

00568  
3  
29



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**ANALISIS DE SISTEMAS PARA LA SEGURIDAD  
INDUSTRIAL EN UNA TERMINAL DE RECIBO,  
ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION DE  
CLORURO DE VINILO**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
**MAESTRO EN INGENIERIA QUIMICA**  
(ORIENTACION PROYECTOS)

P R E S E N T A  
**ARNULFO CHAVANDO RAMIREZ**



MEXICO, D. F.      OCTUBRE DE 1990

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **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.

# I N D I C E

Pág.

## RESUMEN

### CAPITULO I

INTRODUCCION ..... 1

1.1 OBJETIVO ..... 2

1.1.1 ANTECEDENTES ..... 3

### CAPITULO II

GENERALIDADES ..... 6

2.1 ANALISIS DE RIESGO ..... 7

2.1.1 ETAPAS EN EL ANALISIS DE RIESGO

### CAPITULO III

LA SEGURIDAD INDUSTRIAL EN PROYECTOS DE INGENIERIA

3.1 ASPECTOS DE DISEÑO DE PROCESO

E INSTRUMENTACION ..... 12

3.2 DIAGRAMAS ESQUEMATICOS DE FLUJO ..... 15

3.2.1 INFORMACION BASICA SOBRE INSTRUMENTACION ..... 17

3.3 TUBERIAS ..... 22

3.4 DISEÑO MECANICO ..... 23

3.4.1 CODIGOS APLICABLES ..... 24

3.5 PLANO DE PLANTA Y DISTRIBUCION ..... 27

### CAPITULO IV

LAS TECNICAS Y METODOS DE ANALISIS

PARA LA SEGURIDAD EN PROCESO

4.1 EL ANALISIS DE SEGURIDAD EN PROCESO ..... 35

4.1.1 DESCRIPCION DE LOS CAMPOS DE RIESGOS ..... 36

4.2	TECNICAS DEL INDICE DOW PARA FUEGO Y EXPLOSIONES .....	39
4.2.1	RIESGOS GENERALES DEL PROCESO .....	44
4.2.2	RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO .....	48
4.2.3	DETERMINACION DEL FACTOR DE RIESGO DE LA UNIDAD (FR <sub>3</sub> ) .....	58
4.2.4	DETERMINACION DEL INDICE DOW DE FUEGO Y EXPLOSIONES (IDFE)	
4.2.5	DETERMINACION DEL DAÑO MAXIMO PROBABLE A LA PROPIEDAD BASE (DMPP) .....	61
4.2.6	FACTORES DE CORRECCION POR MEDIDAS DE CONTROL DE PERDIDAS .....	62
4.2.7	DETERMINACION DE LOS MAXIMOS DIAS PROBABLES FUERA DE OPERACION .....	68
4.2.8	RESULTADOS DE ANALISIS	
4.3	TECNICA DE ¿QUE PASARIA SI. . .? .....	70
4.4	TECNICAS DE ANALISIS DE FALLAS Y EFECTOS (AFYE) .....	72
4.5	METODO: NUBES EXPLOSIVAS .....	81
4.5.1	FACTORES QUE DETERMINAN LA FORMACION DE NUBES EXPLOSIVAS .....	82
4.5.2	METODO DE CALCULO .....	83
4.6	METODO DEL ARBOL DE FALLAS .....	89
4.6.1	PROPOSITO Y FUNCION DEL ARBOL DE FALLAS .....	90
4.6.2	PROBABILIDAD .....	91
4.6.3	¿QUE ES UN ARBOL DE FALLAS?	
4.6.4	¿QUE ES UN ARBOL DE EVENTOS? .....	92
4.6.5	¿PARA QUE NOS SIRVE ESTA METODOLOGIA?	
4.6.6	CONSTRUCCIONES DEL ARBOL DE FALLAS	

4.6.6.1 INFORMACION BASICA PARA LA INTERPRETACION DEL DIAGRAMA DEL ARBOL DE FALLAS .....	92
4.6.6.2 CATEGORIAS DIFERENTES DE FALLAS Y EQUIPO .....	93

## CAPITULO V

APLICACION DE LOS ARBOLES DE FALLA PARA EL  
ANALISIS DE SEGURIDAD EN UNA TERMINAL DE -  
RECIBO, ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION DE -  
CLORURO DE VINILO

5.1 EL ANALISIS DE ARBOLES DE FALLAS .....	98
5.2 DEFINICION DEL SISTEMA .....	102
5.3 CONSTRUCCION DEL ARBOL DE FALLAS .....	127
5.3.1 SISTEMAS QUE SERAN ANALIZADOS DESFOGUE (T) .....	128
5.3.2 SELECCION DE LOS EVENTOS TOTALES DE FALLA .....	129
5.4 ANALISIS CUALITATIVO .....	134
5.4.1 FALLAS EN EL SISTEMA DE MEDICION	
5.4.1.1 CONJUNTOS MINIMOS DE CORTE .....	135
5.5 ANALISIS CUANTITATIVO	
5.5.1 RECOPIACION DE LOS DATOS DE FALLA .....	136
5.5.2 PROBABILIDADES DE LOS EVENTOS	
5.6 IMPORTANCIA PROBABILISTICA .....	140
5.7 TOMA DE DECISIONES .....	143
5.7.1 MANTENIMIENTO .....	144
5.8 ARBOL DE FALLAS EN EL SISTEMA DE REFRIGERACION .....	146
5.9 ARBOL DE FALLAS EN INDICADORES, ALARMAS Y EL SISTEMA DE SEGURIDAD EN LAS ESFERAS .....	149
5.10 ARBOL DE FALLAS EN EL REPRESIONAMIENTO TOTAL DE LAS ESFERAS DE ALMACENAMIENTO .....	152
5.11 ARBOL DE FALLAS POR FUEGO .....	163
5.12 ARBOL TOTAL DE FALLAS .....	165

**CAPITULO VI  
ANALISIS ECONOMICO**

6.1	SEGURIDAD - INGENIERIA DE VALOR .....	176
6.1.1	COSTO	
6.1.2	VALOR .....	177
6.1.3	PRECIO .....	180
6.2	RESULTADOS .....	184
6.3	OBSERVACIONES	

**CAPITULO VII  
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

CONCLUSIONES .....	186
RECOMENDACIONES .....	188

APENDICE A. FUNDAMENTOS DEL ANALISIS DE RIESGOS (Fundamentos Matemáticos) .....	A-1
--	-----

APENDICE B. ANALISIS ECONOMICO COSTO - BENEFICIO .....	B-1
---	-----

**REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

En cualquier industria moderna sea cual sea su naturaleza, prácticamente es imposible eliminar todos los riesgos que están presente o involucrados en las operaciones cotidianas.

En cualquier proyecto o instalación industrial, a la seguridad se le debe dar la importancia que amerita desde la fase de diseño. El poner poco énfasis a este concepto puede ser la causa de grandes pérdidas tanto humanas como económicas y en algunos casos estas pueden ser de proporciones incalculables. Por consiguiente, todo diseñador debe tener en mente los aspectos de seguridad y diseñar todas las instalaciones en base a los principios que permitan -- una alta confiabilidad de todos los equipos, los cuales -- tienen condicionantes y limitaciones fijas de presión, temperatura y composición, entonces es necesario contar con buenos sistemas de control que permitan mantener las condiciones de operación del proceso. Además es fundamental diseñar un sistema de instrumentación que detecte y reaccione frente a condiciones anormales en el mismo.

Hasta la fecha en cualquier sistema constituido por diferentes partes, algunos de sus componentes está sujeto de fallas, "el sistema perfecto de seguridad a prueba de falla total no ha sido diseñado", de forma que en el proyecto de una instalación, se tendrán que aceptar algunos riesgos, en donde lo importante será también conocer la naturaleza de los mismos y que pueden afectar.

## 1.1 OBJETIVO

El presente trabajo tiene como propósito establecer procedimientos para efectuar una evaluación de riesgos en la etapa de diseño de cualquier proyecto, así como en instalaciones ya existentes, mediante métodos de análisis con técnicas para estimar las probabilidades de que ocurra un accidente en un "espacio muestra" y métodos para decidir si la relación de riesgos es aceptable.

En particular, se presenta el estudio de seguridad a una terminal de recibo, almacenamiento y distribución de Cloruro de Vinilo empleando el método de "árboles de falla", con dos objetivos principales:

- a) Evaluar su aplicabilidad y valorar la bondad de la metodología.
- b) Cuantificar la seguridad del sistema estudiado.



### 1.1.1 ANTECEDENTES

#### PERSPECTIVAS HISTORICAS DEL ANALISIS DE RIESGOS EN EL MUNDO

El análisis de riesgos, nació como una necesidad de evitar los accidentes habidos en las plantas industriales, principalmente en la industria aeronáutica y con el fin de apoyar y desarrollar más rápidamente los programas espaciales y de balística nuclear.

1940 - 1950

Se empezaron a desarrollar modelos matemáticos de confiabilidad; Robert Lausser dedujo entonces la "Ley de los Productos de Series de Componentes" diciendo que:

"La confiabilidad de un sistema es igual al producto de la confiabilidad de sus componentes", es decir que:

$$R_s = R_1 \times R_2 \times R_3 \times \dots \times R_n$$

1950 - 1960

Esta década empezó a considerar matemáticamente los análisis de falla y los riesgos de falla consecuente de los sistemas, aunque el motivador de estos estudios seguía siendo el alto costo que representaban las fallas de los mismos.

Se empezaron a aplicar esfuerzos para entender y corregir - el "error humano", como un contribuyente a las fallas de los sistemas.

## 1969 - 1970

Se elaboran nuevas técnicas de análisis y una más amplia variedad de aplicaciones especializadas.

En 1969 D.F., Haasl desarrolla la técnica de construcción - del árbol de fallas y su aplicación en una gran variedad de problemas de seguridad en la industria. Esta técnica se -- usó posteriormente por Dupont en forma más amplia para evaluar los riesgos de sus plantas en todo el mundo, y como -- consecuencia de ello se introduce en México.

También nace la técnica de índice de fuego y explosión creada por Dow Chemical Co. de U.S.A., y posteriormente la técnica de imperial chemical industries de Inglaterra (ICI), - llamada Índice Mond de Fuego, Explosión y Toxicidad. Estas técnicas fueron introducidas a México a finales de los 60's por Celanese Mexicana, S.A., con un permiso especial de Dow Chemical.

## 1970 - 1980

Durante los 70's, el Profesor N. Rasmussen y un valioso grupo de expertos norteamericanos emplean al máximo las "técnicas del árbol de fallas" y el "modo de fallas y efectos", - aplicadas a estudios exhaustivos de seguridad en los reactores nucleares que empezaban a construir en todo el mundo.

A partir de 1974, un grupo mundial de expertos sobre hidrocarburos y sus riesgos se han estado reuniendo periódicamente encabezados por el Dr. H.J. Kolodner y han desarrollado la técnica de cálculo de nubes explosivas.

1980 - 1989

La década de los 80's, se ensombreció con la patética realidad de tres clases de riesgos de la industria. La nube tóxica, el desastre ecológico y el desastre nuclear que en la actualidad son los de mayor impacto potencial a la vida de las comunidades al rededor de plantas industriales:

- 1) **LA NUBE TOXICA.-** Ante este riesgo se empezó a desarrollar un modelo de dispersión de nubes tóxicas para evaluar la magnitud potencial de riesgos. La solución más viable ante un riesgo de esta naturaleza, humanitariamente hablando, es el cierre de las operaciones de la planta en cuestión.
- 2) **EL DESASTRE ECOLOGICO.-** Representado por 3 principales fuentes:
  - a) La contaminación atmosférica
  - b) La contaminación de los acuíferos superficiales y subterráneos.
  - c) La contaminación de suelos.
- 3) **EL DESASTRE NUCLEAR.-** Como sabemos han existido en varios países accidentes en plantas nucleares, sin considerar desde luego el peligro de la guerra nuclear con consecuencias fatales que hasta la fecha no se han podido evaluar totalmente.

## CAPITULO II

### GENERALIDADES

Las soluciones a los problemas de seguridad industrial, se han venido dando al incorporar los conceptos de seguridad industrial desde las etapas iniciales de ingeniería de proyecto (fase diseño), para que estos se elaboren en total apego a las normas, especificaciones y reglamentos que sobre esta materia han emitido las diversas dependencias gubernamentales y otros organismos internacionales de prestigio reconocido.

Basándose en el análisis del proceso, en las características de los fluidos y en las condiciones de operación, procediendo a seleccionarse los materiales y equipos idóneos que garanticen la continuidad y flexibilidad de operación dentro de las normas de seguridad; se proporcionan arreglos y distribuciones de equipos que faciliten sus maniobras de montaje e instalación, mantenimiento y control o combate del siniestro en la eventualidad de presentarse una emergencia o falla durante la operación.

En resumen, se estudia concienzudamente cada proyecto para desde el inicio tratar de eliminar todo riesgo potencial que posteriormente pueda poner en peligro la seguridad del personal o de las instalaciones.

No obstante lo expresado anteriormente, las técnicas y métodos evolucionan grandemente en los países altamente indus-

trializados, si deseamos continuar nuestro desarrollo tecnológico, para brindar una mejor protección a nuestros trabajadores, también debemos modernizarnos e incorporar a los antiguos conceptos de seguridad y de Ingeniería de Proyecto los nuevos adelantos en las ciencias de la administración - con el enfoque de sistemas, en los que ya se emplean nuevas técnicas y métodos como el "Análisis de Riesgo" aplicado a seguridad industrial.

## 2.1 ANALISIS DE RIESGO:

El análisis de riesgo, es el nombre usado para describir -- las aplicaciones de los sistemas y métodos cuantitativos o numéricos a los problemas de seguridad industrial. No debe confundirse con la acepción de "Análisis de Riesgo" comúnmente usada para medir los "RIESGOS COMERCIALES" de un proyecto, o "LAS LISTAS DE INSPECCION DE RIESGO", tan conocidos por todos aquellos que se dedican a la seguridad.

### 2.1.1 ETAPAS EN EL ANALISIS DE RIESGOS:

- a) Estimar la probabilidad de que ocurra o se presente el riesgo.
- b) Estimar las consecuencias para el personal, público y miembros de la comunidad, a las instalaciones, a la planta productiva y a los insumos de producción.
- c) Comparar los resultados de los incisos "a" y "b" con un criterio previamente establecido que nos

ayuda a decidir las acciones a tomar para reducir la probabilidad de ocurrencia a minimizar - las consecuencias y daños, o bien ignorarlo, si la probabilidad y sus consecuencias son tan pequeñas, que por el momento, no sea necesario tomarlo en cuenta.

Algo de suma importancia que debe aclararse, es el hecho de que las etapas a) y b) se basan en estimaciones que tienen en cuenta las experiencias pasadas.

Sin embargo, no siempre se dispone de datos, ya sea, porque las instalaciones en proceso de análisis son para un proceso nuevo o porque nunca se ha presentado ningún incidente o no se dispone de la información; en estos casos, se tienen que usar "métodos sintéticos".

La implantación de técnicas y métodos para integrar en el diseño de las plantas de proceso los conceptos de seguridad no es una novedad, todos sabemos que los conceptos "máxima seguridad" y "costos mínimos" no son objetivos compatibles. También se puede afirmar que el término "seguridad" es un concepto estadístico, ya que no existe un equipo que sea -- 100 % confiable, ni su operación es 100 % confiable; por lo que se puede afirmar que las plantas de cualquier proceso - llevan como parte inherente a ellas el concepto "riesgo".

También sabemos, que las estadísticas cuando se aplican a sistemas tan complejos como las instalaciones de explotación y proceso de hidrocarburos, así como al personal que las opera, siempre tendrán grandes indeterminaciones.

Sin embargo, como expresó Charles Bobbage, uno de los pioneros

ros en el desarrollo de las computadoras. "Los errores por usar información incompleta, son menores que los que se presentan cuando no se usa o no se dispone de información". Es decir, "es mejor hacer algo que nada"

Por esta razón, desde la década de los 60's se usaron diferentes técnicas como los "programas de prevención de fallas enfoque de sistemas de protección y el enfoque de Análisis de Sistema de Seguridad"; conceptos que evolucionaron en la década de los 70's al "análisis de falla o riesgos", al aplicar con éxito el método de "árboles de falla" en la investigación y análisis de grandes desastres habidos en plantas industriales.

Sin pretender agotar el tema, diremos que básicamente "los árboles de falla o decisión", se basan en los principios establecidos por H.E. Lambert (en 1973), veáse Fig. 2.1

Y por las mejoras incorporadas por M.J. Katz en 1976. Método que se fundamenta en establecer un diagrama lógico de falla, desarrollado a partir de un sistema de fallas, generalmente una situación altamente indeseable como ejemplo: Una explosión, un incendio, etc., el árbol de fallas (causa) se combina con un análisis inductivo (consecuencia), y las alternativas para controlar la falla, así se genera paulatinamente un diagrama causa - consecuencia, que reflejará la secuencia y compartimiento del sistema.

Indudablemente, estas técnicas permitirán hacer un mejor y más ordenado análisis de los proyectos, contar con más elementos de juicio en la toma de decisiones y optimizar la inversión total, en especial en el área de sistemas de seguridad, y lo que es aún más importante, desarrollar proyectos

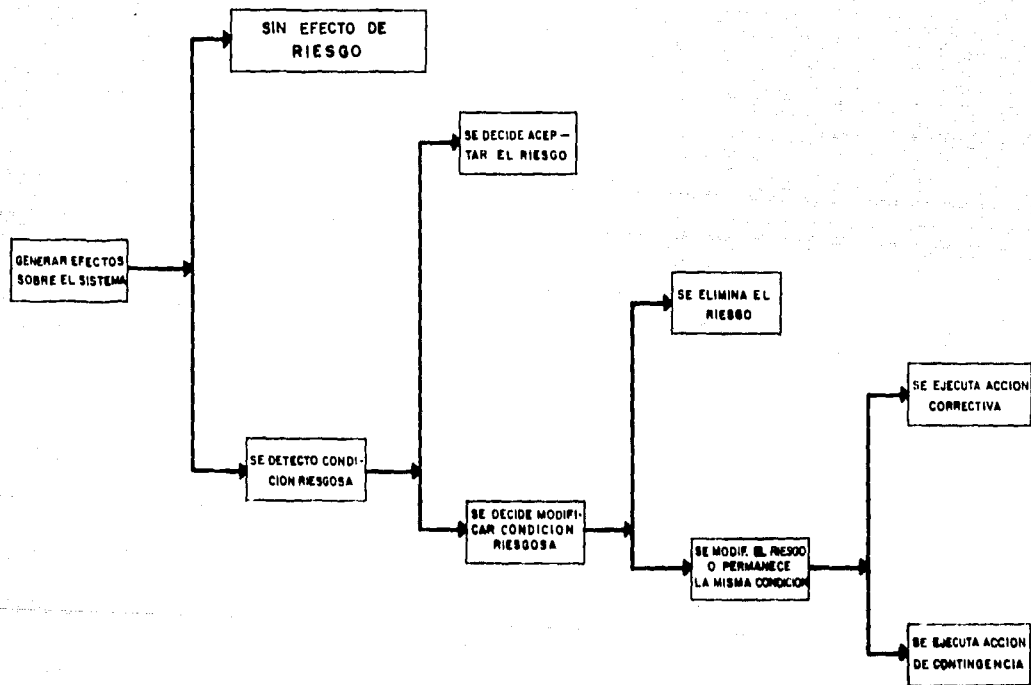


FIG. 2.1 ARBOL DE DECISIONES USADO EN EL ANALISIS DE SEGURIDAD, BASADO EN LAS RECOMENDACIONES H.E. LAMBERT.



que nos permitan proporcionar mejores niveles de seguridad al personal que los operará.

Bajo este nuevo enfoque de sistemas, deben revisarse los - conceptos de diseño de proceso, sistemas de instrumentación como protección primaria, sistemas de seguridad y protección contra incendio, localización y construcción de cuarto de -- control, factores de la confiabilidad humana, errores y fal- tas de información entre otros.

Evidentemente este no es un trabajo exclusivo para unos - - cuantos, sino que se requiere de una alta participación de las diferentes ramas operativas de nuestra industria, para conjuntamente realizar ese esfuerzo de superación tecnológi- ca cuyo objetivo final es proteger mejor al trabajador.

## CAPITULO III

### LA SEGURIDAD INDUSTRIAL EN PROYECTOS DE INGENIERIA

#### 3.1 ASPECTOS DE DISEÑO DE PROCESO E INSTRUMENTACION

Es de todos conocido el hecho de que en un proyecto de ingeniería se plasma no sólo la capacidad técnica de los ingenieros y demás personal que en él participan, sino toda clase de aspectos administrativos, económicos, sociales y aún políticos que su manejo representa.

Puede considerarse, en verdad, que el desarrollo de un proyecto de ingeniería es como la vida misma de un ser humano, sujeto a cambios repentinos, a calamidades, logros, triunfos y noticias buenas y malas. Por lo tanto, durante su ejecución es preciso prepararse para todo tipo de acontecimientos positivos o negativos que en cualquier momento pueden cambiar el rumbo que se ha establecido.

No obstante, las diversas herramientas de que se dispone para ejecutar un proyecto de ingeniería, las cuales sirven de ayuda eficaz para reducir al mínimo los acontecimientos anormales y lograr resultados acordes con la planeación que se haya fijado previamente, existen riesgos, los cuales tienden a minimizarse si se tienen buenas actitudes críticas y relevantes en la ejecución de un proyecto como lo es la ingeniería de proceso, ya que ella determina los aspectos técnicos y las condiciones de operación que presentará finalmente la planta.

El objetivo primordial del diseño de proceso es "establecer las características de todos y cada uno de los equipos y elementos de una planta para materializar las operaciones - fisicoquímicas".

Las actividades principales de un diseño de este tipo, son:

- Determinación de la información básica indispensable para el diseño.
- Desarrollo de las especificaciones de materias primas, productos finales y subproductos, incluyendo -- sus características comerciales.
- Especificación de los productos químicos auxiliares que requiere el proceso, de los catalizadores y de los productos intermedios.
- Diseño básico y dimensionamiento de los equipos principales que integrarán el sistema de proceso (por -- ejemplo hornos, reactores, recipientes, intercambiadores de calor, bombas, compresores, etc.)
- Selección de los métodos y análisis de laboratorio -- para materias primas, productos en proceso y productos intermedios.
- Caracterización de las interrelaciones de una unidad de proceso con otros.

Una vez que se conoce ya todo lo referente al proceso, se -- pasa al terreno fundamental que representa la seguridad industrial.

Los requisitos de seguridad para el personal y las instalaciones, asociadas con modalidades particulares del proceso, son:

- Características y requisitos que debe de cumplir el personal seleccionado para la operación de la planta
- Selección de los sistemas de control y su grado de automatización.
- Definición de métodos para la eliminación de los ruidos
- Determinación de las fuentes contaminantes del proceso y recomendación para su tratamiento.

Se llega a la elaboración de guías de operación que contengan una descripción del proceso y sus variables, así como de los procedimientos de emergencia, arranque y paro normal de las unidades, que servirán de base para la preparación de los manuales de operación definitivos durante la fase de ingeniería detallada.

Desde otro ángulo, podría estipularse que el diseño de proceso consiste esencialmente de la elaboración de:

- Diagramas de flujo
- La preparación del balance de materiales y de energía.
- La determinación de las especificaciones básicas de los equipos principales que forman parte de la planta

### 3.2 DIAGRAMAS ESQUEMATICOS DE FLUJO

Se puede considerar que en general existen cuatro clases de diagramas esquemáticos de flujo:

- a) Diagrama de bloques
- b) Diagrama básico de flujo
- c) Diagrama de flujo de proceso
- d) Diagrama mecánico de flujo

#### a).- DIAGRAMA DE BLOQUES:

Comúnmente consiste en una serie de bloques rectangulares, cada uno de los cuales puede representar una planta, una unidad de la planta o una sección de la misma. Este diagrama muestra la interrelación de macro-unidades de proceso -- con sus corrientes de carga y productos. Algunas veces enseña también las operaciones física-química básicas dentro de la unidad de proceso en particular.

#### b).- DIAGRAMA BASICO DE FLUJO:

Este tipo de diagramas se emplean básicamente en reportes técnicos en donde se quieran resaltar algunas características especiales del diagrama de flujo. No existen reglas específicas para su elaboración.

#### c).- DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO:

Este diagrama también se utiliza en trabajos de diseño y estudios de proceso, se suelen indicar equipos con sus dimen-

siones, las principales líneas y líneas secundarias, se marcan las temperaturas, presiones y cantidades de flujo. Sólo se muestran los instrumentos más importantes para el control del proceso.

d).- DIAGRAMA MECANICO DE FLUJO:

Este tipo de diagramas son conocidos también como de Diagramas de Proceso e Instrumentación o Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI'S). Incluyen una información más completa en donde los datos básicos para los mismos se obtienen de los diagramas de proceso y de las especificaciones u hojas de datos.

En estos diagramas aparece la siguiente información:

- Secuencia del flujo de proceso.
- Instrumentación.
- Principales válvulas de control y la posición de cierre de éstas cuando se presenta una falla en el medio actuante.
- Temperatura y presiones de operación.
- Tubería de procesos, servicios.
- Indicación de tuberías y de recipientes aislados y otros equipos.
- Equipos principales con indicación de diámetro, longitud, capacidad, etc.

- Equipo de bombeo indicando el flujo, la presión diferencial, la potencia del mismo, el tipo de accionamiento.
- Elementos de seguridad, tales como: Válvulas de seguridad, alarmas, etc.

