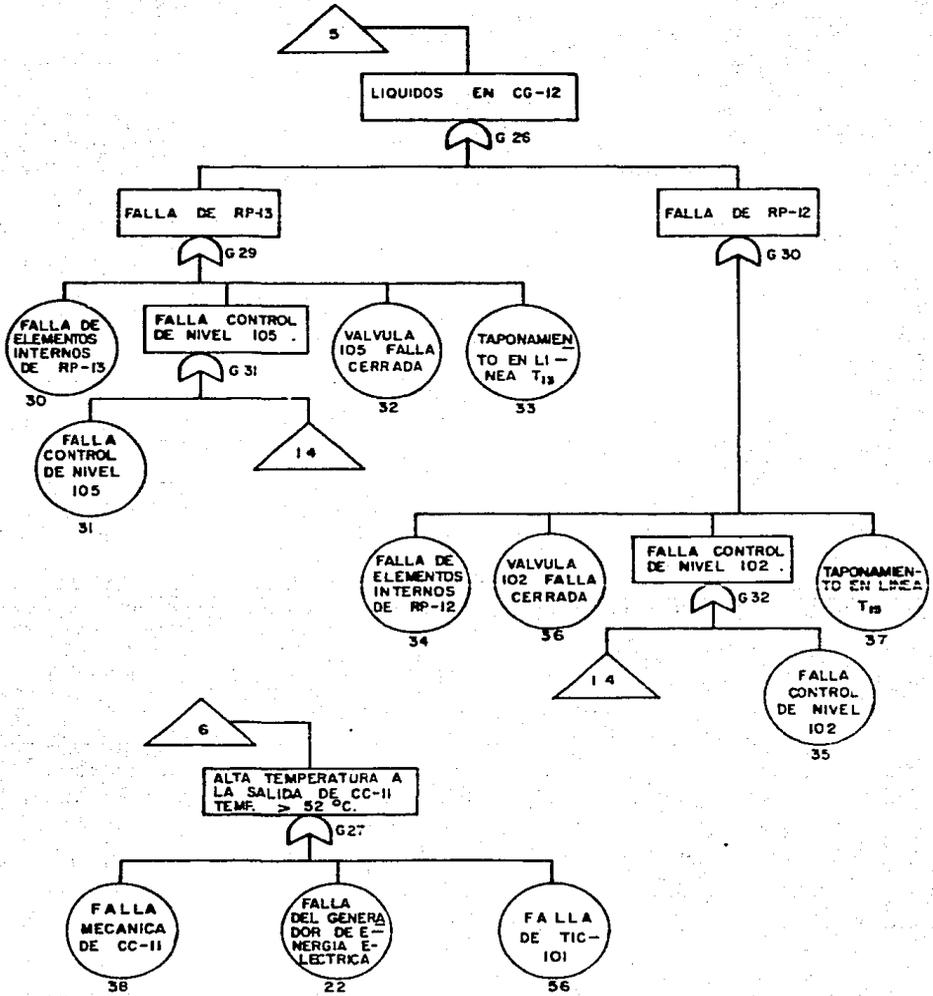
FIGURA 5-1
CONSTRUCCION DEL ARBOL DE FALLAS