### 3.2.1 INFORMACION BASICA SOBRE INSTRUMENTACION

Esta información se transfiere de los diagramas de proceso a las hojas de datos de instrumentos, y cada instrumento es identificado en el diagrama de flujo mecánico, ya que en este debe de aparecer, hasta donde sea posible toda la instrumentación necesaria para el control y registro junto con la indicación de las diversas operaciones que se realicen en el manejo de la planta.

La emisión preliminar del diagrama en mención es revisada - por los ingenieros de instrumentos y de proceso, verificando que cada sistema posea un diseño seguro, de acuerdo con las buenas prácticas y normas de ingeniería y que además -- presente una operación económica y confiable.

Por otra parte, es necesario definir los planos detallados del Tablero de Control para Montaje, junto con los planos de alambrado para su instalación en el Cuarto de Control; - igualmente, los planos planimétricos sobre localización de cable para instrumentos, multitubos y cajas de conexión.

Cuando se trate de planos de instrumentación neumáticos, se debe de analizar la ruta tentativa de los cabezales y subcabezales de aire de instrumentos y tubería de cobre desde -- las cajas de conexión hasta los instrumentos propiamente dichos. Con estos planos se podrá evaluar la cantidad de tubería de cobre (con cubierta PVC) y el cable de instrumentación.

También se debe elaborar la lista de los instrumentos indicados en los diagramas de flujo, incluyendo todos los componentes pertinentes y señalando además el número del plano de tubería sobre el cual el instrumento está licalizado, -- así como el tipo de instrumento, la conexión eléctrica desde el instrumento primario al controlador y al elemento con trolado, etc.

Con el desarrollo de la ingeniería detallada, el documento anterior se complementará con el número de identificación de los siguientes planos:

- a) De trazado eléctrico (alambrado y conexiones eléctricas).
- b) De conexión mecánica
- c) De calentamiento de vapor
- 3) De soportería.

La instrumentación, en sentido general, sirve para dos propósitos: medida y control.

Medición.- Es la adquisición del conocimiento del proceso. Tal conocimiento se relaciona generalmente con partes significativas de la Planta, con las propiedades físicas del material de proceso, los equipos, las temperaturas y presiones, las cantidades de flujo y los niveles. Además con propiedades específicas como viscosidad, densidad relativa, -- acidez, presión de vapor y medición de la composición de -- una mezcla.



Las mediciones más importantes son:

- a) La medición de temperatura
- b) La medición de presión
- c) La medición de flujo
- d) La medición de nivel de los líquidos.

La otra función relevante de la instrumentación, es el CONTROL, que consiste en mantener cualquier variable de proceso a un valor predeterminado. Esta actividad es la más importante de la instrumentación en una Planta de proceso y - hace uso de la primera función, es decir, de la medición, - como una parte necesaria de su propia operación.

Básicamente se usan en una planta de proceso:

- Controles neumáticos (Operados con aire)
- Controles eléctricos y electrónicos

El operador del tablero de control puede encontrar muchas - aplicaciones diferentes del sistema de control. Todos estos funcionan normalmente empleando un mismo tipo de controlador. Los controles pueden operar tanto en posición manual como en automática.

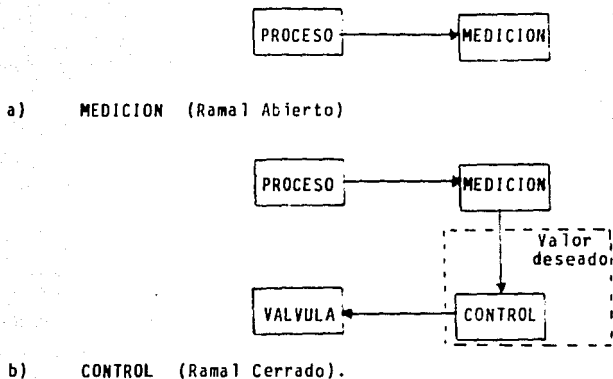


Fig. 3.1 Diagrama de bloque que indica las funciones de medición y control.

Cuando se encuentra en operación manual, el operador debe - cambiar la posición del puntero que indica la salida, para lograr compensar cualquier variación externa que exista en el proceso.

En automático el controlador realiza las funciones por sí - solo.

Aplicaciones del control automático:

- a) Control de temperatura
- b) Control de presión
- c) Control de flujo.
- d) Control de nivel

## e) Alarmas

## Resumiendo:

En el desarrollo de un diseño de una planta de proceso en el área de instrumentos, se deben de ejecutar un gran número de actividades en donde las principales son:

- 1) Listado general de especificaciones
- 2) Revisión de diagramas (DTI'S)
- 3) Lista de instrumentos
- 4) Hoja de especificaciones
- 5) Requisiciones
- 6) Planos del tablero de control
- 7) Isométricos de instalación
- 8) Diagramas de interconexiones de instrumentos neumáticos y eléctricos
- 9) Planos de localización de instrumentos.
- 10) Diagramas de cajas de interconexión neumático y eléctrico
- 11) Esquemas secuenciales (representan la forma de como actúan los sistemas de alarma, de cortes y los métodos de arranque y paro automático de bombas).

12) Listado de cables neumáticos y eléctricos

13) Sumario de materiales

### 3.3 TUBERIAS

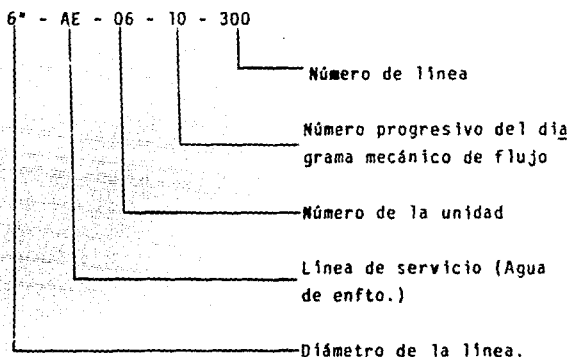
El diseñador de tuberías utiliza el diagrama mecánico de flujo como su principal fuente de información, en donde aparece la información básica sobre las líneas de tubería de manera que puedan conocerse sus características más importantes.

#### IDENTIFICACION DE LA LINEA

Esto se logra con un sistema de numeración que tiene una aplicación casi universal y que puede resumirse como sigue:

- 1) Un número que define el diámetro nominal expresado en pulgadas.
- 2) La indicación del tipo de servicio, los cuales pueden ser: aire de instrumentos, aire de servicios, - aire de proceso, agua cruda, agua desmineralizada, - agua potable, agua de enfriamiento, agua tratada, - agua de alimentación a calderas, vapor de alta presión, vapor de media presión, vapor de baja presión, condensado de alta presión, condensado de media presión, condensado de baja presión, aceite combustible, gas combustible, proceso.

Y otros números más que complementan la identificación como se muestran con el ejemplo:



### 3.4 DISEÑO MECANICO

El diseño mecánico de ingeniería se inicia una vez terminado el diseño básico de proceso, lo cual significa que se encuentran disponibles los siguientes planos y documentos.

#### 1.- ESPECIFICACIONES GENERALES

- a) Definición de los objetivos del proyecto
- b) Diseño de proceso
- c) Procedimientos de coordinación
- d) Especificaciones de diseño

- e) Especificaciones básicas de acuerdo con las normas de una empresa.
- 2.- DIAGRAMA MECANICO DE FLUJO (DTI'S)
  - 3.- ESPECIFICACIONES, ESQUEMAS Y LISTA DE LOS EQUIPOS
  - 4.- PLANO DE LOCALIZACION DE EQUIPOS
  - 5.- DIAGRAMA ELECTRICO UNIFILAR GENERAL

El diseño detallado de una planta.- Puede definirse como el conjunto de cálculos matemáticos, diagramas detallados y hojas de especificaciones que deben llevarse a cabo para producir los planos y los documentos complementarios que sirvan posteriormente en la adquisición, fabricación e instalación de equipos y tuberías. En la práctica, los términos de diseño detallado y diseño mecánico se emplean indistintamente, pero siempre con igual significado.

#### 3.4.1 CODIGOS APLICABLES

Los códigos principales más aplicables en el diseño mecánico, son los siguientes:

- 1).- ANSI (American National Standar Institute)

Presenta especificaciones de materiales y equipos, - métodos de prueba, características y valores, selección y dimensionamiento que deben cumplir los equipos y materiales, simbología, definiciones, recomen-

daciones de diseño de sistemas eléctricos.

2).- ASME (American Society of Mechanical Engineers)

Código usado por el diseño de recipientes a presión y calderas. (Se compone de 11 secciones).

3).- ASTM (American Society for Testing and Materials)

Se compone de 33 volúmenes que cubren especificaciones, métodos de prueba y otros aspectos sobre materiales, tales como: tuberías de acero y accesorios, láminas de acero, perfiles, barras, etc.

4).- API (American Petroleum Institute)

Publica boletines, normas, prácticas más recomendadas, especificaciones, etc., sobre diferentes tópicos relacionados con la industria del petróleo como: finanzas, mercadeo, aviación, lubricantes, equipo de producción, válvulas, oleoductos, protección contra incendio, seguridad, compresores, tanques, etc.

5).- NEMA (National Electrical Manufacturers Association)

Suministra especificaciones y características de materiales y equipos, métodos de prueba, encerramiento para clasificación de áreas.

6).- TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association)

Contempla el diseño, los materiales, la instalación y el mantenimiento de intercambiadores de calor.

7).- NFPA (National Fire Protection Association)

NEC (National Electrical Code)

Suministra normas generales de diseño de sistemas -- eléctricos, así como de sistemas de protección contra incendio y de seguridad para el personal y equipo

8).- IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)

Presenta normas generales de diseño, recomendaciones últimas investigaciones y cambios de especificaciones internacionales. Además, metodologías de cálculo y normas de seguridad.

9).- AISC (American Institute of Steel Construction)

Se emplea en el diseño de estructuras metálicas

10).- ISA (Instrument Society of America)

Prácticas y normas para instrumentación

11).- ICEA (Insulated Cable Engineers Association)

Presenta la selección de cables aislados con las especificaciones, características constructivas, métodos de prueba y valores que deben cumplir.

12).- UL (Underwriters Laboratories, Inc.)

Ofrece información similar al NEMA, más normas de seguridad y recomendaciones de la instalación de equipos.



### 13).- PEMEX (Petróleos Mexicanos)

Presenta normas generales para el diseño y construcción de plantas y equipos de seguridad industrial.

Es necesario indicar que también existen otras normas como son: DIN, JIN, I.P. etc.

### 3.5 PLANO DE PLANTA Y DISTRIBUCION

Una de las actividades más importantes de diseño, es la distribución de los equipos y unidades dentro de la Planta, ya que una eficiente disposición puede originar el ahorro de millones de pesos en la inversión del capital inicial, en los costos de operación y en la seguridad propia de la planta.

Dentro de las primeras responsabilidades de un ingeniero de proyecto, se encuentra la elaboración de un plano de planta en donde algunos conceptos que deben de ser estimados en la evaluación del mismo son:

- 1).- Topografía (buscando un bajo movimiento de tierra - que lleve a una mínima preparación del terreno).
- 2).- Tubería para servicios, elevada y enterrada y líneas de proceso.
- 3).- Drenajes.
- 4).- Vientos prevalentes (Reinantes y Dominantes)
- 5).- Localización de hornos y quemadores

- 6).- Dimensiones de los equipos (considerando el área para su mantenimiento).
- 7).- Condiciones del suelo
- 8).- Tráfico interno y en las vecindades de la planta y ubicación del ferrocarril.
- 9).- Seguridad en todos sus aspectos.

Utilizando los diagramas de flujo, las especificaciones de proceso y la información topográfica como datos básicos, el grupo de ejecución de planos de planta, prepara diferentes esquemas con distintas distribuciones para su estudio y análisis.

Las tablas 3.1, 3.2, 3.3., 3.4 y 3.5, nos representan recomendaciones generales para espaciamento en plantas petroquímicas, espaciamento recomendado entre edificaciones en refineries y plantas de proceso, espaciamento de equipo -- dentro de plantas y espaciamento de equipos fuera de plantas, obtenidos de experiencias directas de algunas compañías, además de la Tabla 3.6 que presenta recomendaciones generales para espaciamento de refineries.

TABLA 3.1

RECOMENDACIONES GENERALES PARA ESPACIAMIENTO EN PLANTAS PETROQUIMICAS

DISTANCIA MINIMA EN PIES

	UNIDAD DE PROCESO DE ALTA PELIGROSIDAD	UNIDAD DE PROCESO DE BAJA PELIGROSIDAD	AREA DE TANQUES DE ALTA CATEGORIA	AREA DE TANQUES DE BAJA CATEGORIA	BOQUETA DE PRODUCTO	BOQUETA DE SERVICIO	BOQUETA DE AGUA	BOQUETA DE VAPOR	BOQUETA DE GAS	BOQUETA DE VAPOR DE ALTA TEMPERATURA	BOQUETA DE VAPOR DE BAJA TEMPERATURA	BOQUETA DE VAPOR DE ALTA TEMPERATURA	BOQUETA DE VAPOR DE BAJA TEMPERATURA	BOQUETA DE VAPOR DE ALTA TEMPERATURA	BOQUETA DE VAPOR DE BAJA TEMPERATURA	BOQUETA DE VAPOR DE ALTA TEMPERATURA	BOQUETA DE VAPOR DE BAJA TEMPERATURA	BOQUETA DE VAPOR DE ALTA TEMPERATURA	BOQUETA DE VAPOR DE BAJA TEMPERATURA
UNIDADES DE PROCESO DE ALTA PELIGROSIDAD	300																		
UNIDADES DE PROCESO DE BAJA PELIGROSIDAD	100	50																	
AREA DE TANQUES DE ALTA CATEGORIA	250	100																	
AREA DE TANQUES DE BAJA CATEGORIA	300	100																	
BOQUETA DE PRODUCTO	150	50	50	50															
BOQUETA DE SERVICIO	200	100	100	100															
BOQUETA DE AGUA	150	100	100	100															
BOQUETA DE VAPOR	150	100	100	100															
BOQUETA DE VAPOR DE ALTA TEMPERATURA	150	100	100	100															
BOQUETA DE VAPOR DE BAJA TEMPERATURA	150	100	100	100															
ESPACIAMIENTO DE SERVICIO	300	100	100	100															
AREA DE CALDERAS	300	100	100	100															

ESPACIOS RECOMENDADOS DENTRO DE UNIDADES DE PROCESO

	REACTOR	BOQUETA DE PRODUCTO	BOQUETA DE SERVICIO	BOQUETA DE AGUA	BOQUETA DE VAPOR	BOQUETA DE VAPOR DE ALTA TEMPERATURA	BOQUETA DE VAPOR DE BAJA TEMPERATURA
REACTOR	15						
AREA RECOMENDADA DE SERVICIO	100	100					
BOQUETA DE PRODUCTO	100	100					
BOQUETA DE SERVICIO	100	100					
BOQUETA DE AGUA	100	100					
BOQUETA DE VAPOR	100	100					
BOQUETA DE VAPOR DE ALTA TEMPERATURA	100	100					
BOQUETA DE VAPOR DE BAJA TEMPERATURA	100	100					
ESPACIO DE ALMACENAMIENTO	50	50	100				
BOQUETA DE SERVICIO	100	100					

- A- LA DISTANCIA ENTRE UNIDADES DE PROCESO DE SERVICIO DEBE SER EL LIMITE DE DISTANCIA
- B- UNA UNIDAD DE PROCESO DE ALTA PELIGROSIDAD DEBE ESTABLECER SU DISTANCIA DE SERVICIO CON LAS UNIDADES DE BAJA PELIGROSIDAD DE 100 A 150
- C- LOS TANQUES DE ALTA CATEGORIA SON CLASE "A" MIENTRAS QUE LOS DE BAJA CATEGORIA SON CLASE "B" MIENTRAS QUE LAS UNIDADES DE SERVICIO SON CLASE "C"
- D- LAS BOQUETAS DE PRODUCTO DE ALTA TEMPERATURA DEBEN ESTABLECER UN LIMITE DE SERVICIO DE 100 A 150 PIES EN LOS CASOS DE ALMACENAMIENTO DE SERVICIO
- E- LOS ESPACIOS DE SERVICIO DEBEN ESTABLECER UN LIMITE DE SERVICIO DE 100 A 150 PIES EN LOS CASOS DE ALMACENAMIENTO DE SERVICIO
- F- LOS ESPACIOS DE SERVICIO DEBEN ESTABLECER UN LIMITE DE SERVICIO DE 100 A 150 PIES EN LOS CASOS DE ALMACENAMIENTO DE SERVICIO
- G- LAS BOQUETAS DE SERVICIO DEBEN ESTABLECER UN LIMITE DE SERVICIO DE 100 A 150 PIES EN LOS CASOS DE ALMACENAMIENTO DE SERVICIO
- H- MANTENER LAS CLASAS DEBIDAS A LOS LIMITES DE SERVICIO DEBIDAS
- I- LA DISTANCIA DE SERVICIO DEBE SER EL LIMITE DE SERVICIO DEBIDA EN LOS CASOS DE ALMACENAMIENTO DE SERVICIO
- J- EN CASOS DE ALMACENAMIENTO DE SERVICIO DEBEN ESTABLECER UN LIMITE DE SERVICIO DEBIDA
- K- LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO VERTICALES DEBEN ESTABLECER UN LIMITE DE SERVICIO DEBIDA EN LOS CASOS DE ALMACENAMIENTO DE SERVICIO
- L- LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO VERTICALES DEBEN ESTABLECER UN LIMITE DE SERVICIO DEBIDA EN LOS CASOS DE ALMACENAMIENTO DE SERVICIO
- M- LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO VERTICALES DEBEN ESTABLECER UN LIMITE DE SERVICIO DEBIDA EN LOS CASOS DE ALMACENAMIENTO DE SERVICIO
- N- LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO VERTICALES DEBEN ESTABLECER UN LIMITE DE SERVICIO DEBIDA EN LOS CASOS DE ALMACENAMIENTO DE SERVICIO
- O- LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO VERTICALES DEBEN ESTABLECER UN LIMITE DE SERVICIO DEBIDA EN LOS CASOS DE ALMACENAMIENTO DE SERVICIO
- P- LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO VERTICALES DEBEN ESTABLECER UN LIMITE DE SERVICIO DEBIDA EN LOS CASOS DE ALMACENAMIENTO DE SERVICIO
- Q- LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO VERTICALES DEBEN ESTABLECER UN LIMITE DE SERVICIO DEBIDA EN LOS CASOS DE ALMACENAMIENTO DE SERVICIO
- R- LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO VERTICALES DEBEN ESTABLECER UN LIMITE DE SERVICIO DEBIDA EN LOS CASOS DE ALMACENAMIENTO DE SERVICIO
- S- LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO VERTICALES DEBEN ESTABLECER UN LIMITE DE SERVICIO DEBIDA EN LOS CASOS DE ALMACENAMIENTO DE SERVICIO
- T- LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO VERTICALES DEBEN ESTABLECER UN LIMITE DE SERVICIO DEBIDA EN LOS CASOS DE ALMACENAMIENTO DE SERVICIO
- U- LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO VERTICALES DEBEN ESTABLECER UN LIMITE DE SERVICIO DEBIDA EN LOS CASOS DE ALMACENAMIENTO DE SERVICIO
- V- LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO VERTICALES DEBEN ESTABLECER UN LIMITE DE SERVICIO DEBIDA EN LOS CASOS DE ALMACENAMIENTO DE SERVICIO
- W- LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO VERTICALES DEBEN ESTABLECER UN LIMITE DE SERVICIO DEBIDA EN LOS CASOS DE ALMACENAMIENTO DE SERVICIO
- X- LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO VERTICALES DEBEN ESTABLECER UN LIMITE DE SERVICIO DEBIDA EN LOS CASOS DE ALMACENAMIENTO DE SERVICIO
- Y- LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO VERTICALES DEBEN ESTABLECER UN LIMITE DE SERVICIO DEBIDA EN LOS CASOS DE ALMACENAMIENTO DE SERVICIO
- Z- LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO VERTICALES DEBEN ESTABLECER UN LIMITE DE SERVICIO DEBIDA EN LOS CASOS DE ALMACENAMIENTO DE SERVICIO

**ESPACIAMIENTO RECOMENDADO ENTRE EDIFICACIONES EN REFINERIAS  
Y PLANTAS DE PROCESO**

MINIMA DISTANCIA EN PIES

CONSTRUCCION RESISTENTE AL FUEGO CON CONTENIDOS NO INFLAMABLES	Ninguna	Ninguna	30	20	30	40
CONSTRUCCION NO COMBUSTIBLE CON CONTENIDOS NO INFLAMABLES	Ninguna	Ninguna	30	30	40	50
CONSTRUCCION ORDINARIA (ESTRUCTURA DE MADERA) CON CONTENIDOS NO INFLAMABLES	30	30	50	40	50	60
CONSTRUCCION RESISTENTE AL FUEGO CON CONTENIDOS INFLAMABLES	20	30	40	30	40	50
CONSTRUCCION NO COMBUSTIBLE CON CONTENIDOS INFLAMABLES	30	40	50	40	40	50
CONSTRUCCION ORDINARIA (ESTRUCTURA DE MADERA) CON CONTENIDOS INFLAMABLES	40	50	60	50	50	80

TABLA: 5.2

RESISTENTE AL FUEGO - TODO DETALLE DE CONSTRUCCION QUE RESISTA EL FUEGO. POR LO MENOS 3 HORAS

RECOMENDACIONES GENERALES PARA ESPACIAMIENTOS EN ESTACIONES DE BOMBAS DE OLEODUCTOS DE CRUDO

DISTANCIA MINIMA EN PIES

	CASAS DE COMPRESION	ESTACIONES DE SERVICIO	TERMINALES	AREAS DE MANEJO	ESTACIONES DE TRABAJO DE EMERGENCIA	LLANAS ABIERTAS	COMEDORES DE CONTAMINACION	COMEDORES DE CONTAMINACION	COMEDORES DE CONTAMINACION	COMEDORES DE CONTAMINACION	COMEDORES DE CONTAMINACION	COMEDORES DE CONTAMINACION
CASA DE BOMBAS	0	30	100	100	150	100		150	200	100	200	
TANQUES	100	200	100	100	250	100		200	200	100	250	

TERMINALES O AREA DE TANQUES

	TERMINALES O AREA DE TANQUES	CASA DE BOMBAS	ESTACIONES DE SERVICIO	TERMINALES O AREA DE TANQUES	ESTACIONES DE TRABAJO DE EMERGENCIA	COMEDORES DE CONTAMINACION	COMEDORES DE CONTAMINACION	COMEDORES DE CONTAMINACION	COMEDORES DE CONTAMINACION	COMEDORES DE CONTAMINACION	COMEDORES DE CONTAMINACION	COMEDORES DE CONTAMINACION
TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS DIFERENTES DE L.P.B.	250	100	200	200	150	100	200	200	200	100	200	100
LLANAS ABIERTAS	250	100	200	200	150	100	200	200	200	100	200	100
LLANAS ABIERTAS	250	100	200	200	150	100	200	200	200	100	200	100
TANQUES PRESURIZADOS	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

PROPIEDADES COSTA AFUERA

	ESTACIONES DE SERVICIO	ESTACIONES DE SERVICIO	ESTACIONES DE SERVICIO	ESTACIONES DE SERVICIO	ESTACIONES DE SERVICIO	ESTACIONES DE SERVICIO	ESTACIONES DE SERVICIO	ESTACIONES DE SERVICIO	ESTACIONES DE SERVICIO	ESTACIONES DE SERVICIO	ESTACIONES DE SERVICIO	ESTACIONES DE SERVICIO
EDIFICACIONES DE SERVICIO	20											
EQUIPOS DE MANEJO DE PROCESOS Y GAS	60											
DISPOSITIVOS DE LLANAS ABIERTAS	-	100										
CASAS DE COMPRESORES DE GAS	80	80	80									
ESTACIONES DE MANEJO DE EMERGENCIA Y MANEJO DE BLOQUE	80	100	100	80								
TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS	80	80	100	100	100							
BUILLES DE CARBA	100	100	100	100	100							

- 4 EL CUARTO DE CONTROL DEBEA SER PRESURIZADO
- 5 LOS DISPOSITIVOS RECUBRIDOS DE LLANA ABIERTA DEBEAN LOCALIZARSE A NO MENOS DE 50' DE CUALQUIER AREA DE VAPORES PELIGROSOS
- 6 LAS EDIFICACIONES DE SERVICIO INCLUYENDO OFICINAS, DEPÓSITOS, BODEGAS DE MANTENIMIENTO, LABORATORIOS, BARRIOS ETC
- 7 PARA 300 000 GALONES POR GRUPO, 100' ENTRE GRUPOS

TABLA 3.3









## CAPITULO IV

### LAS TECNICAS Y METODOS DE ANALISIS DE SISTEMAS PARA LA SEGURIDAD EN PROCESO.

#### 4.1 EL ANALISIS DE SEGURIDAD EN PROCESOS.

Se basa en el estudio de riesgos específicos de una función física u operacional del proceso.

Al tener identificadas las principales fuentes de riesgos, estas se clasifican en diversos campos como son:

- Fuego, Explosión y Toxicidad
- Nubes Explosivas.
- Operabilidad
- Sistemas de Protección de Proceso
- Efectos de Paro y Arranque.

A su vez, el análisis de cada uno de los campos involucra el uso de técnicas o métodos según sea el caso; por ejemplo:

Técnicas para fuego, explosión y toxicidad.

- Índice Dow de Fuego y Explosión (1)
- Índice Mond de Fuego, Explosión y Toxicidad (2)

#### Técnicas para Sistemas de Protección a Procesos:

- ¿Qué pasaría si . . . . ? (3)
- Análisis de Falla y Efecto (4)

#### Técnicas para Nubes de Explosión:

- Análisis de Paro y Arranque (5)

#### Métodos para Nubes Explosivas:

- Guía de Cálculo de Nubes Explosivas (6)

#### Para Operabilidad:

- Análisis de Falla y Efecto (7)
- Arbol de Fallas (8)

### 4.1.1 DESCRIPCION DE LOS CAMPOS DE RIESGOS

#### FUEGO, EXPLOSION Y TOXICIDAD

Se enfoca a determinar y evaluar los riesgos potenciales de incendio, explosión y toxicidad de los materiales que se emplean en un proceso, así como el riesgo total de esa unidad de proceso.

#### NUBES EXPLOSIVAS

Se enfoca al estudio de la posibilidad de formación de nubes explosivas, el cálculo de su potencia, magnitud y estimación de los daños probables. La importancia de estudiar los efectos de una nube explosiva en las plantas industria-

les es una necesidad derivada de las explosiones y desastres que han ocurrido año tras año, por esta causa, en la industria química y petroquímica en todo el mundo.

### OPERABILIDAD

Este campo consiste en el exámen crítico de un proceso y de las probabilidades de ocurrencia de un riesgo por falla de operación, o por falla del funcionamiento de partes individuales de equipo, revisando los efectos consecuentes de este riesgo en la planta o instalación industrial, considerando esta como un todo.

Para nuestros propósitos, ésto significa la detección de riesgos de operación, los cuales deben de ser controlados para contar con una planta segura y confiable.

Este campo investiga la Ingeniería Química del proceso con la intrincada relación y dependencia que existe entre los diversos equipos, sus componentes y partes del mismo, su instrumentación y el operador.

El campo de Operabilidad, es el más complejo de los campos, del Análisis de Seguridad en Procesos y, por consiguiente, el que puede consumir más tiempo de estudio.

Como objetivo de este trabajo de tesis, se analizan por medio de uno de los métodos de este campo, el de Arbol de Falla en un Sistema de Almacenamiento de Cloruro de Vinilo para ilustrar mejor su aplicación.

### SISTEMA DE PROTECCION A PROCESOS

El sistema de paro de emergencia de un proceso es el último

mecanismo por medio del cual puede controlarse un evento no deseado. Conceptualmente, es aceptado que hay un balance - óptimo entre aquellos sistemas que se activan automáticamente y los que el operador es capaz de manejar durante una situación anormal del proceso. Es por esto que debe hacerse periódicamente una evaluación de estos sistemas para asegurar que éstos parámetros no han cambiado el balance, comprobando la seguridad de la unidad.

#### EFFECTOS DE PARO Y ARRANQUE

Durante un paro de proceso de cualquier naturaleza, y en un arranque, pueden desarrollarse en muy diversos puntos del proceso circunstancias de alto riesgo, debido a las condiciones de transición que se presentan en estas dos operaciones, como por ejemplo: concentraciones dentro de los rangos de explosividad, reacciones exotérmicas o de descomposición peligrosas, reacciones de polimerización, y de difícil control, condiciones de alta presión o temperaturas extremas, etc.

El campo que estudia los Efectos de Paro y Arranque, tiene como propósito fundamental, encontrar que la forma en que normalmente se lleve a cabo el paro y el arranque del proceso sea tal que se mantenga bajo control esos riesgos, de una manera segura sin que representen un peligro para la instalación en cuestión.

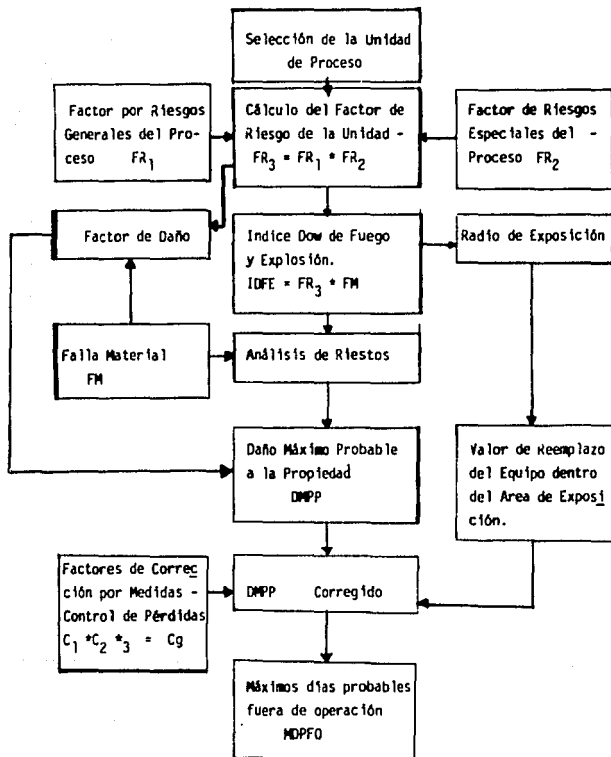
Este campo requiere de una análisis de diseño del proceso, como base para los procedimientos de operación de la unidad y un estudio de los procedimientos de operación para verificar que son adecuados y describen como debe de operarse dicha unidad.

#### 4.2 TECNICAS DEL INDICE DOW PARA FUEGO Y EXPLOSIONES

El tomar un grupo de Análisis de Riesgo de proceso, tiene como objetivo el encontrar el área más grande de explosión de la planta o instalación industrial, y determinar los costos y días perdidos máximos que se podrían originar, así como -- prevenir los riesgos que se encuentren.

Procedimiento para la Aplicación del Índice Dow:

1).- Diagrama de Flujo



2).- Información necesaria para aplicar el Índice de Dow:

- a) Plano de Localización de la Planta (PLOT PLANT)
- b) Conocimiento profundo de las condiciones de proceso.
- c) Diagrama de Flujo Detallado
- d) Formato de Trabajo del Índice Dow
- e) Guía de Cálculo Índice Dow
- f) Relación de Costos del Equipo Instalado

3).- Secuencia de Cálculo:

- a) Localización de unidades o secciones de proceso que se consideran como las de mayor impacto o - que contribuyan más al riesgo de fuego y explosión.
- b) Se determina el FM para cada unidad o sección.
- c) Se evalúa la contribución de cada factor de - riesgo de la unidad y el factor de daño, que re presenta el grado de exposición a pérdidas.
- d) Se calcula el Índice de Dow de fuego a la explosión (IDEFE) y el área de exposición alrededor de la unidad o de la sección analizada.
- e) Se determina el valor en (UM) unidades moneta--

rias del equipo dentro del área de exposición, con lo que se calcula el daño máximo probable a la propiedad base, el cual se corrige por los factores por medidas de control de pérdidas obteniendo el daño máximo probable a la propiedad actual o corregido. (Esto también se logra relocalizando equipo fuera del área de exposición).

- f) Con el daño máximo probable a la propiedad actual, se determinan los días máximos probables fuera de operación. El DMPP actual representa la pérdida probable que puede ocurrir si se presenta un incidente de magnitud razonable y operan varias protecciones, la falla de algún equipo de protección puede regresar el DMPP a su valor base.

#### Descripción de Algunos Términos:

Factor Material: Es una medida de la intensidad de energía liberada por un compuesto químico, mezcla o sustancia y es el punto de partida para el cálculo del Índice de Fuego o Explosión.

El FM se determina considerando los riesgos de Inflamabilidad y Reactividad del Material, y es un número entre 1 y 40  
ejemplo: Se presentan en la Tabla 4.1 como se ilustra a -- continuación.



TABLA 4.1 FACTOR MATERIAL (FM)

COMPUESTO	FM	Td (°C) Temperatura Adiabática de Descompo- sición.	H <sub>c</sub> (Kcal/Kg) *C 103 Calor de Combustión	CLASIFI- CACION NFPA		Punto de Flama (°C)	Punto de Ebulll (°C)
				N <sub>f</sub>	N <sub>r</sub>		
Acetalde- hído.	24	593	5.82	4	2	-37.78	21.11
Acido Ace- tico.	10	361	3.10	2	0	42.78	118.33
Acetileno	40	2,625	114.76	4	4	Gas	-83.33
Acrloni- trilo.	40	1,280	7.59	3	4	0	77.22
Benzalde- hído.	24	633	7.60	1	2	64.44	179.44
Benceno	26	594	9.59	3	1	-11.11	80
Butano	21	360	10.92	4	0	Gas	-0.56
Cloruro de Vinilo	21	1,175	4.44	4	1	Gas	-13.89
Cumeno	10	486	9.98	2	0	43.89	152.22
Dietanola mina.	14	434	5.54	1	1	151.67	267.78
Etano	21	324	11.31	4	0	Gas	-88.89
Etileno	24	732	11.53	4	2	Gas	-103.89
Gasolina	16	418	10.42	3	0	42.78	37.78 204.44
Metano	21	25	11.92	4	0	Gas	-161.67
Nafta leno	14	587	9.26	1	1	78.89	217.78
Propano	21	353	10.87	4	0	Gas	-42.22
Tolueno	16	586	9.64	3	0	4.44	110.56
Xileno	16	544	9.75	3	0	27.22	144.44

Donde:

FUENTE: Manual de "Seguridad en Procesos". Adaptación de  
Process Safety Review Manual (PSR) Celanese  
Chemical Company

$N_f$  = Riesgo de Inflamabilidad (Se deriva del punto de flama (FLASH POINT), y del punto de ebullición cuando el punto de flama es menor a 37.78 °C)

$N_r$  = Riesgo de Reactividad (Se deriva de los cálculos de reactividad química por cualquiera de los siguientes métodos: 1) Usando la  $T_d$  - que es la temperatura teórica alcanzada por el proceso de descomposición completo del material inicialmente a 25 °C, sin considerar la presencia de trozos de impurezas, efectos catalíticos, atmosféricos, etc., y 2) Utilizando un calorímetro con rango de aceleración, o similar para materiales con  $T_d = -537.78$  °C.

#### 4.2.1 RIESGOS GENERALES DEL PROCESO

Estos deben de ser revisados en relación a la unidad de proceso analizada y evaluar los factores adecuados, donde pueden ser:

- A) Reacciones Exotérmicas
- B) Reacciones Endotérmicas
- C) Manejo y Transferencia de Materiales
- D) Unidades de Proceso Cerradas
- E) Acceso de Emergencia al Area de Proceso.

F) Drenaje.

Los puntos enlistados del A a la F, incrementan la magnitud de un probable accidente, lo que cada uno de estos tienen diferentes factores.

Ejemplos se dan en la tabla 4.2 como se ilustra a continuación.

TABLA 4.7 FACTORES DE RIESGO GENERALES DE PROCESO

PUNTO	C O N C E P T O	FACTOR
A)	TIPO DE REACCION:	
	Hidrogenación, Ismerización, Sulfuración, Neutralización	0.30
	Alquilación, Oxidación, Polimerización y Condensación	0.50
	Halogenación	1.00
	Nitración	1.25
B)	Todas las reacciones endotérmicas	0.20
	Excepto aquellas cuya fuente de calor, para sostener la reacción, sea proporcionada por combustión directa de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos	0.40
C)	Considerando actividades relativas a mezclado, carga y descarga, almacenaje y empaqueo:	
	- Líquidos Inflamables CLASE I o Gas LP, considerando actividades de conexión y desconexión de líneas de transferencia desde pipas, carros-tanque, barcos o tanques.	0.50
	- Uso de centrifugas, mezclado en recipientes abiertos	0.50
	- Bodega y Patios de Almacenamiento	
	Líquidos Inflamables CLASE I o GAS LP	0.85
	Líquidos Combustibles CLASE II	0.25

Continuación de la Tabla 4.2

PUNTO	C O N C E P T O	FACTOR
D)	<p>Si existen colectores o filtros para polvos explosivos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Si contiene líquidos inflamables calentados arriba del punto de flama pero abajo del Punto de ebullición</li> <li>- Líquidos inflamables arriba del punto de ebullición</li> </ul>	<p>0.50</p> <p>0.30</p> <p>0.60</p>
E)	<p>Se debe poder llegar a la unidad de proceso con equipo de emergencia y combate de incendios por al menos 2 caminos distintos.</p> <p>Si el acceso es inadecuado</p>	<p>0.35</p>
F)	<p>Un drenaje inadecuado incrementa las pérdidas por fuego cuando se introduce un derrame de inflamables. Para la evaluación de este punto se supone que el 75 % del líquido inflamable contenido en la unidad se derrama.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Si queda líquido rodeando la unidad</li> <li>- Si el drenaje es directo a un contenedor</li> </ul>	<p>0.50</p> <p>0.25</p>

FUENTE: Manual de Seguridad en Procesos. Adaptación de Process Safety Review Manual (PSR) Celanese Chemical Company

#### 4.2.2 RIESGOS ESPECIALES DE PROCESO

Aquí se consideran los siguientes puntos:

- a) Temperatura de Proceso
- b) Baja Presión (Sub - Atmosférica)
- c) Operación En o Cerca del Rango Inflamable
- d) Polvos Explosivos
- e) Presión
- f) Baja Temperatura
- g) Cantidad de Material Inflamable
- h) Corrosión y Erosión
- i) Fugas - Juntas y Empaques
- j) Equipo Calentado con Fuego Directo
- k) Intercambio de Calor con Aceite
- l) Equipo Rotatorio - Bombas y Compresores.

Ver listados de riesgos especiales de proceso en la Tabla -- 4.3, así también como las figuras Nos. 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4 - que se indican en la misma.

TABLA 4.3 FACTORES DE RIESGOS ESPECIALES DE PROCESO

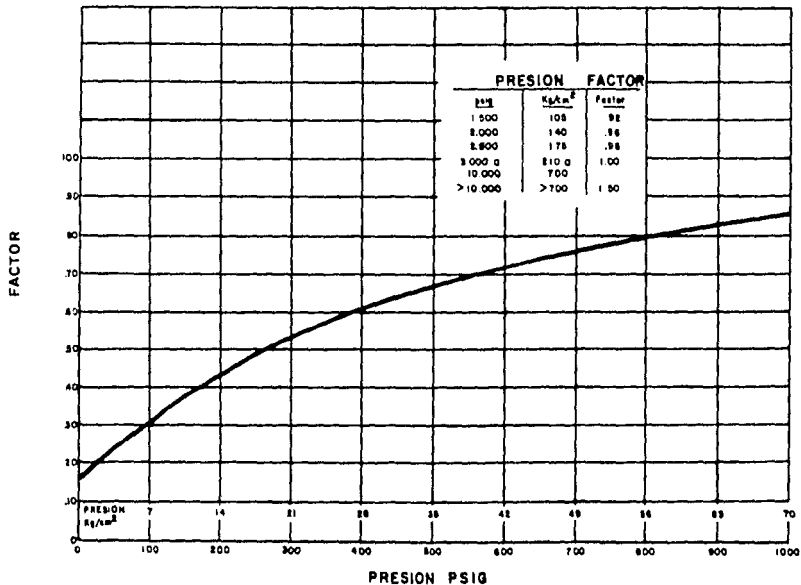
PUNTO	C O N C E P T O	FACTOR
A)	Si la temperatura de proceso o las condiciones de manejo es o esta:	
	Sobre el punto de flama del material.	0.30
	Sobre el punto de ebullición del material	0.60
B)	Para materiales con baja temperatura de autoignición como el CS <sub>2</sub> ó el hexano	0.75
	Se aplica a cualquier proceso donde la entrada de aire pueda ser un riesgo. El factor es aplicable a cualquier equipo de proceso que opere a presión sub-atmosférica, aún momentaneamente.	0.50
C)	Tanques de Almacenamiento de líquidos CLASE I, donde pueda entrar aire durante el bombeo.	0.50
	<u>Proceso u operaciones donde se pueda caer en el rango inflamable o cerca de él:</u>	
	- Sólo en caso de falla de instrumentos o falla de purga	0.30
	- Ya sea porque no se puede purgar, por el proceso en sí, o por diseño.	0.80
	La descarga de pipas o carros-tanque que involucran un relleno	0.40

Continuación de la Tabla 4.3

PUNTO	C O N C E P T O		FACTOR
D)	<u>TAMAÑO DE PARTICULA</u> ( $\mu$ ) Más de 175 150 a 175 100 a 150 75 a 100 Menos de 75	<u>MESH DE MALLA TYLER</u> 60 a 80 80 a 100 100 a 150 150 a 200 Más de 200	0.25 0.50 0.75 1.25 2.00
	Si se transporta o maneja con gas inerte, el factor será la mitad del señalador		
E)	Unidades de Proceso que operen a alta presión y que tienen dispositivos de alivio, tales como discos de ruptura, válvulas de alivio, etc.  <u>La Fig. 4.1, indica el valor del Factor en función de la presión - de calibración del dispositivo de alivio y este puede ser modificado de acuerdo a:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>° Si se manejan materiales altamente viscosos</li> <li>° Si son gases comprimidos</li> <li>° Si son gases licuados inflamables o materiales con presión de vapor de 40 psig o más.</li> </ul>		Multipli- car por :  0.70 1.20 1.30
	Esta sección se aplica a procesos de extrucción o mediado		



FIGURA No. 41 PRESSION

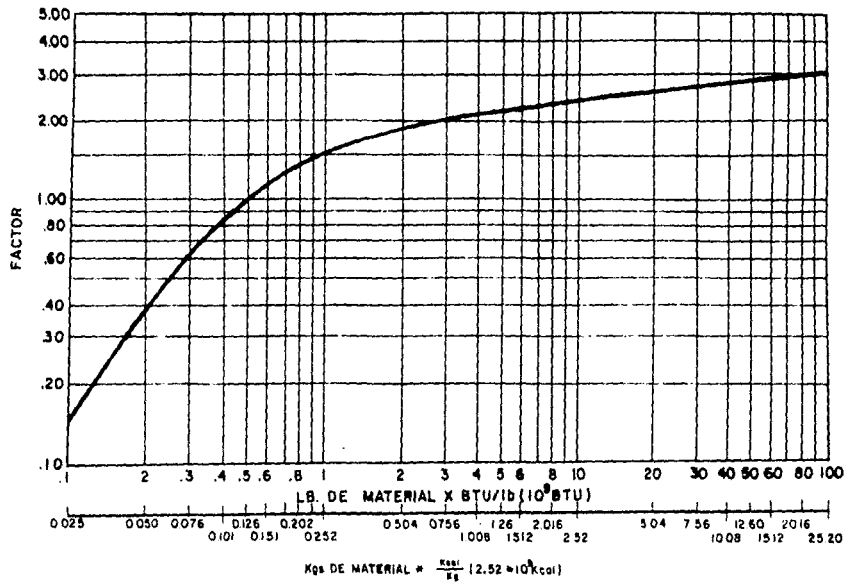


FUENTE: Dow Chemical Company

Continuación de la Tabla 4.3

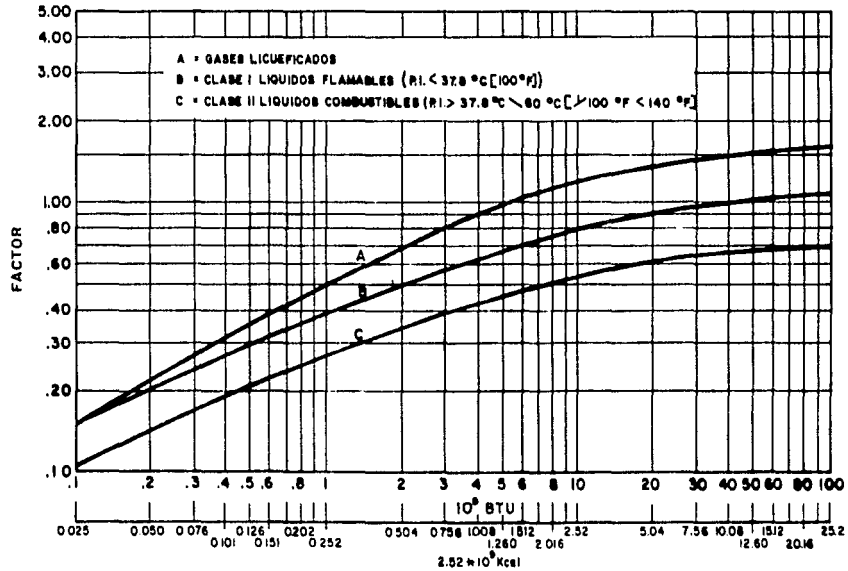
PUNTO	C O N C E P T O	FACTOR
F)	<p>En este punto se estiman los posibles daños que ocurren en el acero al carbón en o bajo de su temperatura de transición, sin considerar si el equipo no opera a temperatura abajo de la transición del material con el que está construido.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>° Para equipos de acero al carbón operando entre 10 y -29 °C</li> <li>° Si el acero al carbón se usa abajo de -29 °C</li> <li>° Para otros materiales en o abajo de su temperatura de transición.</li> </ul>	<p>0.30</p> <p>0.50</p> <p>0.20</p>
G)	<p>Líquidos inflamables y combustibles, gases licuados o gases en etapas de proceso, se obtienen los Kcal*10<sup>9</sup> totales, multiplicando -- los kilogramos de material por <math>\Delta H_c</math>.</p> <p>Los líquidos combustibles con punto de flama arriba de 60°C, sólo se consideran si la temperatura del proceso es mayor al punto de -- flama del material.</p> <p>LIQUIDOS O GASES DE ALMACENAMIENTO.- El factor se basa en las -- Kcal totales de un solo recipiente de almacenamiento, excepto en -- el caso de tambores donde se utiliza la cantidad total almacenada en tambores. Los materiales se evalúan por medio del calor de -- descomposición.</p>	<p>Se obtiene por medio de la Fig. 4.2</p> <p>Se evalúa por medio de la -- Fig. 4.3</p>

FIGURA N° 4.2 LIQUIDOS O GASES EN PROCESO



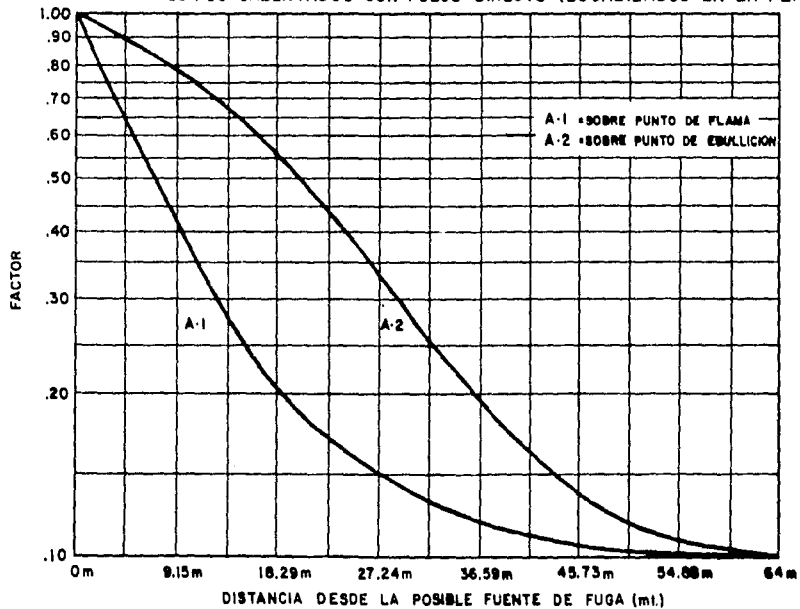
FUENTE: Dow Chemical Company

FIGURA No. 4.3 LIQUIDOS Y GASES EN ALMACENAMIENTO



R.I. = PUNTO DE INFLAMACION (de flama)

FIGURA N° 4.4 EQUIPOS CALENTADOS CON FUEGO DIRECTO (LOCALIZADOS EN LA PLANTA)



Continuación de la Tabla 4.3

PUNTO	C O N C E P T O	FACTOR
II)	<p>Se considera tanto la corrosión externa como la interna.</p> <p><u>Velocidad de Corrosión:</u></p> <p>Menor a 0.5 mm/año</p> <p>de 0.5 mm/año</p> <p>Mayor a 1.0 mm/año</p> <p>Riesgo a que la corrosión desarrolle esfuerzos de ruptura</p>	<p></p> <p>0.10</p> <p>0.20</p> <p>0.50</p> <p>0.75</p>
I)	<ul style="list-style-type: none"> <li>° Bombas y Prensaestopas selladas de manera que solo puedan dar fugas menores.</li> <li>° Si se sabe que se tendrán problemas regulares de fugas en bombas, compresores y juntas.</li> <li>° Juntas de expansión, tubos o juntas flexibles y mirillas de vidrio.</li> </ul>	<p>0.10</p> <p>0.30</p> <p>1.50</p>
J)	<p>La localización de los equipos calentador con fuego directo, (hornos, Calderas, etc.) en una unidad de proceso, aumentan la exposición a un incendio cuando hay un alivio de vapores inflamables.</p> <p>Los equipos operados con quemador de presión, aplican solo la mitad del valor del factor</p>	<p>Se evalúa por medio de la Fig. 4.4</p>

Continuación de la Tabla 4.3

PUNTO	C O N C E P T O	FACTOR															
K)	<p>Los sistemas que utilizan aceites combustibles como medio de intercambio de calor, presentan una exposición adicional al fuego cuando operan arriba de su punto de flama. El factor depende de la cantidad utilizada y de la temperatura de operación sin considerar las partes del sistema usadas como almacenamiento o que no tienen alimentación automática.</p> <table border="1" data-bbox="338 419 1108 616"> <thead> <tr> <th data-bbox="338 419 608 481">CANTIDAD DE ACEITE (LITROS)</th> <th data-bbox="608 419 854 481">TEMP. SOBRE PUNTO DE FLAMA</th> <th data-bbox="854 419 1108 481">TEMP. SOBRE EL PUNTO DE EBULLICION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="338 481 608 523">19,000</td> <td data-bbox="608 481 854 523">0.15</td> <td data-bbox="854 481 1108 523">0.25</td> </tr> <tr> <td data-bbox="338 523 608 559">19,000 a 38,000</td> <td data-bbox="608 523 854 559">0.30</td> <td data-bbox="854 523 1108 559">0.45</td> </tr> <tr> <td data-bbox="338 559 608 595">38,000 a 95,000</td> <td data-bbox="608 559 854 595">0.50</td> <td data-bbox="854 559 1108 595">0.75</td> </tr> <tr> <td data-bbox="338 595 608 637">95,000</td> <td data-bbox="608 595 854 637">0.75</td> <td data-bbox="854 595 1108 637">1.15</td> </tr> </tbody> </table>	CANTIDAD DE ACEITE (LITROS)	TEMP. SOBRE PUNTO DE FLAMA	TEMP. SOBRE EL PUNTO DE EBULLICION	19,000	0.15	0.25	19,000 a 38,000	0.30	0.45	38,000 a 95,000	0.50	0.75	95,000	0.75	1.15	
CANTIDAD DE ACEITE (LITROS)	TEMP. SOBRE PUNTO DE FLAMA	TEMP. SOBRE EL PUNTO DE EBULLICION															
19,000	0.15	0.25															
19,000 a 38,000	0.30	0.45															
38,000 a 95,000	0.50	0.75															
95,000	0.75	1.15															
L)	<p>La evidencia estadística indica que los equipos rotatorios, como bombas y compresores, arriba de cierto tamaño contribuyen a producir incidentes de pérdida, por lo que las unidades de proceso que utilicen bombas mayores a 75 HP o compresores desde 600 HP tendrán que ser consideradas.</p>	0.50															

FUENTE: Manual de Seguridad en Procesos. Adaptación de Process Safety Review Manual (PSR) Celanese Chemical Company

#### 4.2.3 DETERMINACION DEL FACTOR DE RIESGO DE LA UNIDAD (FR<sub>3</sub>)

Este factor de riesgo de la unidad (FR<sub>3</sub>), es la medida de la magnitud del daño probable relativo a la exposición, a la combinación de los factores utilizados en el análisis y es un valor de 1 a 8, y se termina por medio de:  $FR_3 = FR_1 * FR_2$  siendo cada uno la suma de los factores considerados más 1.0 que es la base del factor.