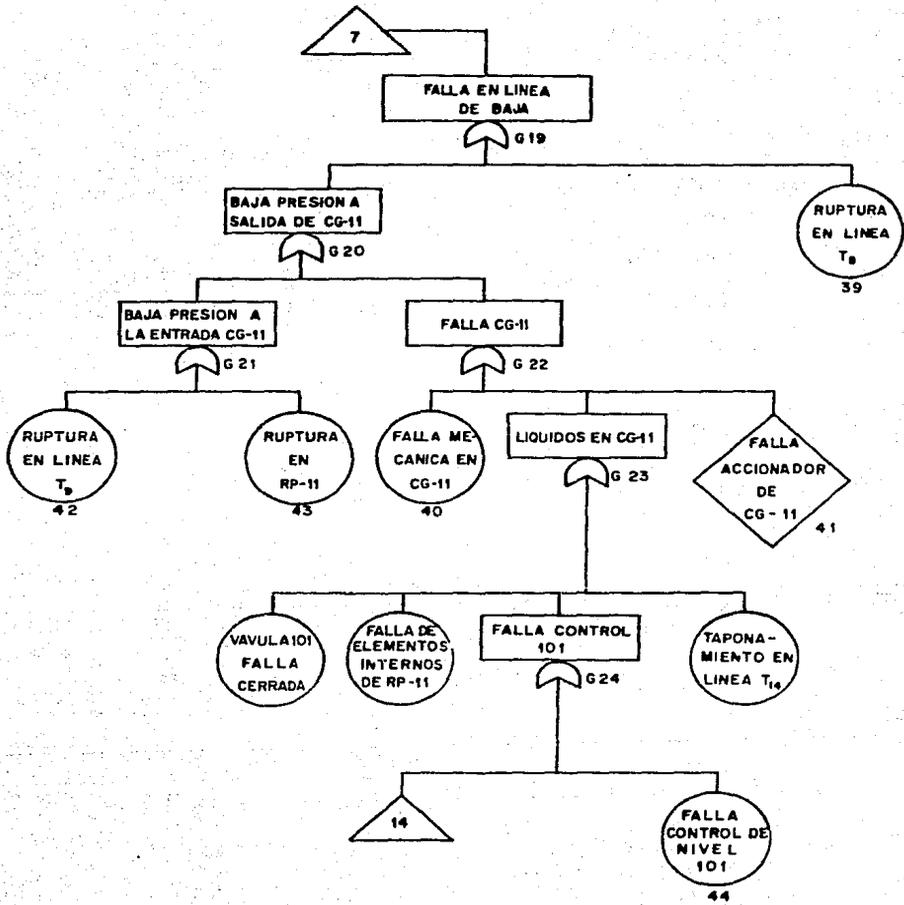


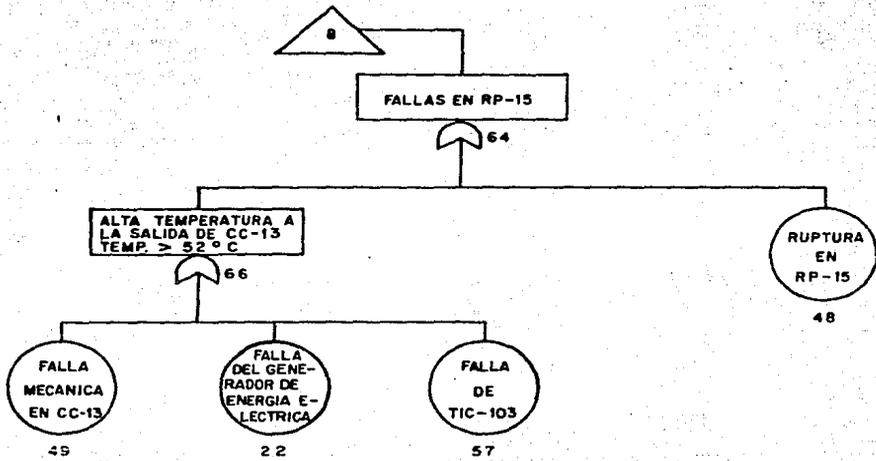


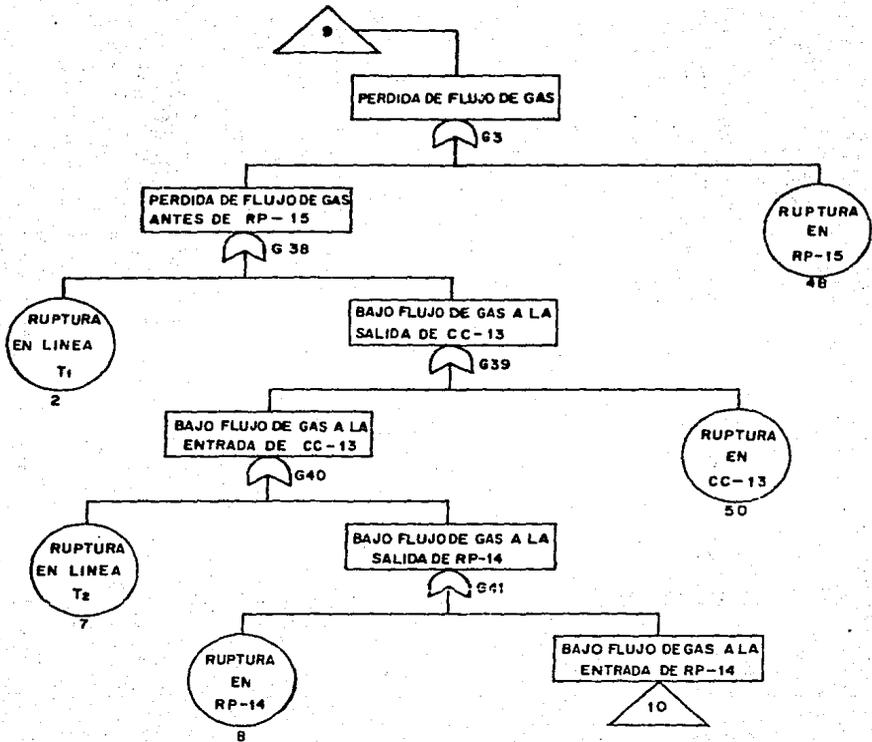


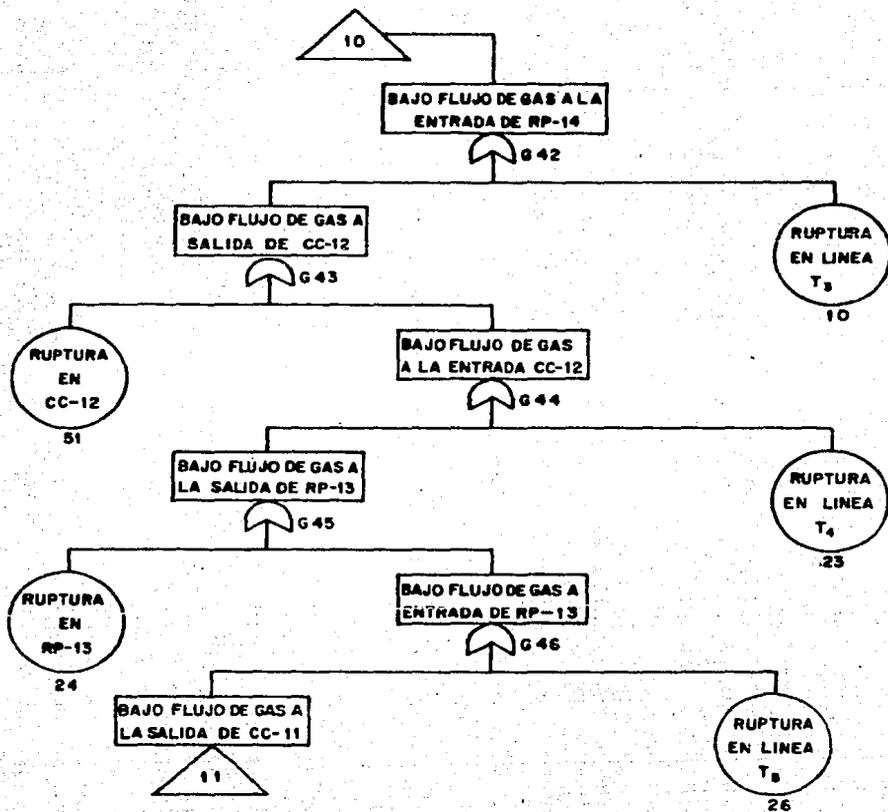


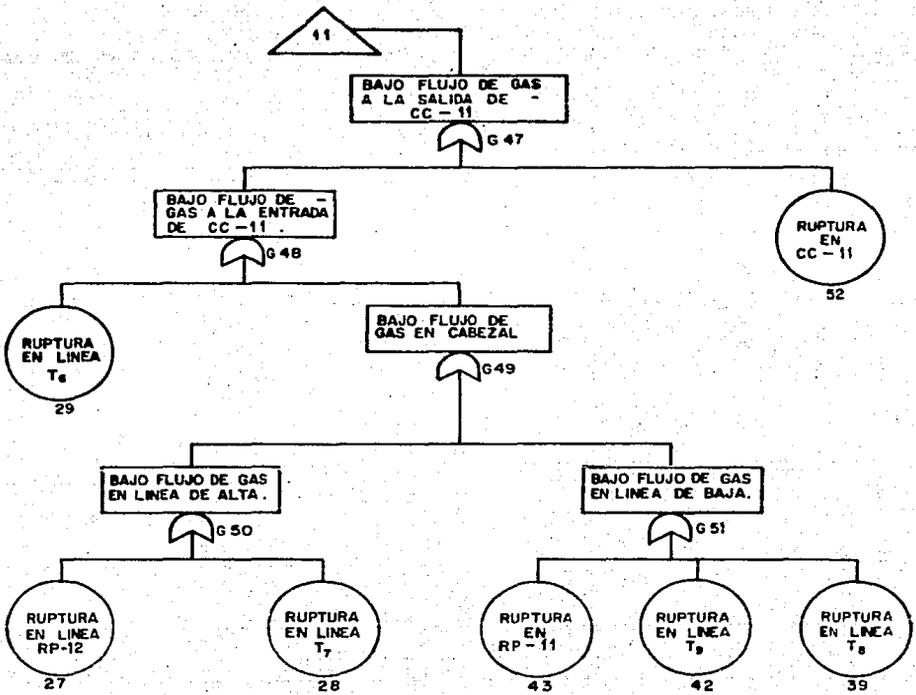


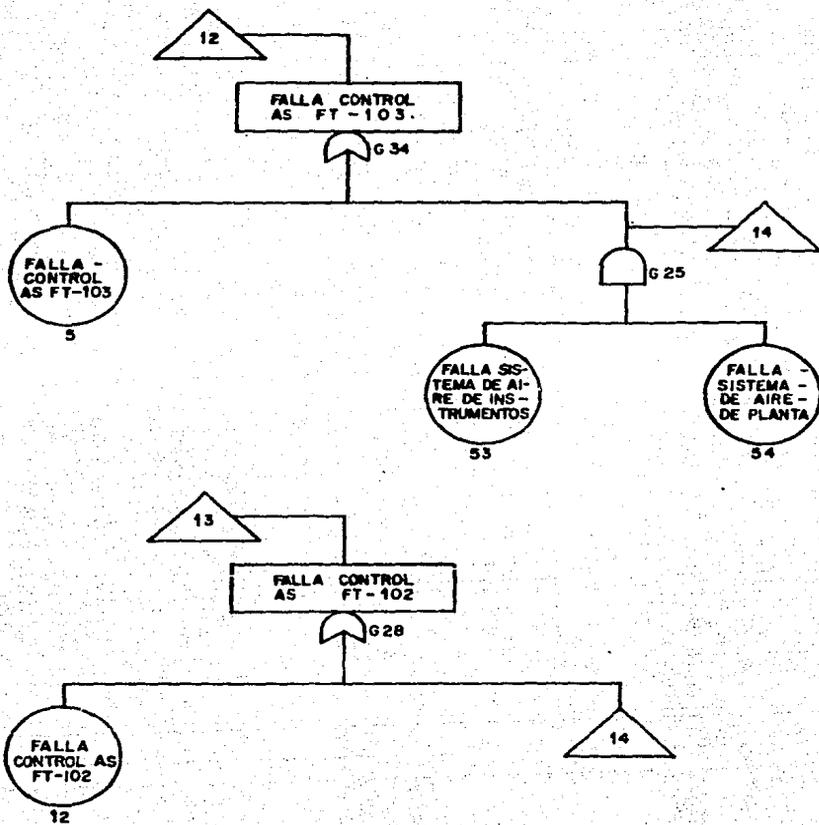












5.2 EVALUACION

5.2.1 ANALISIS CUALITATIVO

En la evaluación cualitativa se analizan y calculan todos los conjuntos mínimos de corte por el método -- "Arriba-Abajo". Esta metodología como ya fue explicada en el Capítulo III, empieza en el evento tope siguiendo una secuencia lógica y sustituyendo cada compuerta por sus -- eventos de entrada hasta llegar a los eventos básicos, eliminando eventos repetidos por medio de las reglas del álgebra booleana.

En total se obtuvieron 55 conjuntos mínimos de -- corte de un componente y un conjunto mínimo de corte de dos componentes.

Desarrollo de la obtención de los conjuntos de corte los cuales son resumidos en la Tabla 5-1.

$$G1 = G2+G3$$

$$G2 = G4+G5$$

$$G4 = G6 + 48$$

$$G4 = 49+22+57+48$$

$$G5 = 1+G7+2$$

$$G5 = 1+2+G8+G9$$

$$G5 = 1+2+G10+7+G9$$

$$G5 = 1+2+7+8+G11+G9$$

$$G5 = 1+2+7+8+9+10+G12+G9$$

$$G5 = 1+2+7+8+9+10+G13+G14+G9$$

$$G5 = 1+2+7+8+9+10+23+G15+G14+G9$$

$$G5 = 1+2+7+8+9+10+23+24+G16+G14+G9$$

$$G5 = 1+2+7+8+9+10+23+24+25+26+G17+G14+G9$$

$$G5 = 1+2+7+8+9+10+23+24+25+26+G18+G19+G14+G9$$