#### FACTOR DE DAÑO

Es la magnitud del daño probable y está en función del factor de riesgo de la unidad del factor materia) como se muestra en la Fig. 4.5

#### 4.2.4 DETERMINACION DEL INDICE DOW DE FUEGO Y EXPLOSION (IDFE)

Se calcula:  $IDFE = FR_3 \times FM$

Aunque un fuego o una explosión no afectan un área perfectamente circular, por lo que no producen el mismo daño en todas direcciones por depender de la dirección y velocidad del viento, precisión del equipo, drenajes, etc.

Para poder calcular el área de explosión, se considera circular, como la necesaria para tener un derrame de líquido inflamable de 8 cms. de profundidad, y los radios de sobrepresión de varias mezclas vapor-aire. Estos dos tipos de explosión se han relacionado con el IDFE, para determinar el radio de exposición como se muestra en la Fig. 4.6



FIGURA No. 4.5 FACTOR DE RIESGO DE LA UNIDAD  
(FR<sub>3</sub>)

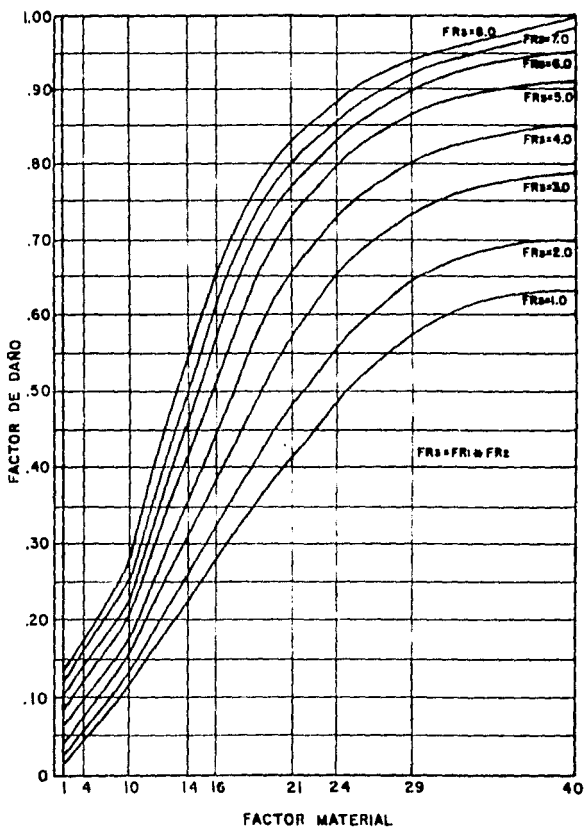
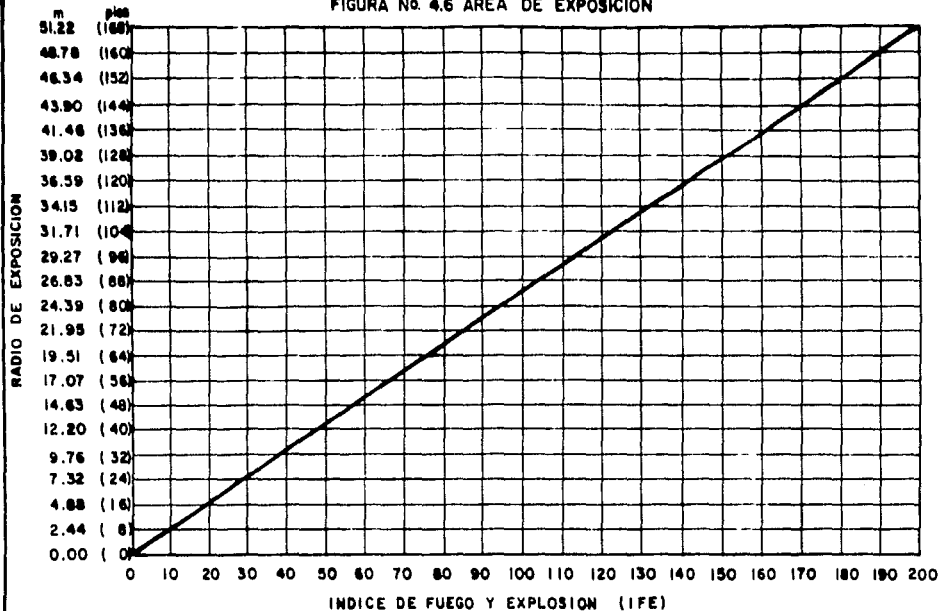


FIGURA No. 4.6 AREA DE EXPOSICION



FUENTE: Dow Chemical Company

TABLA 4.4 CLASIFICACION DE RIESGOS

I D F E	TIPO DE RIESGOS
1 - 60	LIGERO
61 - 96	MODERADO
97 - 127	INTERMEDIO
128 - 158	GRAVE
Más de 158	SEVERO

#### 4.2.5 DETERMINACION DEL DAÑO MAXIMO PROBABLE A LA PROPIEDAD BASE (DMPP)

El DMPP base se obtiene del valor de reemplazo del equipo -- dentro del área de exposición.

Valor de Reposición = Costo original \* 0.82 \* Factor de Escalación.

El 0.82 es la corrección estadística por partes no sujetas a reemplazo, tales como: Preparación del lugar, Cimentaciones Líneas Subterráneas, Ingeniería, etc.

En el cálculo del DMPP debe incluirse:

- ° Valor de los inventarios de productos.
- ° Materias primas y materiales considerando el 80 % de capacidad para tanques de almacenamiento, 70 % de capacidad para bodegas.

- La capacidad de diseño de los recipientes y Líneas de proceso.

La suma de estos costos y del valor de reposición multiplicada por el factor de daño, nos da el DMPP base.

#### 4.2.6 FACTORES DE CORRECCION POR MEDIDAS DE CONTROL DE PERDIDAS.

En el diseño y operación de Plantas y Edificios, se incluyen condiciones de operación que presentará finalmente la planta

El objetivo primordial del diseño de proceso, es establecer las características de todos y cada uno de los equipos y elementos de una Planta para materializar las operaciones físico-químicas.

Teniendo como actividades principales de un diseño de este tipo, los siguientes:

- Determinación de la información indispensable para el diseño.
- Desarrollo de las especificaciones de materias primas productos finales y subproductos, incluyendo sus características comerciales.
- Especificación de los productos químicos auxiliares - que requiere el proceso, de los catalizadores y de los productos intermedios.
- Diseño básicos y dimensionamiento de los equipos principales que integrarán el sistema de proceso (por ejemplo: hornos, reactores, recipientes, intercambiadores de calor, bombas, compresores, etc.)

- Selección de los métodos y análisis de laboratorio para materias primas, productos en proceso y productos intermedios.

Factores básicos de seguridad que contribuyen a minimizar la exposición de un área en donde pueda ocurrir un riesgo, o reducir la probabilidad y magnitud del riesgo. Estos factores se utilizan para reducir el DMPP base a un valor dividido en 3 grupos::

$C_1$ : Control de Proceso

$C_2$ : Aislamiento del material

$C_3$ : Protección contra incendios

Cada grupo contiene una serie de elementos afines, que al -- evaluarlos y multiplicarlos entre sí, se obtiene el factor -- de cada grupo ( $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$ ) en donde:

$$C_1 * C_2 * C_3 = C_g$$

y  $C_g$ : Factor de corrección global

Al referirse a la Fig. 4.7, obtenemos el factor de correc- -- ción actual por el DMPP base, nos da el DMPP actual.

FIGURA No 4.7 FACTOR DE CORRECCION GLOBAL

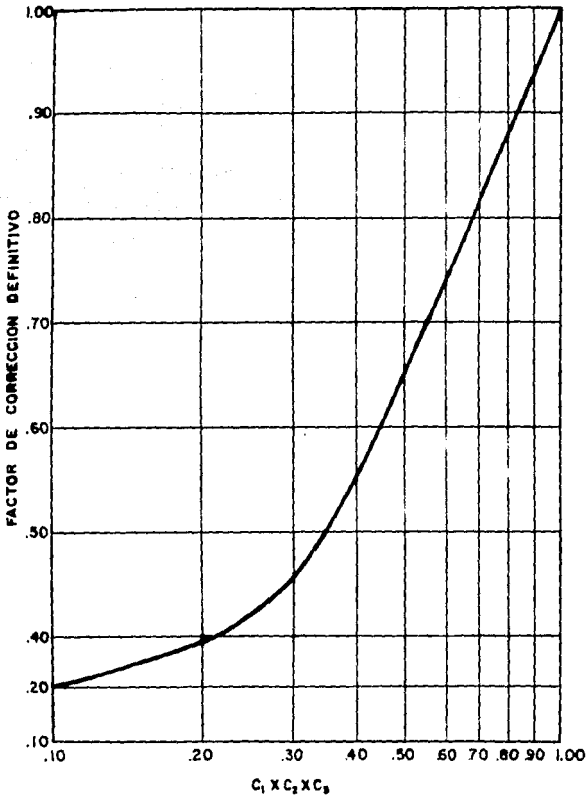


TABLA 4.5 FACTORES DE CORRECCION POR MEDIDAS DE CONTROL DE PERDIDAS

FACTOR DE CORRECCION	C O N C E P T O	VALOR DEL FACTOR
C <sub>1</sub>	• Energía de emergencia para los servicios esenciales	0.97
	• Sistema de enfriamiento normal durante 10 minutos	0.98
	• Control de explosiones: Si hay sistemas de supervisión de explosión instalados en los equipos de proceso	0.95
	• Paro de emergencia: Si el sistema es activado por 2 ó 3 condiciones anormales	0.96
	• Si los equipos críticos rotatorios tienen detector de vibraciones y solo alarmas	0.98
	• Si inicia el paro	0.94
	• Gas Inerte: Si los equipos que contienen vapores inflamables están bloqueados con gas inerte	0.94
	• Instrucciones de operación: Suma los valores de los procedimientos e instrucciones siguientes que la unidad cubra y aplique la relación $  1.0 - (X/100)  $ , para el total, el factor es:	0.86
	a) Arranque	0.50
	b) Rutina de paro	0.50
	c) Operación normal	0.5
	d) Cambio de condiciones de operación	0.5
	e) Condiciones de espera de corrida o total de recirculación	0.5

TABLA 4.5 FACTORES DE CORRECCION POR MEDIDAS DE CONTROL DE PERDIDAS

FACTOR DE CORRECCION	C O N C E P T O	VALOR DEL FACTOR
C <sub>1</sub>	° Energía de emergencia para los servicios esenciales	0.97
	° Sistema de enfriamiento normal durante 10 minutos	0.98
	° Control de explosiones: Si hay sistemas de supersión de explosión instalados en los equipos de proceso	0.95
	° Paro de emergencia: Si el sistema es activado por 2 ó 3 condiciones anormales	0.96
	° Si los equipos críticos rotatorios tienen detector de vibraciones y solo alarmas	0.98
	° Si inicia el paro	0.94
	° Gas Inerte: Si los equipos que contienen vapores inflamables están bloqueados con gas inerte	0.94
	° Instrucciones de operación: Suma los valores de los procedimientos e instrucciones siguientes que la unidad cubra y apli que la relación $  1.0 - (X/100)  $ , para el total, el factor es:	0.86
	a) Arranque	0.50
	b) Rutina de paro	0.50
	c) Operación normal	0.5
d) Cambio de condiciones de operación	0.5	
e) Condiciones de espera de corrida o total de recirculación	0.5	



Continuación de la Tabla 4.5

FACTOR DE CORRECCION	C O N C E P T O	VALOR DEL FACTOR
	f) Condiciones sobre la capacidad de operación g) Arranque después de paro por mantenimiento h) Procedimientos de mantenimiento, permisos, entrega i) Paro de emergencia j) Modificaciones o adiciones a equipo y tubería k) Revisión de situaciones anormales de falla <ul style="list-style-type: none"> <li>° Análisis de reactivos químicos:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Si el análisis es ocasional</li> <li>Si existe programa continuo como parte de la operación</li> </ul> </li> </ul>	1.0 1.0 1.50 1.50 2.00 3.00  0.96 0.85
C <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>° Válvulas de control remoto: Si aíslan secciones de transferencia tanques de almacenamiento o de proceso</li> <li>° Drenaje:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Si tiene una pendiente mínima de 2 % y la trinchera de capas de manejar mínimo de 75 % del contenido de proceso</li> </ul> </li> <li>° Interlock (protección):                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Si el sistema cuenta con un sistema de interlock que prevenga flujo de materiales incorrecto o reacciones no deseadas</li> </ul> </li> </ul>	0.94  0.85  0.96

FUENTE: Manual de Seguridad en Proceso. Adaptación de Process Safety Manual (PSR) Celanese Chemical Company

Continuación de la Tabla 4.5

FACTOR DE CORRECCION	C O N C E P T O	VALOR DEL FACTOR
C <sub>3</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>° Detección de Fugas:</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Si cuenta con detectores de vapores</li> </ul>	0.75
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Quando alarme al 25 % del limite inferior de explosividad y actúe el sistema de protección al 75 %</li> </ul>	0.90
	<ul style="list-style-type: none"> <li>° Suministros de Agua:</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Si la presión en el punto de descarga es 100 psig. o mayor</li> </ul>	0.90
<ul style="list-style-type: none"> <li>Si es menor a 100 psig.</li> </ul>	0.95	
<ul style="list-style-type: none"> <li>° Sistemas Especiales</li> </ul>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Si la unidad cuenta con sistemas de CO<sub>2</sub>, Polvo químico seco, detectores de humo, temperatura o ionización</li> </ul>	0.85	

FUENTE: Manual de Seguridad en Proceso. Adaptación de Process Safety Manual (PSR) Celanese Chemical Company

#### 4.2.7 DETERMINACION DE LOS MAXIMOS DIAS PROBABLES FUERA DE OPERACION (MDPFO)

Los MDPFO.- Es el tiempo en el que la unidad estará fuera de operación debido a reparaciones y reemplazo de equipo, más - la pérdida de capacidad de producir ciertos productos, por - lo que esta en función del DMPP actual indicado en la Fig. - 4.8

La interrupción de los negocios es la consecuencia final y - puede estimarse con la siguiente relación:

$$\text{Interrupción de negocios} = \frac{\text{MDPFO}}{30} * \text{Valor del producto terminado} * 0.70 = (\$MM \text{ US} - \text{DLS.})$$

donde:

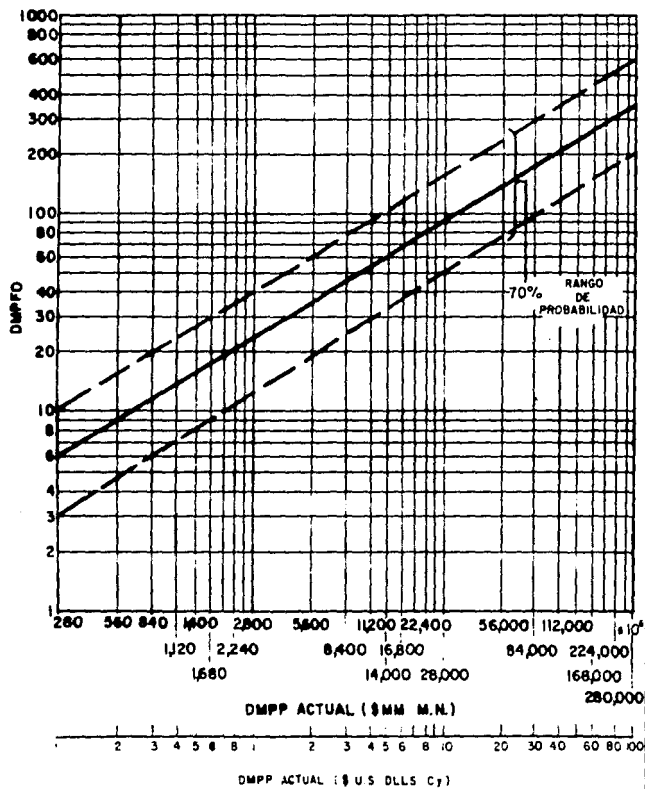
0.70 es el rango de probabilidad que refleja que la variable puede ocurrir debido a que existen pequeñas pérdidas en costo, pero mucho tiempo de reparación y además, se cuenta con reserva (stock) de equipos y partes críticas que minimizan - los MDPFO.

#### 4.2.8 RESULTADO DE ANALISIS

Estos se concentran en forma de reporte por el Análisis de - Seguridad de Procesos, los siguientes datos:

Factor de Riesgo, Factor Material, Valor del Area Expuesta, el IDFE, los DMPP base, el Factor de Corrección, los DMPP actual, los DMPFO y las RECOMENDACIONES DEL GRUPO DE ANALISIS DE SEGURIDAD DEL PROCESO.

FIGURA No. 4.8 DIAS MAXIMOS PROBABLES FUERA DE OPERACION  
(DMPFO)



\* NOTA SE CONSIDERAN \$2800 M.N./\$ US DLL

#### 4.3 TÉCNICA DE ¿QUE PASARIA SI . . . ?

Esta técnica se aplica para evaluar el campo de sistemas de protección de procesos y es un método de análisis de riesgo general que difiere de los otros porque NO ES TAN RIGIDO Y - SISTEMATICO, y puede aplicarse tanto a una sección del proceso como a toda una unidad.

Con este método se supone que ocurre una falla sin considerar que fue lo que la causó.

Se buscan fallas como las siguientes:

¿Qué pasaría si hay una . . . .

- ° Pérdida de servicio (agua de enfriamiento, agua de proceso, vapor, aire de instrumentos, aire de proceso)?
- ° Pérdida de energía eléctrica?
- ° Pérdida de energía eléctrica de emergencia?
- ° Pérdida del sistema de cómputo de control del proceso
- ° Descarga de una válvula de relevo o de un disco de -- ruptura?  
(Capacidad suficiente? ¿calibración? ¿dónde descargar?).
- ° Reacción de descomposición o polimerización incontrolada?

- **Pérdida del sistema de agua contra incendio?**
- **Explosión o un incendio interior?**
- **¿Qué pasaría si el operador falla al efectuar una operación crítica?**

Contestando estas y otras preguntas clave, se tendrá una evaluación de los efectos de fallas de equipo, errores en procedimientos, desastres naturales, etc. Los resultados dependerán de la experiencia y de la capacidad imaginativa del grupo de análisis.

#### 4.4 TECNICAS DE ANALISIS DE FALLAS Y EFECTOS (AFYE)

Esta técnica de análisis de riesgos se aplica a campos de operabilidad y de sistemas de protección de procesos.

El método AFYE, además de ser sencillo y práctico, es uno de los más completos sistemas de análisis y proporciona resultados sobre los procesos de una profundidad tal, que constituye en sí mismo, una herramienta muy valiosa de aprendizaje y comprensión de los procesos que se estudian.

##### PRINCIPIOS DE ANALISIS

- 1).- Conceptos Básicos
- 2).- Palabra Guía
- 3).- Uso de Hoja de Trabajo
- 4).- Secuencia de Análisis

##### CONCEPTOS BASICOS

Este procedimiento de análisis requiere de una descripción completa del proceso y cuestiona cada una de sus partes para descubrir que desviaciones del propósito original, por lo cual fueron diseñados, pueden ocurrir y determinar cuáles de esas desviaciones pueden dar lugar a riesgos al proceso o al personal.

##### PALABRAS GUIA

Por medio de siete Palabras Guía, se formularon preguntas -

para probar si la intención de diseño de un componente de proceso, se lleva a cabo en todo momento o puede existir -- una desviación bajo alguna circunstancia concebible, veáse Tabla 4.6, como se ilustra a continuación.



TABLA 4.6 TECNICA DE ANALISIS DE FALLAS Y EFECTO, PALABRAS GUIA

PALABRAS GUIA	SIGNIFICADO	APLICACION
NO	La completa negación de la intención	No se realiza la intención de diseño, ni parte de ella, pero no sucede otra cosa.
MAS MENOS	Incremento o disminución cuantitativa.	Se refiere tanto a cantidades como a propiedades, tanto cantidad de flujo o temperatura como a calor o reactividad, etc.
ADEMAS DE	Incremento cualitativo.	Todas las intenciones de diseño y operación se llevan a cabo, además de otra actividad adicional no deseada.
PARTE DE	Disminución Cualitativa.	Sólo se llevan a cabo ciertas intenciones de diseño, mientras que otras no.
INVERSO	La intención lógica opuesta.	Aplicable principalmente a actividades, por ejemplo: Retroceso de flujo o reacción reversible. También a sustancias como "veneno" en lugar de "antídoto", o "ácido" en vez de "alcali".
DISTINTO	Sustitución completa de la intención	No se lleva a cabo ninguna parte de la intención, pero ocurre algo diferente.

## USO DE HOJAS DE TRABAJO

La Hoja de Trabajo utilizada para este análisis, es una herramienta necesaria para seguir un proceso lógico en el estudio, y será útil posteriormente como documento de referencia de uso práctico. Consta de nueve columnas que se llenaron durante el estudio, proporcionando las bases para la detección de riesgos, su magnitud, sus probabilidades de detección y control oportuno, y las acciones necesarias para su minimización.

El método se desarrolla dividiendo el proceso en secciones, de los cuales se identifican sus principales componentes, - líneas de materias primas, de productos, sistemas de combustión, de enfriamiento, etc.

COLUMNAS	DESCRIPCION
1) COMPONENTE	Es la pieza del equipo por analizar. - Ejemplos: Cambiadores de calor, Reactores, Torres, etc., incluyendo además, - líneas de instrumentación de control, - válvulas de bloqueo, bombas.
2) FALLA	En la desviación de la intención original del componente.
3) CAUSA	Son las razones por las que la falla ocurre. Mientras que mayor número de causas puedan encontrarse, debe considerarse una mayor posibilidad de ocurrencia de la falla y se debe de dar mayor atención a esta.
4) FRECUENCIA	Es el número de veces que se espera que se repita u ocurra una falla. Esta frecuencia será equivalente a la frecuencia mayor de cualquiera de las causas de una falla y generalmente se fija como incidente por año. Determinar la frecuencia tiene dos propósitos: 1).- Contar con ella, ayuda a evaluar la importancia de la falla. 2).- Es de gran valor contar con toda la información interna relativa a la confiabilidad del equipo de proceso.