$$G5 = 1+2+7+8+9+10+23+24+25+26+27+28+29+G19+G14+G9$$

$$G5 = 1+2+7+8+9+10+23+24+25+26+27+28+29+39+G20++G14+G9$$

$$G5 = 1+2+7+8+9+10+23+24+25+26+27+28+29+39+G21+G22+G14+G9$$

$$G5 = 1+2+7+8+9+10+23+24+25+26+27+28+29+39+42+43+40+41+G23+G14+G9$$

$$G5 = 1+2+7+8+9+10+23+24+25+26+27+28+29+39+42+43+40+41+45+46+47 \\ +G24+G14+G9$$

$$G5 = 1+2+7+8+9+10+23+24+25+26+27+28+29+39+42+43+40+41+45+46+47 \\ +44+G25+G14+G9$$

$$G5 = 1+2+7+8+9+10+23+24+25+26+27+28+29+39+42+43+ 40+41+45+46+47 \\ +44+53.54+G14+G9$$

$$G5 = 1+2+7+8+9+10+23+24+25+26+27+28+29+39+42+43+40+41+45+46+47 \\ +44+53.54+11+13+ 4+G26+G27+G28+G9$$

$$G5 = 1+2+7+8+9+10+23+24+25+26+27+28+29+39+42+43+40+41+45+46+47 \\ +44+53.54+11+13+ 4+G29+G30+G27+G28+G9$$

$$G5 = 1+2+7+8+9+10+23+24+25+26+27+28+29+39+42+43+40+41+45+46+47 \\ +44+53.54+11+13+ 4+30+32+33+G31+G30+G27+G28+G9$$

$$G5 = 1+2+7+8+9+10+23+24+25+26+27+28+29+39+42+43+40+41+45+46+47 \\ +44+53.54+11+13+ 4+30+32+33+31+53.54+34+36+37+ G32+G27+G28 \\ +G9$$

$$G5 = 1+2+7+8+9+10+23+24+25+26+27+28+29+39+42+43+40+41+45+46+47 \\ +44+53.54+11+13+ 4+30+32+33+31+34+36+37+35+53.54+38+22+56 \\ +12+53.54+G9$$

$$G5 = 1+2+7+8+9+10+23+24+25+26+27+28+29+39+42+43+40+41+45+46+47 \\ +44+53.54+11+13+ 4+30+32+33+31+34+36+37+35+38+22+56+12+ 3 \\ + 4+ 6+21+22+55+ 5+53.54+14+17+19+20+15+16+53.54+18+53.54$$

$$G2 = 49+22+57+48+ 1+ 2+ 7+ 8+ 9+10+23+24+25+26+27+28+29+39+42 \\ +43+40+41+45+46+47+44+53.54+11+13+ 4+30+32+33+31+34+36+37 \\ +35+38+22+56+12+ 3+ 6+21+55+ 5+14+17+19+20+15+16+18$$

$$G3 = 48+G38$$

$$G3 = 48+2+G39$$

$$G3 = 48+2+50+G40$$

$$G3 = 48+2+50+7+G41$$

$$G3 = 48+2+50+7+8+G42$$

$$G3 = 48+2+50+7+8+10+G43$$

$$G3 = 48+2+50+7+8+10+51+G44$$

$$G3 = 48+2+50+7+8+10+51+23+G45$$

$$G3 = 48+2+50+7+8+10+51+23+24+G46$$

$$G3 = 48+2+50+7+8+10+51+23+24+26+G47$$

$$G3 = 48+2+50+7+8+10+51+23+24+26+52+G48$$

$$G3 = 48+2+50+7+8+10+51+23+24+26+52+29+G49$$

$$G3 = 48+2+50+7+8+10+51+23+24+26+52+29+G50+G51$$

$$G3 = 48+2+50+7+8+10+51+23+24+26+52+29+27+28+43+42+39$$

$$G1 = 49+22+57+48+ 1+ 2+ 7+ 8+ 9+10+23+24+25+26+27+28+29+39+42 \\ +43+40+41+45+46+47+44+53.54+11+13+ 4+30+32+33+31+34+36+37 \\ +35+38+56+12+ 3+ 6+21+55+ 5+14+17+19+20+15+16+18+50+51+52$$

TABLA 5-1

Conjuntos Mínimos de Corte

EVENTOS BASICOS	CONJUNTOS MINIMOS DE CORTE
Taponamiento en CC-13	1
Ruptura en línea T1	2
Falla mecánica en CG-13	3
Falla accionador TR-1	4
Falla control AS FT-103	5
Válvula AS 103 falla cerrada	6
Ruptura en línea T2	7
Ruptura en RP-14	8
Taponamiento en CC-12	9
Ruptura en línea T3	10
Válvula AS 102 falla cerrada	11
Falla control AS FT-102	12
Falla mecánica en CG-12	13
Taponamiento en línea T11	14
Taponamiento en línea T12	15
Falla control de nivel 107	16
Válvula 108 falla cerrada	17
Falla control de nivel 108	18
Válvula 107 falla cerrada	19
Falla de elementos internos RP-14	20

Falla mecánica en CC-12	21
Falla del Generador de Energía Eléctrica	22
Ruptura en línea T4	23
Ruptura en RP-13	24
Taponamiento en CC-11	25
Ruptura en línea T5	26
Ruptura en RP-12	27
Ruptura en línea T7	28
Ruptura en línea T6	29
Falla de elementos internos de RP-13	30
Falla control de nivel 105	31
Válvula 105 falla cerrada	32
Taponamiento en línea T13	33
Falla de elementos internos RP-12	34
Falla control de nivel 102	35
Válvula 102 falla cerrada	36
Taponamiento en línea T-15	37
Falla mecánica en CC-11	38
Ruptura en línea T8	39
Falla mecánica de CG-11	40
Falla accionador de CG-11	41
Ruptura en línea T9	42
Ruptura en RP-11	43
Falla control de nivel 101	44
Válvula 101 falla cerrada	45
Falla de elementos internos de RP-11	46
Taponamiento en línea T14	47

Ruptura en RP-15	48
Falla mecánica de CC-13	49
Ruptura en CC-13	50
Ruptura en CC-12	51
Ruptura en CC-11	52
Falla sistema de aire de instrumentos	53.54
Falla sistema de aire de planta	53.54
Falla de TIC-102	55
Falla de TIC-101	56
Falla de TIC-103	57

5.2.2 ANÁLISIS CUANTITATIVO

Una vez realizada la evaluación cualitativa se procede a la evaluación cuantitativa del árbol de fallas, las tasas de falla utilizadas fueron obtenidas, parte de la -- literatura y otra parte mayor de pláticas con personal especializado en la operación de plataformas de compresión. Cabe mencionar que estos datos son genéricos, por lo que los valores de probabilidad obtenidos en el análisis representan adecuadamente el orden de magnitud de los parámetros probabilísticos de la plataforma de compresión, en caso de requerirse mayor exactitud será necesario contar con datos específicos de los componentes (fabricante, medio ambiente, etc.), cosa que es generalmente difícil a

nivel de diseño preliminar. Sin embargo, consideremos que los resultados del estudio son representativos de la plataforma de compresión analizada.

Para el cálculo inicial se supone que todos los componentes del sistema son reparables.

La probabilidad de ocurrencia es obtenida por medio de la ecuación 5-1:

$$Q_i = \lambda_i \tau_i \dots\dots\dots 5-1$$

Donde

Q_i probabilidad de ocurrencia

λ_i Tasa de falla (Falla/Hr)

τ_i Tiempo de reparación (Hr)

A partir de esta probabilidad de ocurrencia se obtiene la probabilidad tope (Q_{tope}):

$$Q_{tope} \cong \sum_{i=1}^n Q_{CMC_i} \dots\dots\dots 5-2$$

$$Q_{CMC_i} = \prod_{i=1}^n Q_{eventos \text{ que intervienen en el CMC}} \dots\dots 5-3$$

En la Tabla 5-2 se muestran las tasas de falla, -
tiempos de reparación y la probabilidad de ocurrencia de
los eventos básicos.

TABLA 5-2
 Datos de Falla, Reparación y Probabilidad
 de Ocurrencia

EB EVENTO BASICO	(Falla/Hr) TASA DE FALLA	(Hr) TIEMPO DE REPARACION	Q PROBABILIDAD DE OCURRENCIA
1.- Taponamiento en CC-13	2.28×10^{-5}	24	5.47×10^{-4}
2.- Ruptura en línea T1	-	-	-
3.- Falla mecánica de CG-13	1.14×10^{-4}	252	2.87×10^{-2}
4.- Falla accionador TR-1	1.14×10^{-4}	168	1.91×10^{-2}
5.- Falla control AS FT-103	1.14×10^{-4}	4	4.56×10^{-4}
6.- Válvula AS 103 falla cerrada	2.28×10^{-5}	4	9.12×10^{-5}
7.- Ruptura en línea T2	-	-	-
8.- Ruptura en RP-14	-	-	-
9.- Taponamiento en CC-12	2.28×10^{-5}	24	5.47×10^{-4}
10.- Ruptura en línea T3	-	-	-
11.- Válvula AS 102 falla cerrada	2.28×10^{-5}	4	9.12×10^{-5}
12.- Falla control AS FT-102	1.14×10^{-4}	4	4.56×10^{-4}
13.- Falla mecánica en CG-12	1.14×10^{-4}	252	2.87×10^{-2}
14.- Taponamiento en línea T11	-	-	-
15.- Taponamiento en línea T12	-	-	-
16.- Falla de control de nivel 107	1.14×10^{-4}	4	4.56×10^{-4}