COLUMNAS	DESCRIPCION
<p>5) CLASE DE RIESGO</p> <p>CLASE I</p> <p>CLASE II</p> <p>CLASE III</p>	<p>Es la gravedad relativa de un efecto peligroso.</p> <p>Las clases de riesgo se han dividido en cuatro y se deberán aplicar sin tomar en cuenta los beneficios de los sistemas de protección existentes:</p> <p><b>INSIGNIFICANTE.</b></p> <p>La falla del componente no dará resultados de riesgo de importancia en el proceso. No habrá daño al equipo ni exposición al personal.</p> <p><b>MARGINAL</b></p> <p>La falla del componente ocasionará fallas menores del sistema, que pueden ser contabilizadas. No habrá riesgo de lesión al personal y el daño del equipo se limitará a desgaste excesivo, producto fuera de especificación, etc.</p> <p><b>CRITICO.</b></p> <p>La falla del componente provocará daños al sistema que requiere acciones correctivas inmediatas para la supervivencia del personal y/o de la unidad. Existe casi la certeza de que el personal será lesionado o recibirá una exposición tóxica; o bien, habrá daños significativos</p>

COLUMNA	DESCRIPCION
CLASE IV	<p>en el equipo y paro de la unidad.</p> <p><b>CATASTROFICO.</b></p> <p>La falla del componente dará como resultado una pérdida mayor en el sistema y lesiones al personal. Conceptualmente, estas fallas son las que al menos inicialmente, parecen no tener medios de prevención y sus efectos caen dentro de cualquiera de los dos grupos siguientes:</p> <p>a) El potencial es el de una pérdida <u>ma</u>yor del equipo.</p> <p>b) Existe potencial para afectar <u>propie</u>dades ajenas a la compañía o a <u>perso</u>nas fuera de sus límites de <u>propie</u>dad.</p> <p><b>MEDIO DE DETECCION.-</b> Son los mecanismos que existen en la unidad que alertarán - al operador, supervisor, etc., de que se está presentando la falla del componente o sus efectos.</p> <p><b>RESPUESTA OPERACIONAL.-</b> Son los medios operativos existentes para contrarrestar la falla o sus efecto: dispositivos de protección, sistemas de paro automático, procedimientos de operación, de emergencia, etc.</p>

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

COLUMNAS	DESCRIPCION
6) EFECTOS PELIGROSOS	Son los <u>resultados</u> que aparecerán en la unidad a consecuencia de la falla. De donde el propósito fundamental de este análisis será el estar especialmente interesados en aquellos efectos que representen un riesgo.
7) MEDIO DE DETECCION	Son los mecanismos que existen en la unidad para alertar a alguien (al operador, supervisor, etc.), de que se está <u>presentando</u> la falla del componente o sus efectos.
8) RESPUESTA OPERACIONAL	Son los medios operativos existentes para <u>contrarrestar</u> la falla o sus efectos, es decir: Dispositivos de protección, - interlocks, sistema de paro automático, - procedimientos de operación o procedimientos de emergencia, etc.
9) ACCIONES ADICIONALES REQUERIDAS	En esta columna se pretende establecer un estado de transición entre el reconocimiento del riesgo y las <u>recomendaciones</u> que se emitirán finalmente.

## SECUENCIA DE ANALISIS

Para realizar el AFYE se tendrá que seguir una secuencia, - la cual deberá contar con los siguientes requisitos:

- a) Diagramas y descripción completa del proceso, incluyendo diagramas de flujo, equipo involucrado, instrumentación características y condiciones del proceso, etc.
- b) Habilidad técnica, comprensión del proceso y perspicacia del grupo de análisis.
- c) Habilidad del grupo de análisis para mantener un sentido de proporción, particularmente el determinar la seriedad de los riesgos identificados.

#### 4.5 METODO: NUBES EXPLOSIVAS

##### GUIA DE CALCULO DE NUBES EXPLOSIVAS

Hace algunos años que la fuga de gases inflamables o de líquidos calientes inflamables, sólo se tomaban en cuenta como un problema de incendio; sin embargo, actualmente se ha reconocido que una fuga de grandes cantidades de gases inflamables pueden ocasionar una nube explosiva en espacios abiertos que pueden causar severos o catastróficos daños a extensas áreas de una planta. Por lo cual se ha desarrollado un método para determinar el potencial explosivo aproximado, basado en las siguientes:

##### SUPOSICIONES

- 1).- La fuga es instantánea y no se considera el caso de un escape de gas paulatino, excepto para fugas en tuberías de gran capacidad con material transportado desde instalaciones lejanas.
- 2).- El material fugado se vaporiza instantáneamente y la nube se forma de forma inmediata, de acuerdo a las condiciones termodinámicas del gas o líquidos inflamables antes de la fuga.
- 3).- La nube adquiere una forma cilíndrica cuya altura es su eje vertical. No se consideran distorsiones ocasionadas por el viento o por estructuras y edificios presentes.



- 4).- La nube tiene una composición uniforme y su concentración en el aire está en el punto medio entre los límites inferior y superior de la explosividad del material. Se supondrá que una nube de las mismas condiciones que una originada en el exterior.
- 5).- Se tomará el Calor de Combustión de la TNT (Trinitro tolueno - Glicerina) de 2,000 Btu/lb, para convertir el calor de combustión del material a un equivalente en peso de TNT.
- 6).- La temperatura ambiente se considerará constante a - 21.1°C

#### 4.5.1 FACTORES QUE DETERMINAN LA FORMACION DE NUBES EXPLOSIVAS.

Se considerarán sólo los siguientes materiales como posibles formadores de nubes explosivas:

- 1).- Gases en estado líquido por enfriamiento
- 2).- Gases en estado líquido por efecto de presión.
- 3).- Gases sujetos a presiones de 500 psi. o mayores.
- 4).- Líquidos inflamables o combustibles a una temperatura mayor a su punto de ebullición y mantenidos así - por efecto de presión.

Los resultados de este análisis; además de determinar los daños máximos (DMP) y catastróficos probables (DCP), permitirán evaluar la exposición al riesgo de ampliaciones de la

planta, siguiendo el criterio de todos los puntos siguientes:

- 1).- Una nube explosiva originada en un área no deberá cubrir ninguna parte de los mayores edificios o procesos de un área vecina.
- 2).- Todos los edificios y equipos mayores de un área deberán estar fuera del círculo de una onda expansiva de 3 psi de presión, producida por la explosión de una nube explosiva de otra área.
- 3).- Todos los edificios y equipos mayores afectados por ondas expansivas entre 1 y 3 psi de presión, deberán estar diseñados para resistir una onda expansiva de 2 psi, considerando un factor de explosividad de 0.02.

#### 4.5.2 METODO DE CALCULO

##### A).- Determinación de la fuga probable

- El tamaño de una fuga, se determinará por el CONTENIDO DEL RECIPIENTE DE PROCESO MAYOR O DE UNA SERIE DE RECIPIENTES DE PROCESO conectados entre sí sin estar aislados, no se consideran la existencia de válvulas automáticas o control remoto que separen esos recipientes al originarse la fuga.
- La existencia de fuentes de ignición en las cercanías de una posible fuga, no se considerará como limitante de la formación de una nube.

B).- Cálculo del Peso del Material en el Sistema:

1).- GASES.- Si el material en el sistema es un gas a -- 500 psig o más de presión, el peso se calculará como:

$$V_g = 0.0076 MW_g \quad (1)$$

2).- LIQUIDOS.- Si el material existente se encuentra en estado líquido se usará:

$$W_L = 8.35 V_L \quad (2)$$

C).- Cálculo de la Cantidad vaporizada (W).

1).- Para líquidos o gases licuados con punto de ebullición menor de 21.1°C, se supone que el 100 % se vaporizará, por lo que:

$$W = W_G \quad \text{y} \quad W = W_L$$

2).- Para líquidos con puntos de ebullición sobre 21.1°C, la cantidad vaporizada será:

$$W = \frac{W_L C_p (T_1 - T_2)}{H_v} \quad (3)$$

D).- Cálculo del Diámetro de la nube.

En base a la experiencia es conveniente considerar una altura de 3 metros (10 pies) como la altura que

alcanza una nube explosiva.

$$D = 22.19 \frac{W}{hMV} \quad (4)$$

$$V = \frac{LEL (\%) \quad VEL (\%)}{2 \times 100 (\%)} \quad (5)$$

Si se considera la altura de 10 pies como estándar, se tiene:

$$D = 7.017 \frac{W}{MV} \quad (6)$$

E).- El cálculo de la energía desprendida.

$$W_g = \frac{W}{4} \frac{Hc}{10^6} f \quad (7)$$

F).- Cálculo del Diámetro de las Ondas Expansivas.

Las ondas expansivas consideradas en este método, producto de una explosión, se expresan en unidades de presión y varían de 0.5 psi a 30 psi. Las ondas de mayor presión estarán en una circunferencia cerca del centro de la nube explosiva, mientras que las de menor presión desarrollan circunferencias de un diámetro mayor.

G).- Determinación del Daño

A continuación se presentan algunos efectos de nubes explosivas en Refinerías:

1).- Cuarto de Control: Construcción de concreto y estructuras de fierro, onda expansiva.

0.5 psi	Ruptura de ventanas.
1.0 psi	Deformación de la estructura
1.5 psi	Derrumbe del techo
3.5 psi	Derrumbe de muros de concreto
10.0 psi	Derrumbe de estructura de fierro.

2).- Torre rectangular: Estructura de concreto.

5.5 psi	Fractura de la estructura de concreto
7.0 psi	Derrumbe de la estructura de la torre

3).- Torre de vacío octagonal: Estructura de concreto.

7.0 psi	Fractura de la estructura
7.5 psi	Ruptura de anclaje de la torre y caída de ella.

4).- Torre fraccionadora: Montada sobre pedestal de concreto.

4.5 psi	Aflojamiento de tuercas de anclaje
7.0 psi	Caída de la torre

5).- Torre de regeneración: Estructura de acero.

5.0 psi	Deformación de la columna
7.0 psi	Caída de la torre

6).- Torre de regeneración: Estructura de concreto.

8.5 psi	Fractura de la estructura
16.0 psi	Derrumbe de la estructura y la torre

7).- Reactor rectangular de cracking catalítico: Estructura de concreto.

8.0 psi Fractura de la estructura

12.0 psi Derrumbe de la estructura y la torre

8).- Desisobutanizador: Montado sobre pedestal y zapatas

9.5 psi Caída del reactor.

9).- Unidad de recuperación de vapor: Con estructura rectangular de acero.

6.0 psi Derrumbe de la estructura

10).- Horno de tubos fijos.

1.5 psi Desplazamiento ligero de su posición original.

6.0 psi Caída de chimenea

6.5 psi Derrumbe del horno

11).- Edificio de mantenimiento.

0.3 psi Caída de techo de asbesto corrugado

3.0 psi Deformación de la estructura

5.0 psi Derrumbe de muros de tabique, deformación seria de la estructura.

6.0 psi Derrumbe de la estructura

12).- Torre de enfriamiento de agua.

0.3 psi Caída de lumb<sup>er</sup>as de asbesto corrugado

3.5 psi Derrumbe de la torre

13).- Tuberías: Soportadas por estructuras de acero.

3.5 psi	Deformación de la estructura
6.0 psi	Derrumbe de la estructura y rompimien <u>to</u> de la tubería.

14).- Tuberías: Soportadas por estructura de concreto.

3.5 psi	Fracturas en la estructura
5.0 psi	Derrumbe de la estructura y rompimien <u>to</u> de línea.

15).- Tanques de almacenamiento: Techo cónico y techo floante.

1.5 psi	Levantamiento de tanques vacíos
3.5 a 6.5 psi	Levantamiento de tanques llenos o medio llenos, dependiendo de su capacidad.

16).- Tanques de almacenamiento esféricos.

7.0 psi	Deformación de la estructura en tanques llenos.
7.5 psi	Deformación de la estructura en tanques vacíos
9.0 psi	Derrumbe de tanques llenos
9.5 psi	Derrumbe de tanques vacíos.

#### 4.6 METODO DEL ARBOL DE FALLAS.

##### SU APLICACION EN EL ANALISIS DE PROBABILIDAD DE PERDIDAS EN PROCESOS INDUSTRIALES.

En la presencia de energía física destructiva de presión, calor y movimiento y las formas en que estas pueden ser activadas, se conocen desde la Revolución Industrial; así también como el desarrollo de energías potencialmente destructivas - de reacciones químicas se han venido conociendo desde hace años, así como la forma en que pudieran ser activadas: Sin embargo, continúan ocurriendo accidentes catastróficos.

Se han llevado a la fecha innumerables métodos para estimar - el potencial destructivo cinético-termodinámico, de más de - cien mil nuevos compuestos orgánicos desarrollados por investigación industrial cada año.

Sin embargo, hasta la fecha no ha sido posible detener los - accidentes catastróficos en los procesos peligrosos conocidos; si esto es así, ¿cómo hemos de manejar aquellos que no hemos identificado plenamente?. La situación es deprimente.

Estudiando los sucesos catastróficos o desastres industriales que han ocurrido en otros países, es verdaderamente difícil encontrar un sistema de análisis formal de seguridad, - aplicado antes o después del incidente, que de la probabilidad de ocurrencia o suceso.

Esto es significativo, considerando la proporción de incidentes que ocurren constantemente en la industria, no debido a un desconocimiento de las potenciales cinéticas y termodinámicas.



micas destructivas, sino por falta de confiabilidad de sistemas instalados para contar con una "seguridad adecuada" contra la ocurrencia de estos accidentes.

Debido a la necesidad de analizar la confiabilidad de estos sistemas de control y seguridad en proceso nació el Arbol de Fallas, el cual empezó a utilizar la N.A.S.A. cuando el programa de proyectiles se enfrentó con un evento de pérdida tan grande que no podía ser permitido aún a una primera ocurrencia. Posteriormente, una adaptación de la técnica de la N.A.S.A., se empezó a aplicar en Industrias de Proceso en Monsanto Co.

#### 4.6.1 PROPOSITO Y FUNCION DEL ARBOL DE FALLAS

No podemos decir que la probabilidad de ocurrencia de un incidente de pérdida o accidente, pueda reducirse en su totalidad. En cuanto haya una posibilidad de pérdida, existirá -- una probabilidad matemática de la ocurrencia de pérdida y -- los accidentes de pérdida ocurrirán con la frecuencia dictada por esa probabilidad.

Para que haya cero pérdidas, debería de haber cero posibilidad de pérdida y esto se traducirá en cero capacidad de producción y utilidades.

Deberá comprenderse que la prevención de pérdidas, no es -- realmente prevención, sino CONTROL, sin comprometer la producción, las utilidades y principalmente la vida humana.

La aplicación del Arbol de Fallas, nos permite evaluar la posibilidad de pérdida y compararla con la magnitud de la pérdida.

Un incidente de pérdida o accidente (Falla del Sistema), que en adelante le llamaremos "FS", generalmente tiene más de -- una "causa" que lo provocan, esto es, eventos o condiciones que son desviaciones del estado normal o planeado de un sistema.

Si sólo uno de estos eventos o condiciones es suficiente para causar "FS", entonces la probabilidad de "FS" es igual a la probabilidad de que ocurra este evento o condición. Si se requieren dos o más eventos y éstos son independientes entre sí, entonces la probabilidad de "FS", será igual al producto de las probabilidades de ese evento.

#### 4.6.2 PROBABILIDAD

Es la posibilidad matemática de que un evento ocurra y se expresa en fracciones entre 0 y 1.

- La absoluta imposibilidad es cero.
- La absoluta certeza es uno.

Nosotros utilizaremos la probabilidad relativa de ocurrencia de cada evento, expresada en potencias negativas de diez:

$$10^{-3}, 10^{-5}, 10^{-8}, \text{ etc.}$$

#### 4.6.3 ¿QUE ES UN ARBOL DE FALLAS?

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

#### 4.6.4 ¿QUE ES 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.

#### 4.6.5 ¿PARA QUE NOS SIRVE ESTA METODOLOGIA?

Para adquirir información acerca del estado de un sistema:

- ° En la determinación de posibles causas de fallas.
- ° En el diseño de sistemas.
- ° Para analizar los periodos de mantenimiento.
- ° En el análisis de riesgos.

#### 4.6.6 CONSTRUCCIONES DEL ARBOL DE FALLAS

La construcción del Arbol de Fallas se inicia con el incidente de pérdidas o sea FALLA DEL SISTEMA "FS", que se desea analizar. Los eventos que concurren en una "FS", tienen como consecuencia la generación de la "FS"

##### 4.6.6.1 INFORMACION BASICA PARA LA INTERPRETACION DEL DIAGRAMA DEL ARBOL DE FALLAS.

CONECTORES LOGICOS UTILIZADOS:



Conector o puerta de decisión "Y", indica que para que un evento dado de salida - - (parte superior) ocurra, todos los even-

tos de entrada deben satisfacerse simultáneamente. En este caso la probabilidad del evento de salida es igual al producto de las probabilidades de los eventos de entrada (parte inferior).



Conector o puerta de decisión "O", indica que para que un evento de salida dado - - (parte superior) ocurra, basta que sólo - uno de los eventos de entrada sea satisfec~~h~~cho. En este caso, la probabilidad del evento de salida es igual a la suma de -- las probabilidades de los eventos de entrada (parte inferior).

#### 4.6.6.2 CATEGORIAS DIFERENTES DE FALLAS DE EQUIPO



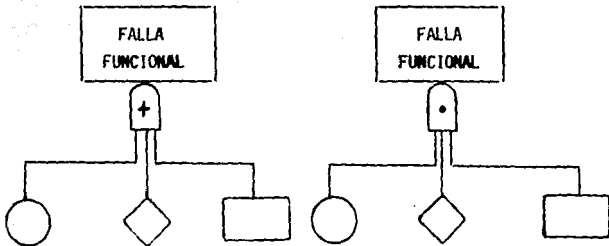
Fallas primarias.- Este tipo de fallas sucede en condiciones normales de operación a velocidades o cargas de diseño. - Esto significa que las cualidades del - - equipo no son suficientes para llenar los requerimientos de demanda normal y pueden tener su origen en un mal diseño, defecto en la fabricación o construcción, o bien deterioro en el servicio.



Fallas secundarias.- Este tipo de fallas suceden cuando el equipo está sujeto a -- cargas o demandas superiores a aquellas - para las que fue diseñado, esto es efectos derivados de "Causas de Fuerza Mayor"

como son: Huracanes, Terremotos, Tormentas, etc., y otros eventos catastróficos no planeados.

Fallas de comando.- Este tipo de fallas sucede cuando el equipo es dirigido a la falla, ya sea por la imposición de condiciones excesivas de proceso (fuera de control) o cargas mecánicas, o fallas en los controles, o fallas operacionales.



EVENTO EXTERNO.



La casa se usa para representar un evento que se espera normalmente ocurra

EVENTO CONDICIONAL



Es usado para recordar cualquier condición o restricción que aplique a cualquier compuerta lógica.

## SIMBOLOS DE TRANSFERENCIA



Son introducidos como símbolos de transferencia y son usados para evitar extensivas duplicaciones de un Arbol de Fallas.

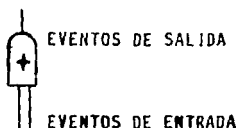
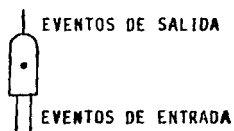
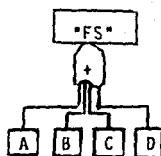
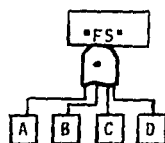


TRANSFERENCIA DE SALIDA

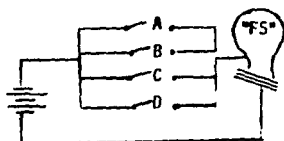


TRANSFERENCIA DE ENTRADA

## SIMBOLOS DE COMPUERTAS

COMPUERTA  
"O"  
(OR)COMPUERTA  
"Y"  
(AND)

Compuerta "O" Indica que para que el evento "FS" ocurra sólo basta con que se satisfaga uno de los eventos de entrada "A", "B", "C" o "D" en paralelo. En la analogía del circuito eléctrico, los interruptores "A", "B", "C" o "D", están conectados en paralelo.

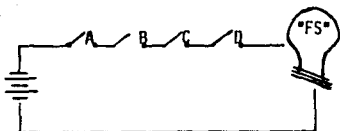


El foco "FS" encenderá si cualquiera de los interruptores se cierra.

Cuando se aplica la Compuerta "O" la probabilidad de "FS" es igual a la suma de probabilidades de los eventos de entrada.

Compuerta "Y" Indica que para que el evento "FS" ocurra, se tiene que cumplir todos los eventos de entrada "A", "B", "C" y "D".

Por analogía con un circuito eléctrico los interruptores "A", "B", "C" y "D", están conectados en serie.



El foco "FS" encenderá solamente si todos los interruptores están cerrados.

Cuando se aplica la Compuerta "Y", la probabilidad del evento "FS" es igual al producto de las probabilidades de los -- eventos de entrada.

Una vez terminados todos los eventos en cadena, se iniciará el trabajo de anotar las posibilidades de ocurrencia de cada uno de los eventos anotados hasta abajo del Arbol, estimando su probabilidad y calculando matemáticamente las probabilidades de los eventos subsecuentes de acuerdo a las compuertas de entrada descritas, hasta encontrar la probabilidad del -- evento "FS".

Lo anterior se ilustra con el sistema de falla seleccionado como aplicación del método de Arboles de Falla.



## CAPITULO V

APLICACION DE LOS ARBOLES DE FALLA PARA EL ANALISIS DE SEGURIDAD EN UNA TERMINAL DE RECIBO, ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION DE CLORURO DE VINILO.

### 5.1 EL ANALISIS DE ARBOLES DE FALLAS.

El análisis de árboles de fallas, es una técnica deductiva - totalmente formalizada que facilita el diseño y operación de sistemas más seguros y confiables.

Los aspectos típicos considerados para el análisis son, condiciones de operación anormales, cambios imprevisibles durante el arranque y paro de la unidad, inconformidad de materiales de construcción, falla de equipo e instrumentos, falla de servicios auxiliares, imprevisiones para mantenimiento, - seguridad, etc.

Procedimiento.- El estudio de operabilidad, emplea una serie de palabras, denominadas "guías", aplicadas a dos principios:

A.- Búsqueda de problemas potenciales

B.- Evaluación de los mismos.

A.- La búsqueda de problemas potenciales contempla tres - aspectos, que son:

- A1.- Causa. ¿Qué es lo que conduce a. . . ?
- A2.- Desviación. O sea apartarse de la condición normal. Involucra las palabras guías.
  - A2.1 Ausencia de flujo (none)
  - A2.2 Exceso de flujo, presión, temperatura, etc. - - (more of)
  - A2.3 Falta de flujo, presión, temperatura, etc. - -- (less of)
  - A2.4 Cambios en composición (part of)
  - A2.5 Impurezas presentes (more than)
  - A2.6 Otras situaciones como arranque, paros, mantenimiento, falla de servicios, etc. (other)
- A3 Consecuencia. Manera como se reflejan los puntos anteriores.

En esencia, el método establece que puede presentarse un problema cuando existe una desviación de la condición que se -- considera normal.

El examen del modelo debe ser sistemático, sección por sección o línea, dependiendo de la profundidad requerida, a fin de encontrar situaciones erróneas o equivocados en el diseño

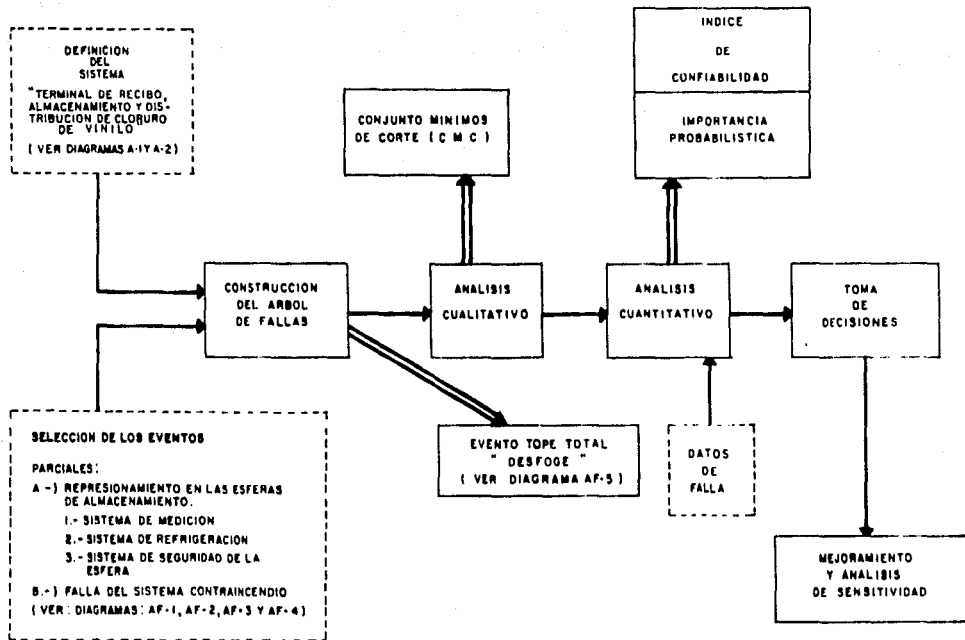
El concepto fundamental de la metodología es el modelado del sistema físico mediante un diagrama lógico o árbol de fallas en el cual están descritas todas las posibles combinaciones

de evento (normales y de falla) que causan un evento indeseado (evento tope)

El Evento Tope, puede definirse ya sea como una condición peligrosa o bien como la indisponibilidad del sistema para operar correctamente.

Las etapas que se siguen para realizar la aplicación de la metodología, se muestran en la figura 5.1 a continuación:

## 5.1.- ETAPAS QUE SE SIGUEN PARA REALIZAR LA APLICACION DE LA METODOLOGIA



## 5.2 DEFINICION DEL SISTEMA

La información necesaria para el análisis será:

- a) Descripción del sistema (diagramas de proceso y mecánicos de flujo).
- b) Determinación de la propiedad de las sustancias dentro y fuera del sistema analizado.
- c) Identificación de los riesgos.

Para evaluar las técnicas se seleccionó como sistema la terminal de recibo, almacenamiento y distribución de cloruro de vinilo debido a su grado de complejidad. El cual se considera comparándolo con cualquier proceso, como sistema de bajo grado de complejidad.

### a).- DESCRIPCION DE LA TERMINAL MARITIMA DE RECIBO, ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION DE CLORURO DE VINILO.

El Monómero de Cloruro de Vinilo, llegará de la terminal Marítima de Pajaritos por Buquestanque. La producción de este monómero básico proviene de las Plantas de Derivados Clorados I, II y III del Complejo Petroquímico de Pajaritos.