EB	(Falla/Hr)	(Hr)	Q
17.- Válvula 108 falla cerrada	2.28×10^{-5}	4	9.12×10^{-5}
18.- Falla control de nivel 108	1.14×10^{-4}	4	4.56×10^{-4}
19.- Válvula 107 falla cerrada	2.28×10^{-5}	4	9.12×10^{-5}
20.- Falla de elementos internos de RP-14	2.28×10^{-5}	4	9.12×10^{-5}
21.- Falla mecánica en CC-12	2.28×10^{-5}	120	2.74×10^{-3}
22.- Falla de generador de energía eléctrica	2.28×10^{-5}	120	2.74×10^{-3}
23.- Ruptura en línea T4	-	-	-
24.- Ruptura en RP-13	-	-	-
25.- Taponamiento en CC-11	2.28×10^{-5}	24	5.47×10^{-4}
26.- Ruptura en línea T5	-	-	-
27.- Ruptura en RP-12	-	-	-
28.- Ruptura en línea T7	-	-	-
29.- Ruptura en línea T6	-	-	-
30.- Falla de elementos internos de RP-13	1.14×10^{-4}	24	2.74×10^{-3}
31.- Falla control de nivel 105	1.14×10^{-4}	4	4.56×10^{-4}
32.- Válvula 105 falla cerrada	2.28×10^{-5}	4	9.12×10^{-5}
33.- Taponamiento en línea T3	-	-	-
34.- Falla de elementos internos de RP-12	1.14×10^{-4}	24	2.74×10^{-3}
35.- Falla control de nivel 102	1.14×10^{-4}	4	4.56×10^{-4}

EB	(Falla/Hr)	(Hr)	Q
36.- Válvula 102 falla cerrada	2.28×10^{-5}	4	9.12×10^{-5}
37.- Taponamiento en línea T15	-	-	-
38.- Falla mecánica en CC-11	2.28×10^{-5}	120	2.74×10^{-3}
39.- Ruptura en línea T8	-	-	-
40.- Falla mecánica de CG-11	1.14×10^{-4}	120	1.37×10^{-2}
41.- Falla accionador de CG-11	1.14×10^{-4}	168	1.91×10^{-2}
42.- Ruptura en línea T9	-	-	-
43.- Ruptura en RP-11	-	-	-
44.- Falla control de nivel 101	1.14×10^{-4}	4	4.56×10^{-4}
45.- Válvula 101 falla cerrada	2.28×10^{-5}	4	9.12×10^{-5}
46.- Falla de elementos inter- nos de RP-11	1.14×10^{-4}	24	2.74×10^{-3}
47.- Taponamiento en línea T14	-	-	-
48.- Ruptura en RP-15	-	-	-
49.- Falla mecánica de CC-13	2.28×10^{-5}	120	2.74×10^{-3}
50.- Ruptura en CC-13	-	-	-
51.- Ruptura en CC-12	-	-	-
52.- Ruptura en CC-11	-	-	-
53.- Falla sistema de aire de instrumentos.	2.28×10^{-5}	4	9.12×10^{-5}

EB	(Falla/Hr)	(Hr)	Q
54.- Falla sistema de aire de planta	2.28×10^{-5}	4	9.12×10^{-5}
55.- Falla de TIC-102	1.14×10^{-4}	4	4.56×10^{-4}
56.- Falla TIC-101	1.14×10^{-4}	4	4.56×10^{-4}
57.- Falla de TIC-103	1.14×10^{-4}	4	4.56×10^{-4}

NOTA:

Estará en función de disponibilidad de refacciones y/o materiales; si se requiere conseguirlos, considerar una semana.

El desarrollo para la obtención de la probabilidad de ocurrencia será:

$$\text{QCMC G4} = 49+22+57+48$$

$$\text{QCMC G4} = (2.74 \times 10^{-3}) + (2.74 \times 10^{-3}) + (4.56 \times 10^{-4})$$

$$\text{QCMC G4} = 5.94 \times 10^{-3}$$

$$\begin{aligned} \text{QCMC G5} &= 1+2+7+8+9+10+23+24+25+26+27+28+29+39 \\ &+ 42+43+40+41+45+46+47+44+53.54+11+13+ 4 \\ &+ 30+32+33+31+34+36+37+35+38+22+56+12 \\ &+ 3+ 6+21+55+ 5+14+17+19+20+15+16+18 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{QCMC G5} &= 5.47 \times 10^{-4} + 5.47 \times 10^{-4} + 5.47 \times 10^{-4} + 1.37 \times 10^{-2} + 1.91 \times 10^{-2} + \\ &9.12 \times 10^{-5} + 2.74 \times 10^{-3} + 4.56 \times 10^{-4} + (9.12 \times 10^{-5} \times 9.12 \times 10^{-5}) + \\ &9.12 \times 10^{-5} + 2.87 \times 10^{-2} + 1.91 \times 10^{-2} + 2.74 \times 10^{-3} + 9.12 \times 10^{-5} + \\ &4.56 \times 10^{-4} + 2.74 \times 10^{-3} + 9.12 \times 10^{-5} + 4.56 \times 10^{-4} + 2.74 \times 10^{-3} + \\ &2.74 \times 10^{-3} + 4.56 \times 10^{-4} + 4.56 \times 10^{-4} + 2.87 \times 10^{-2} + 9.12 \times 10^{-5} + \\ &2.74 \times 10^{-3} + 4.56 \times 10^{-4} + 4.56 \times 10^{-4} + 9.12 \times 10^{-5} + 9.12 \times 10^{-5} + \\ &9.12 \times 10^{-5} + 4.56 \times 10^{-4} + 4.56 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

$$\text{QCMC G5} = 0.1322$$

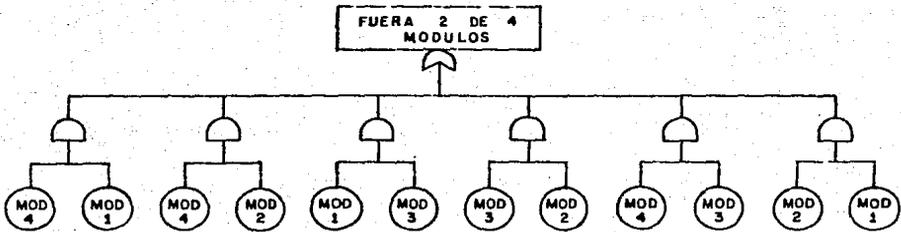
$$\text{QCMC G2} = 5.94 \times 10^{-3} + 0.1322$$

$$\text{QCMC G2} = 0.1381$$

$$\begin{aligned} \text{QCMC G3} &= 48+ 2+50+7+8+10+51+23+24+26+52+29+27+ \\ &28+43+42+39 = 0 \end{aligned}$$

$$\text{QTope} = \text{G2} + \text{G3}$$

$$\text{QTope} = 0.1381$$



El cálculo de la probabilidad de este evento tope se realiza mediante el siguiente desarrollo:

$$QE = 1 - [(1 - q_1 q_4)(1 - q_2 q_4)(1 - q_1 q_3)(1 - q_3 q_2)(1 - q_2 q_3)(1 - q_2 q_1)]$$

$$QE = 1 - [(1 - q_1 q_4)(1 - q_2 q_4) \dots]$$

$$QE = 1 - [(1 - q_1 q_4 - q_2 q_4 + q_1 q_2 q_4)(1 - q_1 q_3) \dots]$$

$$QE = 1 - [(1 - q_1 q_4 - q_2 q_4 + q_1 q_2 q_4 - q_1 q_3 + q_1 q_3 q_4)(1 - q_2 q_3) \dots]$$

$$QE = 1 - (1 - Q_1 Q_4 - Q_2 Q_4 + Q_1 Q_2 Q_4 - Q_1 Q_3 + Q_1 Q_3 Q_4 - Q_2 Q_3 + Q_2 Q_3 Q_4 + Q_1 Q_2 Q_3 - Q_1 Q_2 Q_3 Q_4)(1 - Q_4 Q_3) \dots$$

$$QE = 1 - (1 - Q_1 Q_4 - Q_2 Q_4 + Q_1 Q_2 Q_4 - Q_1 Q_3 + Q_1 Q_3 Q_4 - Q_2 Q_3 + Q_2 Q_3 Q_4 + Q_1 Q_2 Q_3 - Q_1 Q_2 Q_3 Q_4 - Q_4 Q_3 + Q_1 Q_3 Q_4 + Q_2 Q_3 Q_4 - Q_1 Q_2 Q_3 Q_4 + Q_2 Q_3 Q_4 - Q_1 Q_2 Q_3 Q_4)(1 - Q_2 Q_1) \dots$$

$$QE = 1 - (1 - Q_1 Q_4 - Q_2 Q_4 + Q_1 Q_2 Q_4 - Q_1 Q_3 + Q_1 Q_3 Q_4 - Q_2 Q_3 + Q_2 Q_3 Q_4 + Q_1 Q_2 Q_3 - Q_1 Q_2 Q_3 Q_4 - Q_4 Q_3 + Q_1 Q_3 Q_4 + Q_2 Q_3 Q_4 - Q_2 Q_1 Q_3 Q_4 + Q_2 Q_3 Q_4 - Q_1 Q_2 Q_3 Q_4 - Q_2 Q_1 + Q_1 Q_2 Q_4 - Q_1 Q_2 Q_3 Q_4 + Q_1 Q_2 Q_3 + Q_1 Q_2 Q_3 Q_4)$$

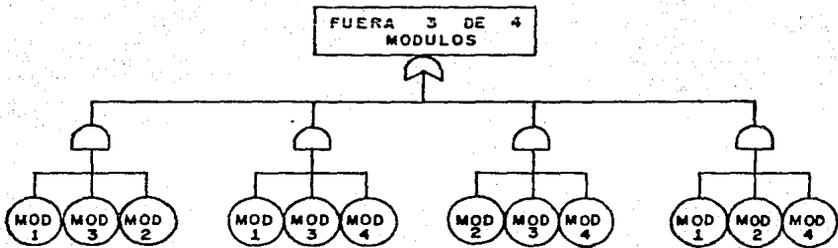
$$QE = 1 - (1 - Q_1 Q_4 - Q_2 Q_4 - Q_1 Q_3 - Q_2 Q_3 - Q_2 Q_1 - Q_4 Q_3 + 2 Q_1 Q_2 Q_4 + 2 Q_1 Q_3 Q_4 + 3 Q_2 Q_3 Q_4 + 2 Q_1 Q_2 Q_3 - 4 Q_1 Q_2 Q_3 Q_4)$$

$$QE = 1 - 1 - (0.1381)^2 - (0.1381)^2 - (0.1381)^2 - (0.1381)^2 - (0.1381)^2 - (0.1381)^2 + 2(0.1381)^3 + 2(0.1381)^3 - 3(0.1381)^3 + 2(0.1381)^3 - 4(0.1381)^4$$

$$QE = 0.09220$$

Este valor de probabilidad representa 33.5 días fuera de servicio dos módulos de compresión.

Cálculo del evento tope "fuera 3 de 4 módulos". Es obtenido mediante el siguiente árbol de fallas:



El cálculo de la probabilidad de este evento tope se realiza mediante el siguiente desarrollo:

$$QE = 1 - [(1 - Q_1 Q_2 Q_3) (1 - Q_1 Q_3 Q_4) (1 - Q_2 Q_3 Q_4) (1 - Q_1 Q_2 Q_4)]$$

$$QE = 1 - [(1 - Q_1 Q_2 Q_3) (1 - Q_1 Q_3 Q_4) \dots]$$

$$QE = 1 - [(1 - Q_1 Q_3 Q_4 - Q_1 Q_2 Q_3 - Q_1 Q_2 Q_3 Q_4) (1 - Q_2 Q_3 Q_4) \dots]$$

$$QE = 1 - [(1 - Q_1 Q_3 Q_4 - Q_1 Q_2 Q_3 + Q_1 Q_2 Q_3 Q_4 - Q_2 Q_3 Q_4 + Q_1 Q_2 Q_3 Q_4) (1 - Q_1 Q_2 Q_4)]$$

$$QE = 1 - [(1 - Q_1 Q_3 Q_4 - Q_1 Q_2 Q_3 - Q_2 Q_3 Q_4 - Q_1 Q_2 Q_4 + Q_1 Q_2 Q_3 Q_4 + Q_1 Q_2 Q_3 Q_4 + Q_1 Q_2 Q_3 Q_4)]$$

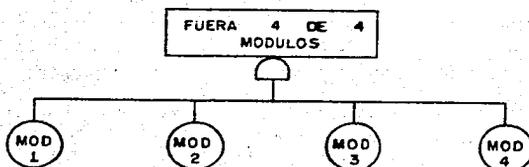
$$QE = 1 - [(1 - Q_1 Q_3 Q_4 - Q_1 Q_2 Q_3 - Q_2 Q_3 Q_4 - Q_1 Q_2 Q_4 + 3Q_1 Q_2 Q_3 Q_4)]$$

$$QE = 1 - [(0.1381)^3 - (0.1381)^3 - (0.1381)^3 - (0.1381)^3 + 3(0.1381)^4]$$

$$QE = 0.00944$$

Este valor de probabilidad representa 3.5 días fuera de servicio tres módulos de compresión.