La producción total en el complejo es del orden de 270,000 - TON/AÑO. y restando el consumo local, el excedente se envía rá a la terminal de almacenamiento y distribución de Cd. Madero, que a su vez lo reexpedirá mediante Autos y Carrostanque a los consumidores de esta zona de influencia (norte y - centro del país). Como es de órden, el restante para el complemento de la demanda de este producto podrá importarse por este puerto.

Este producto por sus características químicas, requiere que su manejo se haga tomando en cuenta las normas de seguridad de Petróleos Mexicanos No. D-III-2 y las recomendaciones que da la Literatura Chemical Safety Data No. SD-56 por ser un - compuesto nocivo para la salud.

Los casos que se pueden presentar en el manejo de este pro- ducto son:

Descarga Barcos:

Almacenamiento:

- |    |                     |                            |
|----|---------------------|----------------------------|
| a) | Frio (30°F o menor) | Frio (40°) (34 Psia)       |
| b) | Frio (30°F o menor) | Caliente (100°F) (80 Psia) |
| c) | Caliente (77°F)     | Frio (40°F) (34 Psia)      |
| d) | Caliente (77°F)     | Caliente (100°F) (80 Psia) |

AP Equipo bombeo en barco: 125-160 Psi.

Estos casos van a determinar la operación de la unidad de en friamiento y del sistema interno de espreas de las esferas, - teniendo las variantes siguientes:

- Caso a.- Parte de la corriente de monómero pasa por el sistema de espreas de la esfera para acelerar la condensación de los vapores.
- Caso b.- Parte de la corriente de producto pasa por el sistema de espreas de la esfera para acelerar la condensación de los vapores.
- Caso c.- Debe entrar a operar la unidad de refrigeración de cloruro de vinilo.
- Caso d.- Debe de entrar a operar la unidad de refrigeración de cloruro de vinilo.

Dependiendo de la densidad de llenado de las esferas, para los casos a y b) se deberá utilizar la unidad de refrigeración. (Ver diagrama de proceso A-1).

#### DESCARGA DE BARCOS

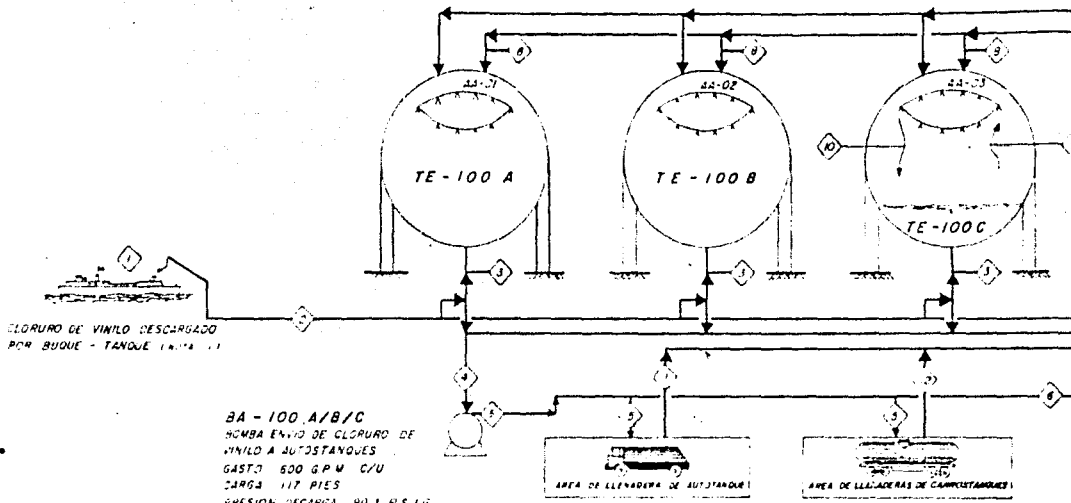
Los buquetanque llegarán indistintamente a los muelles 1 y 2 donde se interconectan mediante las garzas tipo marino G-120 A o B, con bombas de los buques a la línea 12" - P305 - TIC, de una longitud de 2400 metros (entre el muelle y la terminal de almacenamiento), para el recibo del cloruro de vinilo

No se tiene prevista línea igualadora de vapores entre los muelles y las esferas. La razón es de que los barcos que transportan cloruro de vinilo de importación no la admiten por posible contaminación de su sistema de almacenamiento y refrigeración, y por otro lado debido a las condiciones de operación de las esferas, no puede mantenerse frío el produc

REVISIONES.

TE-100 A/B/C  
ESFERAS DE ALMACENAMIENTO  
DE CLORURO DE VINILO  
CAPACIDAD 15,000 BLS. C/U

AA-01/02/03/04  
ANILLO ESPESOR PARA  
CONDENSAR VAPORES  
GASTO : 600 GPM  
PRESION DE ENTRADA 10 P



SIMBOLOGIA

CONDICION MAS DESFAVORABLE

CONDICIONES ESTIMADAS AL TERMINO DEL LLENADO DE LA ESFERA DE 15,000 BLS.

LA CORRIENTE EN ESTA LINEA NO ES ADITIVA DE LAS CORRIENTES (1) Y (2). OPERAN EN FORMA INDIVIDUAL Y UNA SOLA A LA VEZ

CORRIENTE N.O.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
F A S E	L I O U I D A V A P O R											
GASTO GPM GPM	3,638 83	1,818 42	1,818 42	1,818 42	1,818 42	1,818 42	1,818 42	1,818 42	1,818 42	1,818 42	1,818 42	1,818 42
PRESION DE VAPOR P.S.I.G.	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
PRESION DE OP. P.S.I.G.	43.3	58.9	53.9	45.3	32.3	19.5	79.6	55.3	60.3	54.4	60.3	54.4
TEMPERATURA °F	77	77	77	77	77	77	44.6	44.6	46.6	44.6	44.6	44.6
DENSIDAD LB / PIE <sup>3</sup>	56.16	56.16	56.16	56.16	56.16	56.16	57.78	57.78	28.09	28.09	28.09	28.09
W.S.O. MOLECULAR LB/LB V.M.	62.1	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5
SERVICIO	REFORMA DE VAPOR											
CARGA TERMICA HTU / HR	54,103											
MASA DE VAPOR INICIAL LBS AL 10% CAP	11,504											
MASA DE VAPOR FINAL LBS AL 95% CAP	14,173											
MASA DE VAPOR POR CONDENSAR LBS HR	12.7											
CALOR LATENTE DE VAPORIZACION BTU LB	3											
TIEMPO ESTIM. LLENADO ESFERAS HR/1000												

EM - 101  
UNIDAD DE REFRIGERACION  
CAPACIDAD : 104 TON /HR. 15  
CARGA TERMICA W.M.B  
REFRIGERANTE JIMONVA  
CONDICIONES DE OP. CLO  
- TEMP. ENTRADA / SALIDA  
- FLUJO 200,000 LBS





to almacenado, tal como se recibe de barcos (caso importación).

La línea 12ª P-305-TIC, por su recorrido también servirá en sentido inverso para mandar de la terminal a las llenaderas de carrostanque (ver diagrama mecánico de flujo A-2).

#### SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE VAPORES

El sistema operará en los casos de:

- 1.- Que la densidad del llenado en casos "a y b" rebasen el 90 % de la capacidad de la esfera.
- 2.- En los casos "c y d" expuestos en parte anterior.

La línea proveniente de los muelles pasa a través del sistema de medición tipo turbina EF-200-2 de 8", donde se registra el volumen que llega a la terminal y de aquí por la línea 14ª PO-201-TIC, pasa a las esferas de almacenamiento. - Cuando el producto llegue frío, mediante la línea 4ª PO-241A TIC, se pasará parte del anillo de espreas de la esfera que se esté llenando, para enfriar los vapores que se encuentran dentro de la misma.

Cuando el producto llegue caliente, previamente al llenado de la esfera, se hará funcionar la unidad de refrigeración EM-101 y mediante la circulación por bombeo se hará el espreado de Vinilo frío a la zona de vapores de la esfera que se esté llenando, para evitar represionamientos en la descarga del barco.

Para la operación de la unidad de refrigeración se requiere que la torre de enfriamiento y sus bombas de circulación de



agua estén funcionando (Ver diagrama de proceso A-3)

Una vez medido el monómero de Cloruro de Vinilo, entrará a la esfera mediante las válvulas hidráulicas de 8" instaladas en cada una de ellas (VH-1-100A y VH-2-100A, en esfera TE-100A, VH-1-100B, VH-2-100B en TE-200B y VH-1-100C y 2-100C, en TE-100C y VH-1-410 y 2-410 en TE-410), válvulas que permiten el flujo por la apertura de su puerto mediante aceite hidráulico a presión.

Por ambas válvulas hidráulicas se permite tanto la entrada como la salida de producto en condiciones normales de operación.

#### LLENADO DE AUTOS Y CARROSTANQUE

De almacenamiento mediante las válvulas hidráulicas y por la línea de 14" PO-269-TIC, cabeza común de las esferas, se llega a la casa de bombas, de donde con las bombas BA-100A, B y C, se envía el cloruro de vinilo a las llenaderas de autos y carrostanque.

Cada una de las bombas cuenta con válvulas de control de flujo mínimo de 3"  $\#$ , VFM-209, 210 y 211, que tiene por objeto recircular el producto cuando esté operando la bomba y se cierre la garza o garzas.

La línea 12" P-300-TIC, cabeza común a las bombas va a las llenaderas de carros-tanque previa medición (en turbina de 8"  $\#$  EM-200-1), y se interconecta al cabeza 12"-P-305-TIC para llegar a las llenaderas a una distancia de 2,800 m. de la terminal de almacenamiento. Una vez en la zona de llenaderas de carrostanque, se interconecta a cada una de las - -



ocho posiciones de llenado de producto, (de 2" de diámetro). Se dispone de "sistema de medición" con válvulas predeterminadoras de flujo y filtro de producto, además de una válvula de exceso de flujo de 2" Ø, para evitar el descontrol en el llenado de estas unidades (clave de medidor de flujo QF-30 - de 8" Ø y claves de válvulas de exceso de flujo Ver A, B, C, D, E, F, G, H).

El cabezal común a las bombas 10" PO-212-TIC, es el que manda producto a las llenaderas de autostanque, esta línea tiene como medida de protección una válvula hidráulica de flujo VH-212 que no permite el paso del flujo si hay incendio.

Cada una de las cuatro llenaderas de autostanque, tiene un sistema de medición con válvula predeterminadora de flujo y filtro de producto, además de su válvula de exceso de flujo y su amortiguador de pulsaciones (claves de medidores: - - - FF-504, 506, 509 y 519; de válvulas exceso de flujo VEF-504, 506, 509 y 516 de 6" Ø y amortiguadores AP-504, 506, 509 y 516).

En ambos sistemas de llenado se cuenta con la línea igualadora de vapores correspondiente con claves 2" PO-507-TIC, para retorno de vapores de autostanque y 8" PO-325-TIC, para carrostanques, ambas llegan a las cuatro esferas de almacenamiento. Su función es igualar la presión en la esfera y en el carro o su autostanque para evitar problemas de cavitación en la bomba.

## SERVICIOS COMPLEMENTARIOS

- a) Cuantificación del Producto
- b) Unidad de Potencia Hidráulica
- c) Unidad de Refrigeración
- d) Torre de Enfriamiento
- e) Chimenea de Venteo

## CUANTIFICACION DEL PRODUCTO

La cuantificación del producto se hará:

- Por volúmen, el recibo de buques-tanque
- Por peso de la terminal a las empresas que lo requieran.
- La medición del producto proveniente de los buques---tanque se efectuará con medidor tipo turbina equipada con su sistema de compensación por temperatura.

Clave turbina:	EF-200-2
Diámetro:	8"
Cap. Flujo:	800 TON/HR
Cap. Totalizador:	7 Dígitos en m <sup>3</sup>

- Para la cuantificación del producto que se expedirá - por autostanque en la terminal se le instalarán dos - plataformas de pesaje con un sistema común de regis--tro de peso.

Las características de las básculas son:

- No. plataformas 2
- Sistema indicación peso: Uno
- Claves EM-200 A y B

Características de cada plataforma:

- Dimensiones 22.0 m. de largo x 3.0 m. ancho.
- Capacidad pesaje: 75 Ton.
- No. Celdas Pesaje: 8
- Material plataforma: Concreto

El sistema de indicación de peso, también contará con salida para control por computadora que posteriormente será instalado.

La instalación de estas plataformas, se hará arriba del nivel de piso terminado con el fin de dar mejor mantenimiento a las celdas eléctricas de carga.

En la zona de carrostanque se cuenta con la báscula correspondiente para la fiscalización del producto.

#### UNIDAD DE POTENCIA HIDRAULICA

Para mantener abiertas las válvulas hidráulicas que se instalarán en las esferas y en las líneas que van a las llenaderas de autos y carrostanque, se contará con una unidad de potencia hidráulica.

Esta Unidad de potencia será de las características:



Clave:	UPH-103
Fluido hidráulico:	ACEITE
Capacidad depósito aceite:	350 LITROS
No. Bombas:	2
Presión a mantener:	1000 PSIG.
Temperatura Operación:	100° F

La función que desempeña es la de sostener la presión en todo el sistema de aceite entre 800 y 100 Psig. para mantener abiertas las válvulas hidráulicas instaladas en las esferas de almacenamiento y en las líneas de suministro de cloruro de vinilo.

Este equipo consta de dos bombas para manejo de aceite hidráulico de una capacidad máxima de 3.6 GPM (c/u con una presión de descarga de 1000 Psig., máxima a temperatura ambiente (100° F).

Cuenta con un depósito de suficiente capacidad para llenar el circuito de aceite hidráulico y además tiene suficiente volumen que permite volver a rellenar el sistema cuando salga de operación por emergencia. Este depósito cuenta con la instrumentación y boquillas adecuadas para una eficiente operación, como son: boquillas para llenado de aceite, succión de bombas con filtro de retorno de válvulas de seguridad, -- venteo, dren, indicador de nivel e interruptor de nivel por bajo nivel de aceite.

De las bombas a la línea de suministro de aceite de las válvulas hidráulicas, se cuenta a la descarga con los indicadores de presión, válvulas de seguridad, interruptores de presión, amortiguador de pulsaciones y válvulas de control necesarias para asegurar que tanto la unidad de potencia como el sistema operarán a presión constante (de entre 800 y 100 - - Psig).

## UNIDAD DE REFRIGERACION

Esta unidad de refrigeración, tiene por objeto enfriar cloruro de vinilo líquido en una cantidad equivalente que permite una capacidad de condensación más rápida entre los vapores - que ocupan el espacio vacío de la esfera y el líquido que -- los va a desplazar, proporcionándole el frío equivalente al - calor latente de vaporización a la velocidad de desplazamiento de los vapores de cloruro de vinilo.

Las características de la unidad serán:

Clave:	EM-101
Capacidad Refrigeración:	150 TON
Capacidad Térmica:	1.8 MM BTU/HR.
Servicio:	EMFRIAMIENTO CLORURO DE VINILO LIQUIDO
Refrigerante:	AMONIACO
Condiciones:	OPERACION CLORURO DE VINILO
Flujo:	280,000 LBS/HR
Tem. Entrada:	77° F
Temp. Salida:	45° F
Fase:	LIQUIDO
Presión Operación:	90 PSIG

Equipo Componente de la Unidad:

- a) Compresor para refrigerante accionado por motor eléctrico
- b) Condensador de refrigerante.
- c) Enfriador de cloruro de vinilo

- d) Válvulas de expansión
- e) Instrumentación y tablero de control
- g) Tubería, válvulas y conexiones

El compresor estará diseñado para manejar amoníaco como refrigerante (u otro similar), que será comprimido, posteriormente pasará al condensador para licuarlo y después mediante las válvulas de expansión, pasará al enfriador de cloruro de vinilo para efectuar el enfriamiento por la expansión del refrigerante. Una vez cedido el frío nuevamente pasará al compresor y empezará el ciclo de enfriamiento.

La condensación del refrigerante se hará con intercambio de calor con agua de enfriamiento (ver diagrama mecánico de flujo A-4).

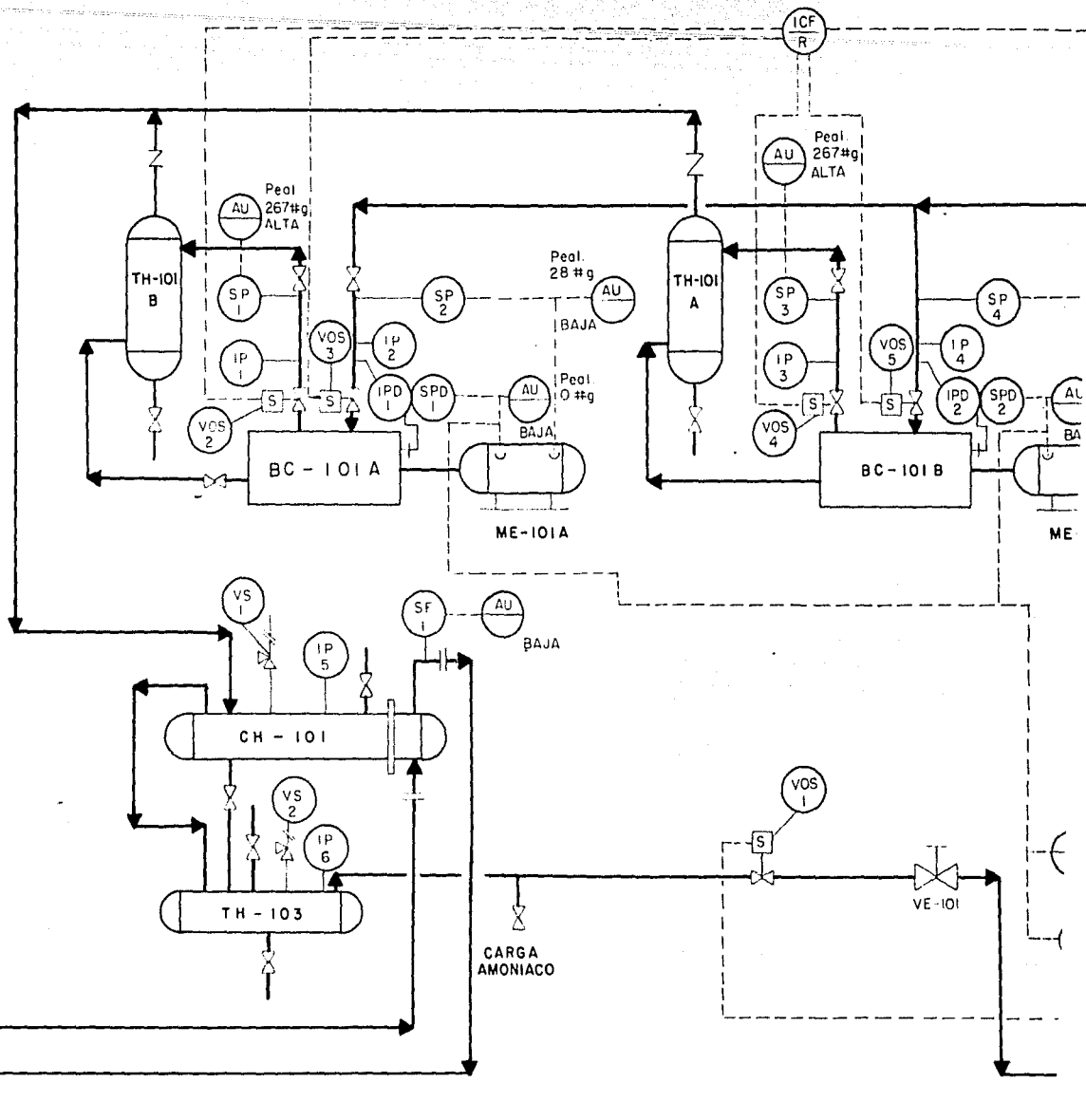
#### TORRE DE ENFRIAMIENTO.

Este equipo tiene como función acondicionar el agua para condensar el refrigerante requerido en la unidad de refrigeración en la descarga de los compresores.

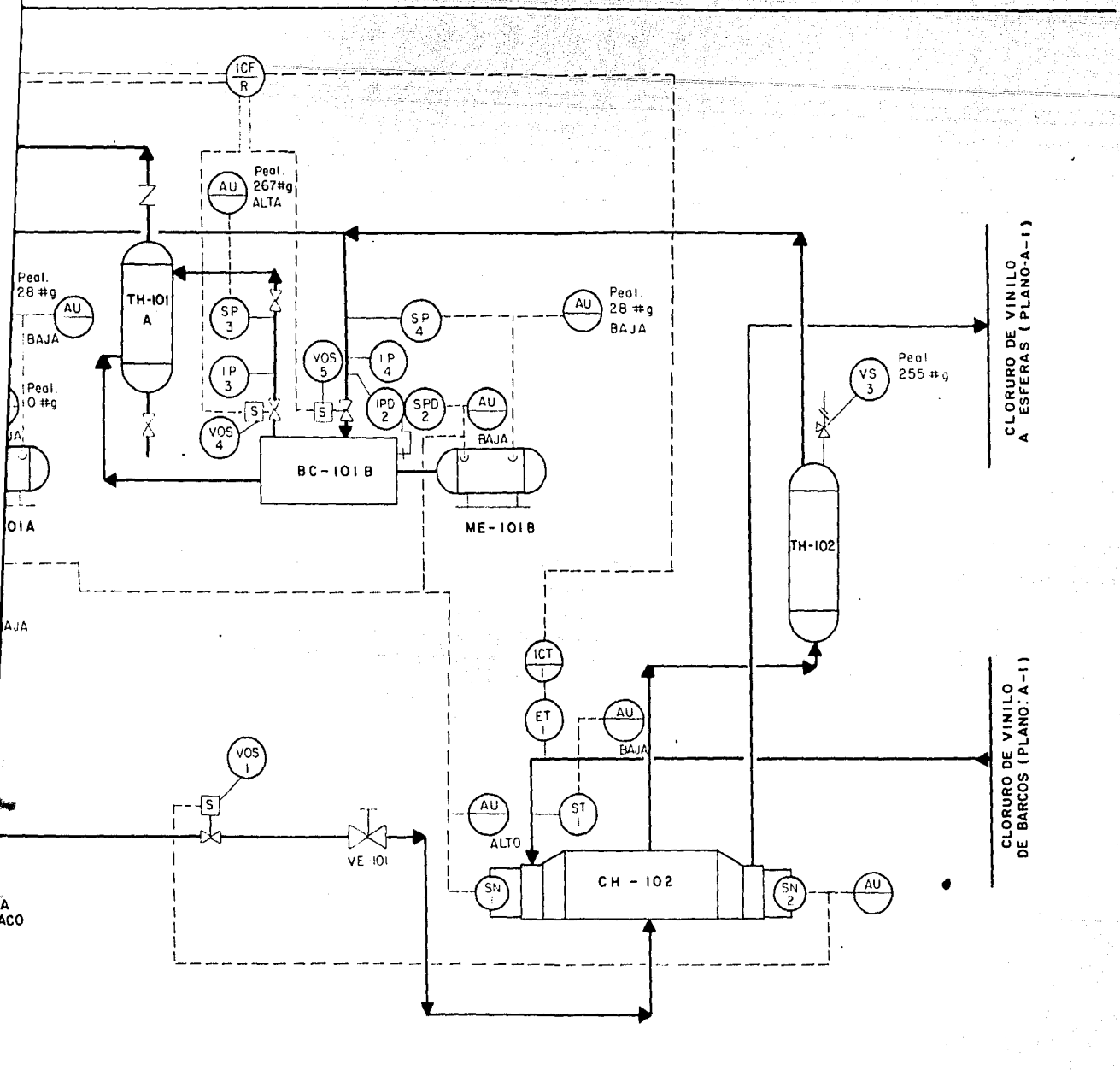
Características de este equipo:

Clave:	DE-101
No. Celdas:	UNA
Capacidad Flujo:	500 GPM
Capacidad Térmica:	3.7 MM BTU/HR
Temperatura entrada de agua:	105° F

AGUA DE ENFRIAMIENTO  
( PLANO: A-1 )



MAESTRIA EN INGENIERIA DE PROY	DIB	A Ch R	TERMINAL DE R Y DISTRIBUCI UNIDAD DE RI diagrama Proy CD. MADERO, TAI
<b>UNAM</b> FACULTAD DE QUIMICA ELABORADO EN MEXICO, D.F.	PROY		
	REV		
	ADAPT		
	CGOR		
	ESCALA	50%	ACOTADO EN



PROY	DIB	A	CH	R	<b>TERMINAL DE RECIBO DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION DE CLORURO DE VINILO</b> UNIDAD DE REFRIGERACION EM -101 diagrama mecanico de flujo	PRY	MI
MICA	REV					CD. MADERO, TAMP	A - 4
	ADAPT						
	COORD						
	ESCALA	5/8"	ACOSTADO EN				

Temperatura salida de agua:	90° F
% Vaporización y arrastre:	2.5 %

La torre de enfriamiento es de tipo paquete con ventilador - para inducir el aire para el enfriamiento del agua, teniendo una pérdida de agua por evaporación y arrastre del orden del 2.5 % y una purga del orden de 2.5 % (dependiendo de las características reales del agua de repuesto).

Para la circulación del agua de enfriamiento, se cuenta con dos bombas centrífugas horizontales (claves: BA-101 A y B), de 500 GPM de capacidad cada una y una presión de descarga - de 60 Psig., suficiente para pasar la unidad de refrigeración y regresar a la torre de enfriamiento.

Por la pequeña capacidad de la torre, la dosificación de químicos para acondicionarla y evitar la formación de microorganismos e inhibir su actividad corrosiva, se le adicionará manualmente, mediante "porrones" inhibidor de corrosión y un microbicida adecuado, así como el ácido suficiente para mantener el pH requerido en el agua.