Cálculo del evento tope "fuera 4 de 4 módulos". Es obtenido mediante el siguiente árbol de fallas:



El cálculo de la probabilidad de este evento topc se realiza mediante el siguiente desarrollo:

$$QE = 1 - [1 - Q_1 Q_2 Q_3 Q_4]$$

$$QE = 1 - [1 - (0.1381)^4]$$

$$QE = 0.000364$$

Este valor de probabilidad representa 3 horas fuera de servicio los cuatro módulos de compresión.

5.3 ANALISIS DE IMPORTANCIAS

Este análisis se realizó por medio del método Fussell-Vesely y los resultados se encuentran resumidos en la Tabla 5-3. Es de hacerse notar que los conjuntos mínimos de corte más importantes son falla mecánica en - CG-13, falla mecánica en CG-12, falla accionador TR-1, falla accionador de CG-11 y falla mecánica en CG-11 en esta secuencia de importancia respectivamente.

Análisis de Importancias.**(Fussell-Vesely)**

Importancia de componentes

$$I^{FV}(E_i) = \frac{Q(\text{Unión de todos los CMC donde aparece el evento básico})}{P(\text{Tope})}$$

Importancia de CMC

$$I^{FV}(E_i \dots E_n) = \frac{Q(\text{CMC})}{Q(\text{Tope})}$$

TABLA 5-3

Análisis de Importancias

Eventos	Imp. de Componentes	%	Imp. de CMC	%
1.-Taponamientos en CC-13	3.96×10^{-3}	0.403	3.96×10^{-3}	0.404
2.-Ruptura en línea T1	0		0	
3.-Falla mecánica en CG-13	0.208	21.19	0.208	21.22
4.-Falla accionador TR-1	0.138	14.06	0.138	14.08
5.-Falla control AS FT-103	3.3×10^{-3}	0.336	3.3×10^{-3}	0.337
6.-Válvula AS 103 falla cerrada	6.6×10^{-4}	0.067	6.6×10^{-4}	0.067
7.-Ruptura en línea T2	0		0	
8.-Ruptura en RP-14	0		0	
9.-Taponamiento en CC-12	4.16×10^{-3}	0.424	4.16×10^{-3}	0.424
10.-Ruptura en línea T3	0		0	
11.-Válvula AS 102 falla cerrada	6.6×10^{-4}	0.067	6.6×10^{-4}	0.067
12.-Falla control AS FT-102	3.3×10^{-3}	0.336	3.3×10^{-3}	0.337
13.-Falla mecánica en CG-12	0.208	21.19	0.208	21.22
14.-Taponamiento en línea T11	0		0	
15.-Taponamiento en línea T12	0		0	

16.-Falla control de nivel 107	3.3×10^{-3}	0.336	3.3×10^{-3}	0.337
17.-Válvula 108 falla cerrada	6.6×10^{-4}	0.067	6.6×10^{-4}	0.067
18.-Falla control de nivel 108	3.3×10^{-3}	0.336	3.3×10^{-3}	0.337
19.-Válvula 107 falla cerrada	6.6×10^{-4}	0.067	6.6×10^{-4}	0.067
20.-Falla de elementos internos - RP-14	6.6×10^{-4}	0.067	6.6×10^{-4}	0.067
21.-Falla mecánica en CC-12	1.98×10^{-2}	2.017	1.98×10^{-2}	2.02
22.-Falla del generador de energía eléctrica	1.98×10^{-2}	2.017	1.98×10^{-2}	2.02
23.-Ruptura en línea T4	0		0	
24.-Ruptura en RP-13	0		0	
25.-Taponamiento en CC-11	4.16×10^{-3}	0.424	4.16×10^{-3}	0.424
26.-Ruptura en línea T5	0		0	
27.-Ruptura en RP-12	0		0	
28.-Ruptura en línea T7	0		0	
29.-Ruptura en línea T6	0		0	
30.-Falla de elementos internos de RP-13	1.98×10^{-2}	2.017	1.98×10^{-2}	2.02
31.-Falla control de nivel 105	3.3×10^{-3}	0.336	3.3×10^{-3}	0.337

32.-Válvula 105 falla cerrada	6.6×10^{-4}	0.067	6.6×10^{-4}	0.067
33.-Taponamiento en línea T13	0		0	
34.-Falla de elementos internos RP-12	1.98×10^{-2}	2.017	1.98×10^{-2}	2.02
35.-Falla control de nivel 102	3.3×10^{-3}	0.336	3.3×10^{-3}	0.337
36.-Válvula 102 falla cerrada	6.6×10^{-4}	0.067	6.6×10^{-4}	0.067
37.-Taponamiento en línea T-15	0		0	
38.-Falla mecánica en CC-11	1.98×10^{-2}	2.017	1.98×10^{-2}	2.02
39.-Ruptura en línea T8	0		0	
40.-Falla mecánica de CG-11	9.92×10^{-2}	10.10	9.92×10^{-2}	10.12
41.-Falla accionador de CG-11	0.138	14.06	0.138	14.08
42.-Ruptura en línea T9	0		0	
43.-Ruptura en RP-11	0		0	
44.-Falla control de nivel 101	3.3×10^{-3}	0.336	3.3×10^{-3}	0.337
45.-Válvula 101 falla cerrada	6.6×10^{-4}	0.067	6.6×10^{-4}	0.067
46.-Falla de elementos internos de RP-11	1.98×10^{-2}	2.017	1.98×10^{-2}	2.02
47.-Taponamiento en línea T14	0		0	
48.-Ruptura en RP-13	0		0	

49.--Falla mecánica de CC-13	1.98×10^{-2}	2.017	1.98×10^{-2}	2.02
50.--Ruptura en CC-13	0		0	
51.--Ruptura en CC-12	0		0	
52.--Ruptura en CC-11	0		0	
53.--Falla sistema de aire de instrumentos	6.6×10^{-4}	0.067	-	
54.--Falla sistema de aire de planta	6.6×10^{-4}	0.067	-	
55.--Falla de TIC-102	3.3×10^{-3}	0.336	3.3×10^{-3}	0.337
56.--Falla de TIC-101	3.3×10^{-3}	0.336	3.3×10^{-3}	0.337
57.--Falla de TIC-103	3.3×10^{-3}	0.336	3.3×10^{-3}	0.337
-CMC 53.54	-		6.02×10^{-8}	6.14×10^{-6}

5.4 Alternativas de mejoramiento de la Plataforma de Compresión

En vista de que la probabilidad tope no se considera aceptable y teniendo en cuenta mejorar la producción de gas natural se sugieren diversos casos de mejoramiento en el funcionamiento de la plataforma modificando los equipos críticos de su diseño preliminar. Estos resultados se encuentran resumidos en la tabla 5.4

Caso A

Se trabaja con un nivel de alta presión con una tasa de falla tres veces menor, esto es que CG-12, CG-13 y TR-1 tengan una tasa de falla tres veces menor.

Caso B

Si se trabaja con los compresores CG-12, CG-13 y el accionador TR-1 con tasa de falla cinco veces menor.

Caso C

Si se trabaja con un nivel de alta presión con una tasa de falla tres veces menor y con un nivel de baja presión con una tasa de falla tres veces menor, esto es que CG-12, CG-13 y CG-11, accionador TR-1 y accionador CG-11 tengan una tasa de falla tres veces menor.

Caso D

Si se trabaja con un nivel de alta presión y un nivel de baja presión con una tasa de falla cinco veces menor, esto es que CG-12, CG-13, CG-11, accionador TR-1 y accionador CG-11 tengan una tasa de falla cinco veces menor.

TABLA 5-4
Resultados de las Modificaciones
de la Plataforma

	Diseño Preliminar	Caso A	Caso B	Caso C	Caso D
Prob. de falla :					
1 de 4	0.1381	0.08714	0.07693	0.06528	0.0507
Fuera de Ser- vicio	49 días	31 días	27 días	23 días	18 días
2 de 4	0.09220	0.0396	0.03155	0.0231	0.0143
Fuera de Ser- vicio	33.5 días	14 días	11 días	8 días	5 días
3 de 4	0.0944	0.00247	0.00172	0.00106	0.0005015
Fuera de Ser- vicio	3.5 días	21Hr	14.6 Hr	9 Hr	4 Hr
4 de 4	0.000364	0.0000577	0.000035	0.000018	0.00000666
Fuera de Ser- vicio.	3 Hr	29 Min	18 Min.	9 Min.	3 Min.

Los resultados obtenidos indican la gran utilidad del AAF para estudiar y mejorar la fiabilidad de equipos y sistemas; por ejemplo, gracias al AAF - podremos darnos cuenta de que los principales equipos de falla de la plataforma de compresión es el nivel de alta presión, esto es los compresores centrífugos CG-12 y CG-13 así como la turbina TR-1.

Los accionadores TR-1 y el CG-11 no fueron desarrollados en la construcción del árbol de fallas debido a que su desarrollo representaría un análisis tan extenso como el mostrado en la figura 5.1 y para que el enfoque de este estudio no es tan importante el análisis a fondo de dichos accionadores solo la falla total del accionador.

Podemos decir que la pérdida de flujo de gas no es tan importante por tener una probabilidad nula, pero no podemos descartar la ocurrencia de este evento aunque este fuese la causa de la destrucción de la plataforma.

La fiabilidad de la plataforma fue mejorada en un 36.7 %.

CONCLUSIONES

En este trabajo se realizó la fiabilidad, de un diseño preliminar de una plataforma de compresión y se sugirieron modificaciones al mismo que siendo de fácil implementación mejoran la fiabilidad de dicha plataforma cubriendo uno de los objetivos planteados.

Concluyendo sobre los métodos. Así como fue desarrollado el AAF, también se puede llevar a cabo en cualquiera de las metodologías, AAE, Análisis de Arreglos Redundantes de equipos y el método Markov, aunque este último es muy complicado en su análisis cuantitativo.

Con respecto a los métodos simples o no reparables, su desventaja con los métodos complejos o reparables es que existen dos estados posibles -- operando y abandonado y dada esta condición no son aplicables para procesos complejos como el ejemplo citado en este trabajo.

Es muy importante darse cuenta que el uso del AAF podría reportar tremendas ventajas económicas a una empresa, ya que nos permite conocer en que áreas invertir para obtener las máximas mejoras en fiabilidad.

El AAF es una herramienta muy poderosa en la toma de decisiones tendientes a obtener mejores diseños de sistemas, permitiendonos cuantificar los efectos sobre la fiabilidad, de cambios en el diseño de componentes, sistemas y en las políticas de inspección y mantenimiento.

Resulta evidente que aún para sistemas relativamente sencillos es muy difícil responder a preguntas tales como :

¿ Qué tan seguro es el sistema ? : ¿Cuál es su fiabilidad ? : ¿ Qué impacto cuantitativo tendrá en su fiabilidad ? : ¿ Si hago tal o cual modificación ? :
¿ Cuáles son los puntos débiles del sistema ? : ¿ Dónde debo invertir para me jo ra r ? : ¿ Y cómo evalúo el costo-beneficio de dichas modificaciones ? : a -
menos que se usen metodologías como las descritas en los capítulos II y III.

En resumen podemos afirmar que el análisis del árbol de fallas cuenta -
con un enorme potencial para contribuir en las diversas ramas de la Ingeniería
para un mejor diseño, operación y evaluación de sistemas complejos.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- U.S. Nuclear Regulatory Commission, "Reactor Safety Study. An Assessment of Accident Risk in U.S. Commercial Nuclear Power Plants", Wash - 1400, (NUREG-75/014), Washington D.C., October, 1975
- 2.- W.E. Vesely, F.F. Goldberg, N.H. Roberts and D.F. - Haasl, "Fault Tree Handbook", USNRC Report NUREG-0492.
- 3.- M. Schwarzblat, J. Arellano "Modelos Probabilisticos para el Análisis de Fiabilidad de Sistemas", Memorias 3er. Seminario de Ingeniería Electrónica Electro-18, (1981).
- 4.- M. Schwarzblat, J. Arellano "AAF: Un método eficaz para mejorar la fiabilidad y seguridad de sistemas" , Amati Publicación del ITESM Año 1 No.1 Julio, Agosto, Sept./'85.
- 5.- W.E. Vesely, "A Time Dependent Methodology for Fault Tree Evaluation", Nucl. Eng. Des., 13, 337, (1970).

- 6.- H.E. Lambert, "Fault Trees for Decision Making in System Analysis", UCRL-51829. Lawrence Livermore Laboratory (1975).

- 7.- Sergio D. Renovato Carrion. "Diseño de una Plataforma de Compresión en la Sonda de Campeche". Tesis Profesional. Ing. Químico Industrial IPN Méx. D.F. 1982.