#### SISTEMA DE SEGURIDAD

Esta terminal está acondicionada con los sistemas siguientes:

- a) Agua para Servicio Contra incendio
- b) Detección de vapores de Cloruro de Vinilo
- c) Válvulas hidráulicas operadas con aceite y anillos de tapones fusibles.

- d) Válvulas de Seguridad y exceso de flujo; en esferas, líneas de proceso y garzas de llenado de producto.

#### AGUA PARA SISTEMA SERVICIO CONTRAINCENDIO

En caso de tener presencia de fuego, en esta terminal de almacenamiento, se instala una red general que recorre el área desde las esferas, las llenaderas hasta la báscula de pesaje de producto, proporcionándole a cada zona la protección adecuada mediante monitores hidrantes o espreas.

#### SISTEMA DE DETECCION DE VAPORES

Por su bajo límite de explosividad y por ser nocivo a la salud, se dispuso instalar detectores de vapores en las zonas donde pudiese ser factible su acumulación, esto es también - considerando que su peso es superior al aire y puede depositarse a nivel de piso.

Para la localización de los detectores de vapores, se consideraron los puntos posibles de fuga: bridas, conexiones y - tomas de muestreo, además de la dirección de los vientos.

Se determinó instalar detectores de vapores (elementos prima rios de señal), en cada esfera, uno; en casa de bombas, dos; en estación de medición, uno y en área de llenaderas, dos. - Estos tendrán un rango del 0 al 100 ppm, para evitar la se-- ñal al tablero de control, donde se indica la concentración que se tiene y se alarmará visual y audiblemente la falla pa ra determinar la acción a tomar: cerrar las válvulas hidráu licas o bien mandar abrir los sistemas de agua para servicio de contraincendio o ambos.

## SISTEMA DE VALVULAS HIDRAULICAS OPERADAS CON ACEITE Y ANILLOS CON TAPONES FUSIBLES.

Este sistema está funcionando en la línea de aceite a presión que viene de la unidad de potencia hidráulica, y llega a la válvula hidráulica, y consiste en un anillo con tapones fusibles, que van a cerrar las válvulas hidráulicas en caso de presencia de fuego, ya que estos tapones están hechos de un elemento que funde a 212° F, y al hacerlo depresionarán el sistema de aceite y cerrarán las válvulas hidráulicas para evitar la entrada de producto.

Se instalarán anillos de tapones fusibles en las esferas en la zona de válvulas y en las patas de cimentación de las mismas, así como en las líneas que van a las llenaderas y en las llenaderas de autostanque.

## SISTEMAS DE VALVULAS DE SEGURIDAD DE EXCESO DE FLUJO

- El sistema de válvulas de seguridad se instalarán en:
  - a) En línea de recibo de cloruro de vinilo:  
Antes de medición y su objeto es preveer cierre de alguna válvula en el sistema de medición, releva al cabezal de succión de bombas.
  - b) En esferas.- En las esferas se tiene por objeto desfogar vapores en caso de represionamientos de las esferas, bien sea causado por presencia de calor en la zona de válvulas de entrada a la esfera, o bien por radiación, desfogando a la chimenea de venteo.
  - c) En bombas.- Aquí su función es evitar represiona



mientos en la cubeta de la bomba por cambio de temperatura, teniendo cerradas las válvulas de succión y de descarga.

Para las esferas, cada una de ellas cuenta con su anillo de aspersión de agua, además de una "capucha" en la parte superior de la esfera con objeto de bañar de agua todo el cuerpo de la esfera y evitar superficie metálica expuesta al fuego.

El agua llega de la red a los anillos de aspersión mediante dos acometidas, una con válvula de control que abre o cierra con selenoide y otra manual, las cuales están opuestas en su localización con la finalidad de tener segura su operación - en caso de requerirse. Adicional a sus anillos, cuentan con monitores que cubren toda el área de esferas para producir - en situaciones particulares, niebla al rededor de cualquier esfera en lugar de chorreo de agua.

En las llenaderas de carrostanque y casa de bombas, también se cuenta con red de aspersores de agua que bañan las bombas y a lo largo del autotanque, respectivamente. Dispone también como el caso de esferas de monitores que cubren la superficie que abarca las llenaderas, o la casa de bombas.

Para el resto de la terminal, se cuenta con hidrantes necesarios para protección de las instalaciones.

Las fuentes de suministro de agua serán las redes de la Refinería y la Terminal Marítima, y sus acometidas serán mediante línea de 12" Ø para proporcionar un gasto de 5000 GPM de agua a una presión de 100 psig mínimo.

Las válvulas de exceso de flujo en llenaderas de autos como de carros tanque, se instalan para evitar el derrame de producto en caso de romperse la manguera que carga el auto o el carro tanque.

## b).- ANALISIS DE LAS PROPIEDADES FISICAS, QUIMICAS Y TOXICAS

Formula:  $\text{CH}_2 = \text{CH-Cl}$  ( $\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}$ )  
 Nombre químico: Cloruro de Vinilo, Cloroetileno o Cloroeteno  
 Nombre común: Cloruro de Vinilo

## Propiedades Físico-Químicas más importantes:

Olor: DULCE  
 Color: INCOLORO  
 Estado físico a temperatura y presiones -- normales: GAS  
 Temperatura de ebullición a 760 mm de Hg: - 13.8° C ( 7° F)  
 Temperatura de fusión a 760 mm de Hg: - 153.8° C (-245° F)  
 Temperatura de inflamación en copa abierta: - 78° (-108° F)  
 Temperatura de autoignición: 472.2° C ( 882° F)  
 Densidad relativa de líquido a (20°C/4°C), (68°F/48°F): 0.9121  
 Límites de explosividad (% en volumen de aire C-250°C): 3.6 - 33 %

CORROSIVIDAD.- No es corrosivo a temperatura ambiente cuando se encuentra seco, cuando se encuentra húmedo a temperaturas elevadas, corroe el fierro y el acero.

c).- PRINCIPALES RIESGOS DE ESTE PRODUCTO (IDENTIFICACION DE RIESGOS)

El cloruro de vinilo es un gas inflamable que normalmente se maneja licuado bajo presión, siendo en estas condiciones capaz de causar lesiones por congelamiento al tener contacto con la piel.

La exposición a atmósferas con concentraciones hasta de 1000 ppm en volumen, provoca evidencias de anestesia media.

Forma mezclas explosivas con el aire, además de polimerizarse rápidamente a temperaturas elevadas, tales como las que se pueden alcanzar en un incendio. Si esta polimerización sucede en el interior de un recipiente, es muy posible que pueda provocar una explosión.

Durante el llenado de las esferas, aparece la existencia de vapores de cloruro de vinilo dentro de estas esferas de almacenamiento, lo cual es perjudicial debido a que presuriza el equipo, lo cual a priori nos conduce a realizar desfuegos.

Para efectuar lo anterior, se siguen dos criterios para la disposición de estos vapores.

- a) Venteo directo a la atmósfera
- b) Envío de los vapores a un quemador elevado (en donde se incineran)

Sin embargo, según observaciones directas así como -- por sus características físico - químicas, ninguna de estas dos operaciones es apropiada de realizar. (En el siguiente punto se explica la razón de estas observaciones).

REACTIVIDAD.- A condiciones ambientales es estable, pero a temperaturas elevadas en presencia de aire u oxígeno o de luz solar, puede polimerizarse generando altas presiones. Forma mezclas explosivas con materiales que contengan Cu, Ag, Hg, Al y sus reacciones.

SOLUBILIDAD.- Poco soluble en agua (0.11 %), es soluble en  $CCl_4$ , ETOH y la mayoría de los solventes orgánicos.

OBTENCIÓN:  $CH_2 = CH + HCl \longrightarrow CH_2 = CHCl \quad \Delta H = -44 \text{ Kcal}$

En presencia de catalizadores como sales mercuriales o tratando cloruro de etileno con un alcalí.

### 1.- USO DEL CLORURO DE VINILO

Se usa principalmente como materia prima para la fabricación de polímeros de vinilo como el Flamenol, el Kerosol, la Vinylite (por sí solo o con Cloruro de Vinilideno), Tygon (con Acetato de Vinilo), Velón -- (con Cloruro de Vinilideno) y Saran.

También se emplea como intermediario químico, como disolvente y en la formación de copolímeros o agentes químicos orgánicos.

## PROPIEDADES TOXICAS

El cloruro de vinilo no debe ser venteado, ya que es inflamable, explosivo y anestésico y por inhalación prolongada puede causar serios daños a las vías respiratorias, sus vapores son más densos que el aire, tienden a no disiparse en la atmósfera, concentrándose en las partes bajas del terreno ocasionando efectos sobre el ser humano como son:

- a) Cáncer y diversos tumores en distintos sitios -- del cuerpo
- b) Reprime el sistema nervioso central y ocasiona efectos similares a la intoxicación alcohólica.
- c) Actua como anestésico general y puede ocasionar la muerte a concentraciones muy altas.

El cloruro de vinilo no debe de ser quemado debido a que los gases que se genera son más tóxicos que el mismo. Al incinerarse produce el fósgeno que es un gas mortal, además cloruro de hidrógeno y monóxido de carbono.

Los síntomas de anestesia resultantes de la exposición a concentraciones de hasta 1,000 ppm se presentan lentamente, lo que da tiempo al trabajador de retirarse del área contaminada.

## PRECAUCIONES

Las áreas de almacenamiento de este producto deben seleccionarse en lugares adecuados que se encuentren retirados de -- cualquier fuente de ignición permanente o temporal, con ventilación adecuada. Por lo tanto, estas áreas deben estar lo calizadas fuera de los edificios, dado que en lugares confi-

nados, cualquier fuga llegaría a formar con el aire una mezcla explosiva. Estas áreas deben ser motivo de constante vigilancia a fin de localizar con la debida oportunidad cualquier fuga de producto y así tomar las medidas que se requieran, para eliminarla evitando de esta manera los riesgos de incendio o explosión.

#### INHERTIZADO

Se realiza cuando las esferas están totalmente terminadas, - revisadas, probadas y aprobadas, las tuberías y las válvulas cuentan con empaque definitivo, se han eliminado juntas ciegas que no sean útiles en la operación y los instrumentos y válvulas están debidamente calibrados.

Se procede a inertizar el sistema con un gas inerte (generalmente nitrógeno) con el objeto de desplazar el aire (oxígeno), se efectúan análisis de porcentaje de oxígeno y humedad, cuando se alcanzan los mínimos permisibles, se procede a dejar el sistema con una presión positiva de nitrógeno, -- con el fin de asegurar que no exista introducción de aire al sistema.

#### AMBIENTADO

El ambientado consiste en inyectar el producto que se va a - manejar. Esta operación se puede hacer por recibo directo - de la alimentación normal, es decir, por la tubería que viene del buque - tanque.

Con el fin de evitar que el aire se ponga en contacto con el cloruro de vinilo, el recipiente que lo contenga (esferas) - deberá mantenerse con presión positiva con los mismos vapores de cloruro de vinilo.

Una vez realizado el ambientado, el volúmen de cloruro de vinilo que quede en las esferas deben ser aproximadamente el 100 % inicial del volúmen total (80 % máximo) de la capacidad de la esfera.

### MANEJO

Su manejo no constituye una operación industrial particularmente riesgosa si se siguen las precauciones recomendadas, - siendo su manejo comparable al de los gases licuados del producto.

### ESPECIFICACIONES Y MATERIAL DE CONSTRUCCION DE LAS ESFERAS.

La tubería y aditamentos de las mismas, los tanques de almacenamiento, las válvulas de alivio, deberán ser de acero o de cualquier aleación que no contenga materias que formen acetiluros. El acetiluro es una impureza que generalmente acompaña al cloruro de vinilo y que puede formar acetiluros que son compuestos explosivos, siendo esta la razón por la cual el equipo empleado para el manejo de este producto no deben tener ni cobre ni aleaciones que lo contengan. Algo semejante puede decirse de algunos otros materiales con Ag, Al y Hg.

Su diseño y construcción debe ser de acuerdo en el código -- ASM para soportar por lo menos  $10.6 \text{ Kg/cm}^2$  ( $150 \text{ lb/in}^2$ ) y de preferencia las uniones deben ser soldadas.

### 5.3 CONSTRUCCION DEL ARBOL DE FALLAS

Para la construcción del árbol de fallas, se parte del evento tope y se modelan "hacia abajo" las condiciones necesarias y suficientes para que los desfuegos ocurran. En este proceso se trata de identificar a los eventos que, por sí -



mismos o en combinación con otros eventos, provocan la ocurrencia del evento indeseado; tomando en cuenta tanto fallas de equipo, como errores humanos en la operación y mantenimiento del mismo.

A continuación se indican los sistemas que serán analizados:

### 5.3.1 DESFOGUE (T), SERA NUESTRO "EVENTO TOPE"

#### - Por Fuego ( $A_2$ )

Falla del sistema de agua contra incendio

Por fuga de las esferas

Por error humano

Falla en el sistema de alumbrado (riesgo potencial, - la escalera de las esferas)

Falla de equipos portátiles a base de polvo químico.

#### - Represionamiento en las esferas de almacenamiento ( $A_1$ )

Falla en indicadores, alarmas y sistemas de seguridad de la esfera ( $T_2$ )

Falla en el sistema de refrigeración ( $T_1$ )

Falla en el sistema de medición ( $T_3$ )

Debido a que mediante los eventos de falla de cada uno de estos sistemas y la combinación de los eventos con los eventos de un solo sistema en forma particular y posteriormente la combinación generalizada con todos los eventos de todos los sistemas aquí indicados, alcanza un número enorme de eventos indeseados, pero también repetitivos; se hace uso del Álgebra Booleana (reglas de identidad, absorción, etc.), que van

reduciendo estos eventos repetitivos, simplificando hasta dejar solo aquellos que pueden provocar el evento indeseado.

Como se podrá notar, se profundiza prácticamente hasta donde se desee, debido a que una ocurrencia provoca otra y así sucesivamente.

### 5.3.2 SELECCION DE LOS EVENTOS TOTALES DE FALLA

El siguiente listado nos muestra todos los eventos identificados en forma global y particular en cada uno de los sistemas analizados, los cuales nos conducirán a la construcción del árbol de fallas total:

#### LISTADO DE EVENTOS TOTALES DE FALLA

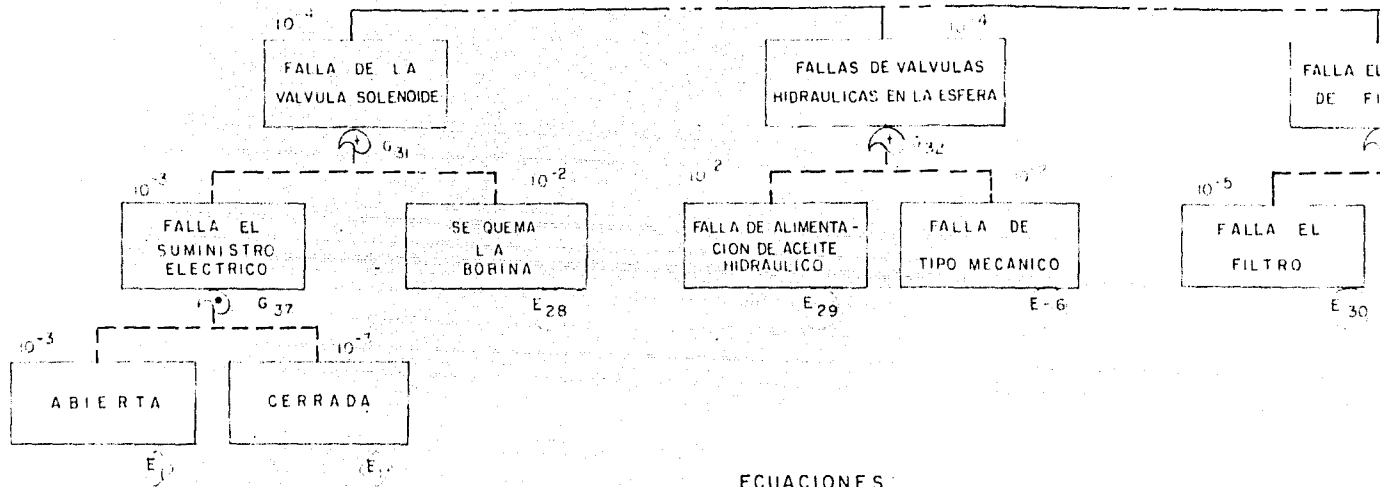
- E<sub>1</sub>: Falla de corriente eléctrica
- E<sub>2</sub>: Ruptura de línea
- E<sub>3</sub>: No se condensa el amoniaco
- E<sub>4</sub>: No puede haber expansión
- E<sub>5</sub>: Embobinado a tierra
- E<sub>6</sub>: Falla por causa mecánica
- E<sub>7</sub>: Baja temperatura de cloruro de vinilo
- E<sub>8</sub>: No disminuye la presión ni la temperatura del refrigerante
- E<sub>9</sub>: Falla de la válvula de expansión, se atora (falla de mantenimiento)
- E<sub>10</sub>: Se presuriza el sistema

- E<sub>11</sub>: Baja presión de succión en el compresor
- E<sub>12</sub>: Bajo nivel en el tanque
- E<sub>13</sub>: Para el compresor
- E<sub>14</sub>: Abertura de la válvula selenoide por baja temperatura
- E<sub>15</sub>: Falla en la válvula de seguridad en tanque TH-102
- E<sub>16</sub>: Se descompone la bomba, falla el interruptor
- E<sub>17</sub>: No se elije el transmisor adecuado
- E<sub>18</sub>: Falla la señal de alarma
- E<sub>19</sub>: No hay indicación de nivel
- E<sub>20</sub>: Problemas en el desplazador (elemento primario) no actúa el interruptor
- E<sub>21</sub>: Falla de la línea de conexión al transmisor, -- formándose tapón que hace menos confiable las lecturas.
- E<sub>22</sub>: Falla en la línea de conexión al transmisor, -- formándose sello líquido al transmisor.
- E<sub>23</sub>: Se atora el resorte de la válvula de seguridad por fallas en la fabricación.
- E<sub>24</sub>: No se rompe el disco de ruptura y bloquea la -- válvula de seguridad.
- E<sub>25</sub>: No se rompe el disco de ruptura y bloquea la -- válvula de exceso de flujo

- E26: Se presenta una fuga en la válvula de seguridad por mala instalación.
- E27: Se presenta una fuga en la válvula de seguridad por defecto de fabricación
- E28: Falla la válvula selenoide, se quema la bobina
- E29: Falla de las válvulas hidráulicas en la esfera, falla la alimentación de aceite hidráulico.
- E30: Falla en el sistema de filtrado, falla el filtro.
- E31: Falla en el sistema de filtrado, falla la válvula.
- E32: Falla el totalizador, se queman los circuitos.
- E33: Falla del elemento turbina, falla la bobina capacitadora
- E34: Falla del elemento turbina, bypass (recirculación) abierta
- E35: Falla del elemento turbina, falla por un filtro antes del medidor totalizador.
- E36: Falla del transmisor (elemento secundario), fallan los circuitos (se funden los resortes)
- E37: Fuego, por error humano
- E38: Falla en el sistema de alumbrado (riesgo potencial la escalera de esferas)
- E39: Falla de equipos portátiles a base de polvo químico.

- E40: Falla del sistema de agua contraincendio, falla de la alimentación de agua.
- E41: Falla de los anillos de enfriamiento de las esferas, calidad del agua (dureza)
- E42: Falla de detector de la flama
- E43: Falla de detector de gas
- E44: Falla de purgas en las esferas

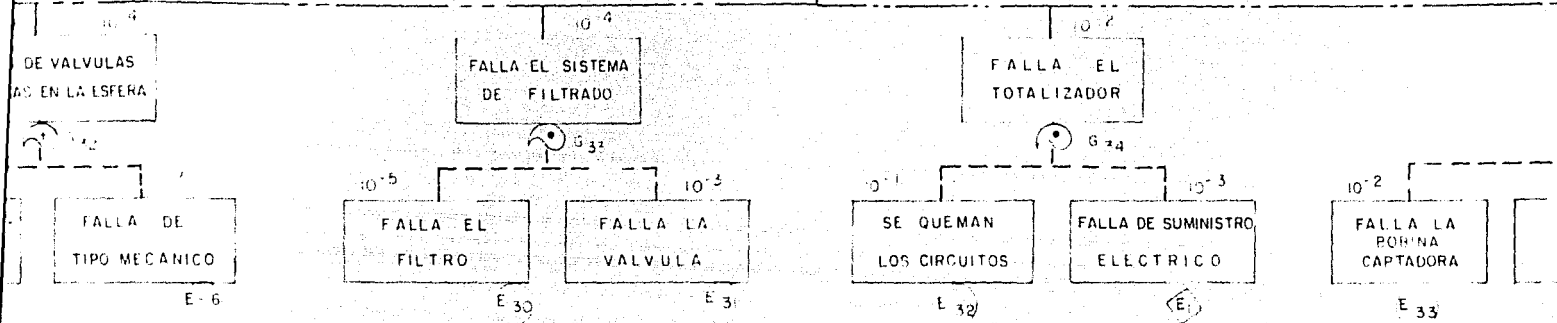
Presenta elevado grado de dificultad el obtener la solución manual paso a paso de cada sistema, en cuanto a su evaluación cualitativa y cuantitativa se refiere, es por esto que se ha seleccionado a manera de ejemplo ilustrativo uno de los sistemas que será analizado, en este caso la "Falla en el Sistema de Medición" por tener un número reducido de ecuaciones en su árbol de fallas (ver diagrama AF-1)



ECUACIONES:

- $T_1 = G_{31} + G_{32} + G_{33} + G_{34} + G_{35}$
- $G_{31} = G_{37} + E_{28}$
- $G_{32} = E_1 + E_2$
- $G_{33} = E_{29} + E_6$
- $G_{34} = E_7 + E_8$
- $G_{35} = E_{12} + E_{14} + E_{35} + E_{11}$
- $G_{37} = E_3 + E_4$

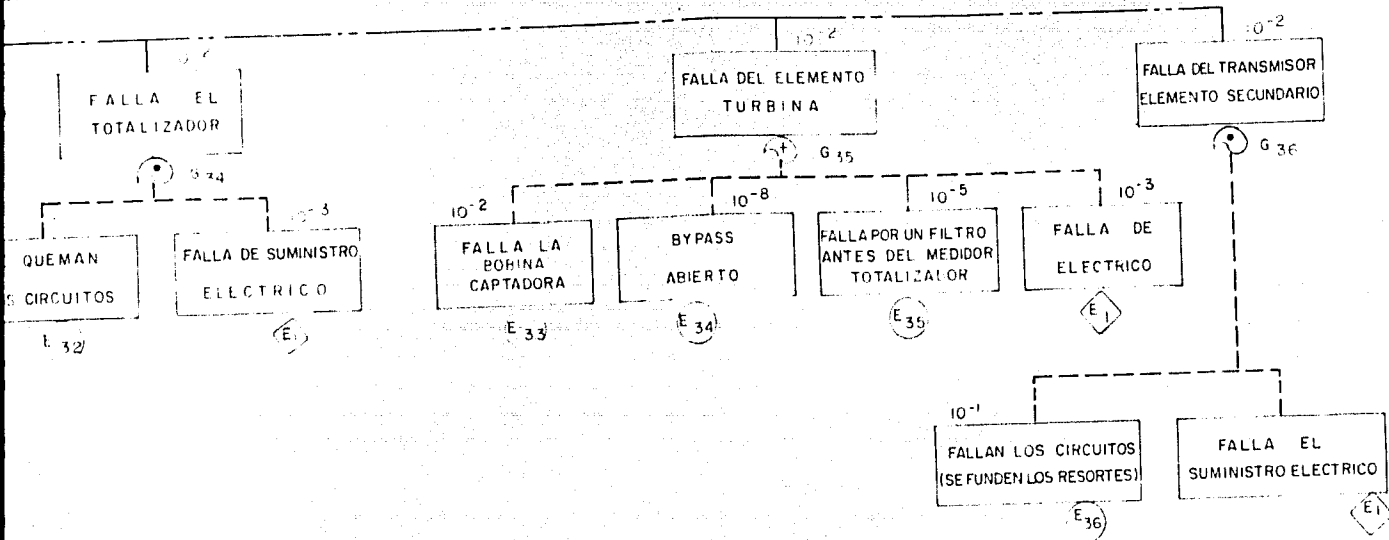
FALLA EN EL SISTEMA DE MEDICION



RES.

$T_3 = G_{31} + G_{32} + G_{34} + G_{35} + G_{36}$   
 $G_{31} = E_6 + E_{30}$   
 $G_{32} = E_{33} + E_{34}$   
 $G_{34} = E_{35} + E_{36}$   
 $E_{30} = E_{31} + E_{32}$   
 $E_{33} = E_{34} + E_{35} + E_{36}$   
 $E_{34} = E_{35} + E_{36}$

MEDICION



UNAM  
FACULTAD DE QUIMICA

ARROL DE FALLAS  
DEL SISTEMA DE MEDICION

CD MADRERO, TAMPS      A F - I      RE. 0



#### 5.4 ANALISIS CUALITATIVO

Consiste en obtener los conjuntos mínimos de corte (CMC) del árbol de fallas.

Podemos definir a un CMC como un grupo de eventos básicos de falla, cuya ocurrencia causará el evento topo.

Un árbol dependiendo de su tamaño y estructura, podría contener desde unos cuantos, hasta cientos y tal vez miles de CMC representando cada uno de ellos un modo de ocurrencia del evento topo.

##### 5.4.1 FALLAS EN EL SISTEMA DE MEDICION

Ecuaciones del árbol:

$$\text{Ecuación 1: } T3 = G31 + G32 + G33 + G34 + G35 + G36$$

$$\text{Ecuación 2: } G31 = G37 + E28$$

$$\text{Ecuación 3: } G37 = E1$$

$$\text{Ecuación 4: } G32 = E29 + E6$$

$$\text{Ecuación 5: } G33 = E30 \cdot E31$$

$$\text{Ecuación 6: } G34 = E32 \cdot E1$$

$$\text{Ecuación 7: } G35 = E33 + E34 + E35 + E11$$

$$\text{Ecuación 8: } G36 = E36 \cdot E1$$

SUSTITUYENDO:

$$T3 = G37 + E28 + E29 + E6 + E30 \cdot E31 + E32 \cdot E1 + E33 + E34 + E35 + E11 + E36 \cdot E1 \\ = E1 + E28 + E29 + E6 + E30 \cdot E31 + E32 \cdot E1 + E33 + E34 + E35 + E11 + E36 \cdot E1$$

Simplificando y reduciendo mediante las reglas de identidad, - absorción, etc., llegaremos a los CMC

#### 5.4.1.1 CONJUNTOS MINIMOS DE CORTE

Expresión simplificada:

Camino de 1 Evento:

$$E1 + E11 + E28 + E29 + E33 + E34 + E35 + E6$$

Camino de 2 Eventos:

E30.E31

Los CMC dan una buena idea de la importancia cualitativa de las fallas al ordenarlos de acuerdo a su tamaño.

Los conjuntos formados por un solo evento son listados primero (orden uno), después los conjuntos formados por dos eventos (orden dos), etc. Obviamente al revisar este ordenamiento, los CMC de orden uno son los cualitativamente más importantes, ya que la ocurrencia de un solo evento ocasiona el evento tope, después los de orden dos, y así sucesivamente.

#### 5.5 ANALISIS CUANTITATIVO

Los principales resultados generados son la probabilidad del evento tope, y la importancia probabilística de los eventos básicos y CMC:

Suponemos: E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9, E10, E11, E12, E13, E14, E15, E16, E17, E18, E19, E20, E21, E22, E23, E24, E25, E26, E27, E28, E29, E30, E31, E32, E33, E34, E35, E36, E37, E38, E39, E40, E41, E42, E43 y E44

Independientes; por lo tanto:

La probabilidad tope para este caso (falla en el Sistema de Medición), se obtiene de la siguiente manera con base en los CMC de su árbol resultantes:

$$P(\text{tope}) = 1 - \left( [1-P(E_1)] [1-P(E_{11})] [1-P(E_{28})] [1-P(E_{29})] [1-P(E_{33})] [1-P(E_{34})] [1-P(E_{35})] [1-P(E_6)] [1-P(E_{30}) P(E_{31})] \right) \text{--- ec.1}$$

Se podrá notar que debido a que para este árbol de falla solo se obtuvieron caminos de 1 y de 2 eventos, la ecuación de probabilidad para obtener el evento tope no es muy complicada, pero no ocurre lo mismo si estos caminos de eventos son mayores del número de eventos mencionados (ver Apéndice "B"- Fundamentos del Análisis de Riesgos) (Fundamentos Matemáticos).

### 5.5.1 RECOPIACION DE LOS DATOS DE FALLA

El objetivo de esta tarea fue obtener las probabilidades de ocurrencia de cada uno de los eventos básicos en el árbol de fallas. Estas probabilidades son necesarias para poder llevar a cabo la evaluación probabilística del árbol (i.e. obtener la probabilidad del evento tope y la importancia probabilística de los eventos básicos y CMC)

### 5.5.2 PROBABILIDADES DE LOS EVENTOS

Todos los eventos son independientes entre sí:

<u>EVENTO</u>	<u>PROBABILIDAD</u>
E1	1E -3
E2	7.2E -7
E3	1E -5

<u>EVENTO</u>	<u>PROBABILIDAD</u>
E4	1E -5
E5	1E -1
E6	1E -2
E7	1E -5
E8	1E -5
E9	1E -1
E10	1E -7
E11	1E -5
E12	1E -1
E13	1E -5
E14	1E -4
E15	1E -5
E16	1E -1
E17	1E -2
E18	1E -2
E19	1E -7
E20	1E -4
E21	1E -7
E22	1E -7
E23	1E -3
E24	1E -1
E25	1E -1
E26	1E -1
E27	1E -2
E28	1E -2
E29	1E -2
E30	1E -5
E31	1E -3
E32	1E -1
E33	1E -2
E34	1E -8
E35	1E -5

<u>EVENTO</u>	<u>PROBABILIDAD</u>
E36	1E - 1
E37	1E - 2
E38	1E - 2
E39	1E - 3
E40	1E - 1
E41	1E - 3
E42	1E - 1
E43	1E - 2
E44	1E - 2

Estos valores de probabilidad aplican para todos los árboles de falla mencionados de los sistemas a analizar en el encuentro de la probabilidad de falla total del evento tope seleccionado.

Los datos necesarios para obtener las probabilidades de ocurrencia de los eventos básicos (tasas de falla, tiempos de reparación, etc.), pueden obtenerse de fabricantes y vendedores de equipo, de la experiencia del personal de operación y mantenimiento de la literatura especializada, etc. Estos datos se alimentan al modelo de falla de la componente en cuestión del evento básico.

La experiencia obtenida a este respecto es que, generalmente en las plantas se tiene una gran cantidad de información - acerca de la historia de las fallas de los componentes (en bitácoras, en personal de operación y mantenimiento, en reportes a ejecutivos, etc.), sin embargo, debido a que su uso no se ha planteado para este tipo de estudios, los datos no se encuentran lo suficientemente estructurados para ser inmediatamente utilizados.

Cabe mencionar que este proceso de obtención de datos de falla podría definirse como una de las etapas más difíciles en el desarrollo del estudio.

Para nuestro sistema se utilizaron básicamente datos genéricos reportados en la literatura especializada.

Sustituyendo los valores de las probabilidades de cada uno de los eventos en la ecuación (1)

$$P(\text{TOPE}) = 1 - \left( [1-10^{-4}] [1-10^{-6}] [1-10^{-3}] [1-10^{-3}] [1-10^{-3}] \right. \\ \left. [1-10^{-9}] [1-10^{-6}] [1-10^{-3}] [1-(10^{-6}) (10^{-4})] \right)$$

$$P(\text{TOPE}) = 3.069 \cdot 10^{-2} \quad \text{Contra el valor obtenido con el programa de cómputo:} \\ 4.038 \cdot 10^{-2} \quad \text{(mayor exactitud)}$$

Lo cual nos indica la falla total del sistema analizado "Fallas en el Sistema de Medición".

## 5.6 IMPORTANCIA PROBABILISTICA

## Análisis de importancia (Fussell-Vesely)

## a) Importancia de Componentes

$$I_{(Ei)}^{fv} = \frac{\text{Probabilidad (Unión de todos los CMC donde Ei)}}{\text{Probabilidad Tope}}$$

$$I_{(Ei)}^{fv} = \frac{P(\text{Unión de todos los CMC donde Ei})}{P(\text{Tope})}$$

Para nuestro caso del árbol de fallas del sistema de medición

$$I_{(E1)}^{fv} = \frac{P(E1)}{P(\text{Tope})} = \frac{10^{-4}}{4.0383797808 * 10^{-2}} = 2.4762406 * 10^{-2}$$

$$I_{(E11)}^{fv} = \frac{10^{-6}}{4.0383797808 * 10^{-2}} = 2.47624 * 10^{-4}$$

$$I_{(E28)}^{fv} = \frac{P(E28)}{P(\text{Tope})} = \frac{10^{-3}}{P(\text{Tope})} = 2.47624061 * 10^{-1}$$

$$I_{(E29)}^{fv} = \frac{P(E29)}{P(\text{Tope})} = 2.47624061 * 10^{-1}$$

$$I_{(E33)}^{fv} = \frac{P(E33)}{P(\text{Tope})} = 2.47624061 * 10^{-1}$$

$$I_{(E34)}^{fv} = \frac{P(E34)}{P(\text{Tope})} = 2.48 * 10^{-7}$$

$$I_{(E35)}^{fv} = \frac{P(E35)}{P(\text{Tope})} = 2.47624 * 10^{-4}$$

$$I_{(E6)}^{fv} = \frac{P(E6)}{P(\text{Tope})} = 2.47624061 * 10^{-1}$$

$$I_{(E30)}^{fv} = \frac{1 - \left[ \frac{1 - P(E30) \cdot P(E1)}{P(\text{Tope})} \right]}{P(\text{Tope})} = \frac{1 - \left[ \frac{1 - (10^{-6}) \cdot (10^{-4})}{P(\text{Tope})} \right]}{P(\text{Tope})} = 1 \cdot 10^{-8}$$

Entonces:

$$I_{(E1)a}^{fv} = 1.010220352 \text{ lo cual corresponde al } 100 \%$$

Para obtener la importancia en porcentaje por componente

$$I_{(E1)}^{fv} = (2.42762406 \cdot 10^2 \cdot 100) / 4.0383797808 = 2.45118\%$$

Valor obtenido por medio de calculadora CONTRA 2,4378 %

Valor obtenido con el programa por computadora

Y así sucesivamente obtenemos:

Importancia de componentes:

IFV (E28) =	0.2476	24.3783 %
IFV (E29) =	0.2476	24.3783 %
IFV (E33) =	0.2476	24.3783 %
IFV (E6) =	0.2476	24.3783 %
IFV (E1) =	0.0248	2.4378 %
IFV (E11) =	0.0002	0.0244 %
IFV (E35) =	0.0002	0.0244 %
IFV (E30) =	2.4760E-07	2.4376E-05 %
IFV (E31) =	2.4760E-07	2.4376E-05 %
IFV (E34) =	2.4760E-07	2.4376E-05 %
IFV (E32) =	menor 1E-38	Menor 1E-38 %
IFV (E36) =	menor 1E-38	Menor 1E-38 %

b) IMPORTANCIA DE CONJUNTOS MINIMOS DE CORTE (CMC)

$$I_{(E1...En)}^{fv} = \frac{\text{Probabilidad (Conjunto mínimo de corte)}}{\text{Probabilidad Tope}}$$



$$I_{(E1 \dots En)}^{fv} = \frac{P(\text{CMC})}{P(\text{tope})}$$

De donde:

$$I_{(E1)}^{fv} = \frac{P(E1)}{P(\text{tope})} = \frac{10^{-4}}{4.0383797808 * 10^{-2}} = 0.0247624 = 24762406 * 10^{-2}$$

$$I_{(E11)}^{fv} = 2.47624 * 10^{-4}$$

$$I_{(E28)}^{fv} = 2.47624061 * 10^{-1}$$

$$I_{(E29)}^{fv} = 2.47624061 * 10^{-1}$$

$$I_{(E33)}^{fv} = 2.47624061 * 10^{-1}$$

$$I_{(E34)}^{fv} = 2.48 * 10^{-7}$$

$$I_{(E35)}^{fv} = 2.47624 * 10^{-4}$$

$$I_{(E6)}^{fv} = 2.47624061 * 10^{-1}$$

$$I_{(E30)}^{fv} = \frac{P(E30) P(E1)}{P(\text{tope})} = \frac{(10^{-6})(10^{-4})}{4.0383797808 * 10^{-2}} = 2.48 * 10^{-7}$$

Se podrá notar que como para este caso todos los CMC son de 1 -- evento excepto el E30 = E1, que el camino es de dos eventos, todos los valores obtenidos tanto para el caso de importancia de componentes como para este último de importancia de conjuntos mínimos del corte son iguales, pero no así para el camino de dos eventos o sea:

$$I_{(E_{30})a}^{fv} = \frac{1 - [1 - P(E_{30}) P(E_{11})]}{P(\text{tope})} = 1 * 10^{-8}$$

$$I_{(E_{30})b}^{fv} = \frac{P(E_{30}) P(E_{11})}{P(\text{Tope})} = 2.48 * 10^{-7}$$

Se acepta entonces que realizar este trabajo sin contar con la ayuda de la computadora es prácticamente imposible.

Importancia de los Conjuntos Mínimos de Corte:

IFV (E28) =	0.2476	24.3783 %
IFV (E29) =	0.2476	24.3783 %
IFV (E33) =	0.2476	24.3783 %
IFV (E6) =	0.2476	24.3783 %
IFV (E1) =	0.0248	2.4378 %
IFV (E11) =	0.0002	0.0244 %
IFV (E35) =	0.0002	0.0244 %
IFV (E34) =	2.4762E-07	2.4378E-05 %
IFV (E30/E31) =	2.4762E-07	2.4378E-05 %

$$I_{(E_i)b}^{fv} = 1.015600496 \text{ lo cual corresponde al } 100 \%$$

Y de la misma manera que se obtienen los porcentajes para la importancia de componentes, han sido obtenidos nuestros porcentajes para la importancia de los conjuntos mínimos de corte.

## 5.7 TOMA DE DECISIONES

Se podrá notar que hay cuatro eventos  $E_{28}$ ,  $E_{29}$ ,  $E_{33}$  y  $E_6$  es decir:

- E<sub>6</sub> = Falla por causa mecánica
- E<sub>28</sub> = Falla de la válvula selenoide, se quema la bobina.
- E<sub>29</sub> = Falla de las válvulas hidráulicas en la esfera, falla de alimentación de aceite hidráulico.
- E<sub>33</sub> = Falla del elemento turbina, falla la bobina capacitadora, que son los que tienen mayor porcentaje de importancia, tanto como de componentes, como de conjuntos mínimos de corte.

Las decisiones para evitar lo más posible que falle el sistema de medición serán gastos en:

#### 5.7.1 MANTENIMIENTO

Las acciones del mantenimiento se dividen en dos clases:

##### 1) No Programado

El cual es requerido por un sistema en mal funcionamiento o en estado no operable.

##### 2) Programado (Preventivo)

El cual es realizado a intervalos regulares con el propósito de mantener el sistema en una condición consistente en los niveles de confiabilidad y seguridad.

Para que el Mantenimiento Preventivo se lleve a cabo en su propósito, ciertas acciones se realizan las cuales se pueden dividir en:

- a) Atención regular a subsistemas, dispositivos y componentes en operación normal (lubricación, ajuste, etc)
- b) Verificación con reparación o sustitución de equipos redundantes fallados.
- c) Sustitución o reacondicionamiento de componentes o -- dispositivos, los cuales están cerca del final de la vida útil.

De manera análoga a la ilustración ejemplificada con el análisis de falla del sistema de medición, se realizará el análisis para cada uno de los sistemas faltantes que conforman nuestro Arbol de Falla total.

## 5.8 ARBOL DE FALLAS EN EL SISTEMA DE REFRIGERACION.

Ecuaciones del Arbol:

Ecuación 1:  $T=G2+G3+G4$   
 Ecuación 2:  $G2=G5+E1$   
 Ecuación 3:  $G5=G6+E2+G7$   
 Ecuación 4:  $G6=E16+E1+G8$   
 Ecuación 5:  $G7=E3.E4$   
 Ecuación 6:  $G8=E5+E6$   
 Ecuación 7:  $G3=G9+G14+G16$   
 Ecuación 8:  $G9=G10+E2$   
 Ecuación 9:  $G10=G11.E7$   
 Ecuación 10:  $G11=G12+E2$   
 Ecuación 11:  $G12=E16+E1+G13$   
 Ecuación 12:  $G13=E5.E6$   
 Ecuación 13:  $G14=E8.G15.E9$   
 Ecuación 14:  $G15=E10.E11$   
 Ecuación 15:  $G16=G17+G19$   
 Ecuación 16:  $G17=G18.E16.E1$   
 Ecuación 17:  $G18=E3+E6$   
 Ecuación 18:  $G19=E12.G20$   
 Ecuación 19:  $G20=E13$   
 Ecuación 20:  $G4=E14+E15$

Expresión Simplificada:

Caminos de 1 Evento:  
 $E1 + E14 + E15 + E16 + E2 + E5 + E6 +$   
 Caminos de 2 Eventos:  
 $E12.E13 + E3.E4 +$   
 Caminos de 4 Eventos:  
 $E10.E11.E8.E9$

Análisis de Importancias  
Fussell-Vesely

Probabilidad Topo = 1.9899139780E-01

Importancia de Componentes:

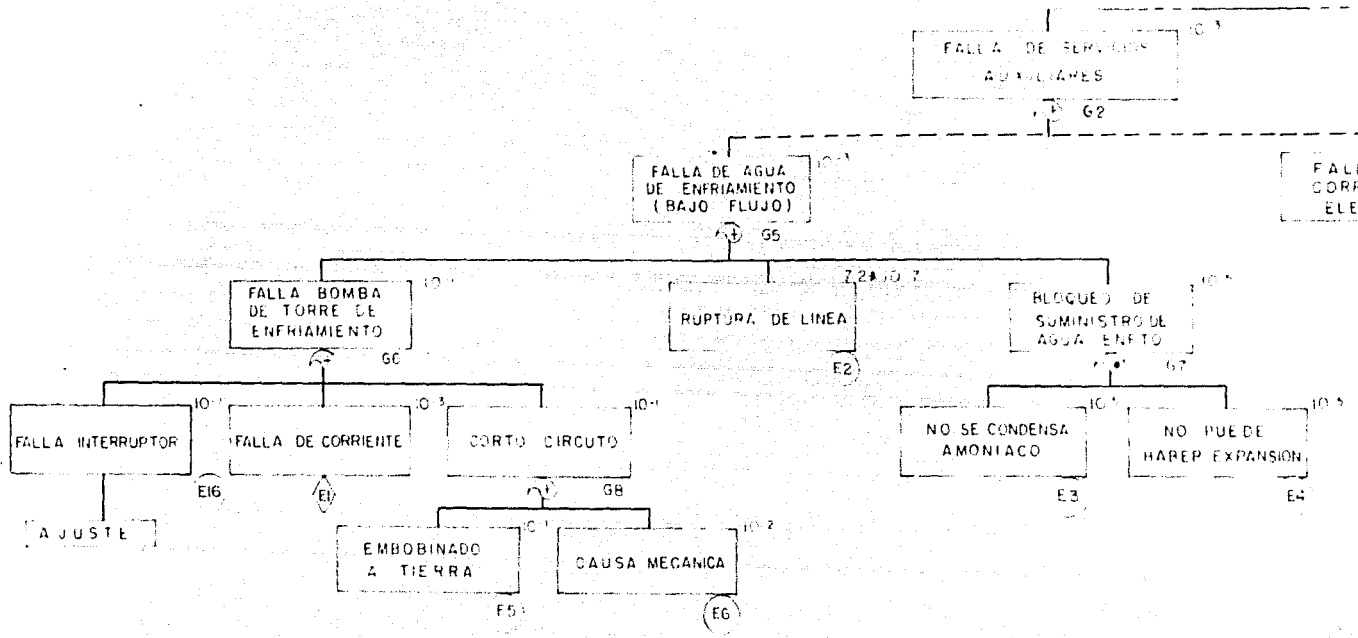
IFV(E16)=	0.5025	47.3681%
IFV(E5)=	0.5025	47.3681%
IFV(E6)=	0.0503	4.7368%
IFV(E1)=	0.0050	0.4737%
IFV(E14)=	0.0005	0.0474%
IFV(E15)=	5.0257E-05	0.0047%
IFV(E12)=	5.0253E-06	0.0005%
IFV(E13)=	5.0253E-06	0.0005%
IFV(E2)=	3.6182E-06	0.0003%
IFV(E3)=	4.9362E-10	4.6527E-08%
IFV(E4)=	4.9762E-10	4.6527E-08%

Nos determina la probabilidad de falla total del sistema -- analizado "Fallas en el Sistema de Refrigeración"

IFV(E10)= menor1E-38 menor1E-38%  
 IFV(E11)= menor1E-38 menor1E-38%  
 IFV(E7)= menor1E-38 menor1E-38%  
 IFV(E8)= menor1E-38 menor1E-38%  
 IFV(E9)= menor1E-38 menor1E-38%

Importancias de los Conjuntos Minimios de Corte:

IFV(E16)=	0.5025	47.3683%
IFV(E5)=	0.5025	47.3683%
IFV(E6)=	0.0503	4.7368%
IFV(E1)=	0.0050	0.4737%
IFV(E14)=	0.0005	0.0474%
IFV(E15)=	5.0253E-05	0.0047%
IFV(E12,E13)=	5.0253E-06	0.0005%
IFV(E2)=	3.6182E-06	0.0003%
IFV(E3,E4)=	5.0253E-10	4.7368E-08%
IFV(E10,E11,E8,E9)=	5.0253E-18	4.7368E-16%



FALLA EL SISTEMA DE RE

TI

10<sup>-3</sup>

FALLA DE CORRIENTE ELECTRICA  
E1

FALLA PRESION DE SUCCION EN LOS COMPRESORES  
10<sup>-5</sup>  
G9

NO SE GENERAN DE VAPORES EN EL EVAPORADOR  
10<sup>-5</sup>  
G10

RUPTURA DE LA LINEA  
72 \* 10<sup>-7</sup>  
E2

NO DISMINUYE LA PRESION TEMPERATURA  
10<sup>-5</sup>

NO PUEDE OPERAR POR EXPANSION  
10<sup>-5</sup>  
E4

POR BAJO FLUJO DE AMONIACO  
10<sup>-1</sup>  
G11

BAJA TEMPERATURA DEL CLORURO DE VINILO  
10<sup>-5</sup>  
E7

RUPTURA DE LINEA  
72 \* 10<sup>-7</sup>  
E2

FALLA BOMBA QUE MANEJA AMONIACO  
10<sup>-1</sup>  
G12

FALLA POR CORTO CIRCUITO  
10<sup>-1</sup>  
G13

FALLA DE CORRIENTE  
10<sup>-3</sup>  
E1

FALLA DE INTERRUPTOR  
10<sup>-1</sup>  
E6

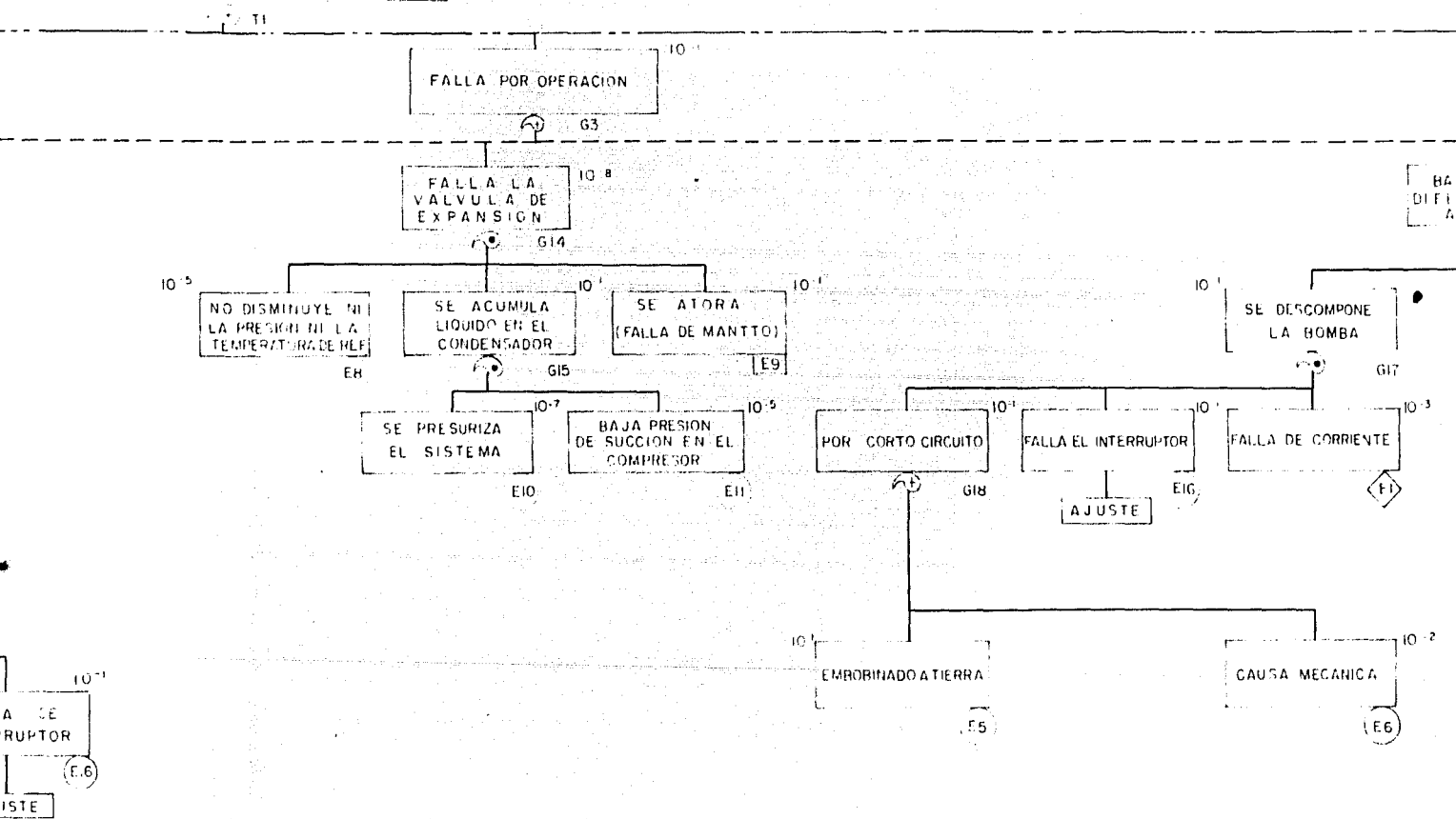
AJUSTE

CAUSA MECANICA  
10<sup>-4</sup>  
E5

CONECTADO A TIERRA  
10<sup>-1</sup>  
E5

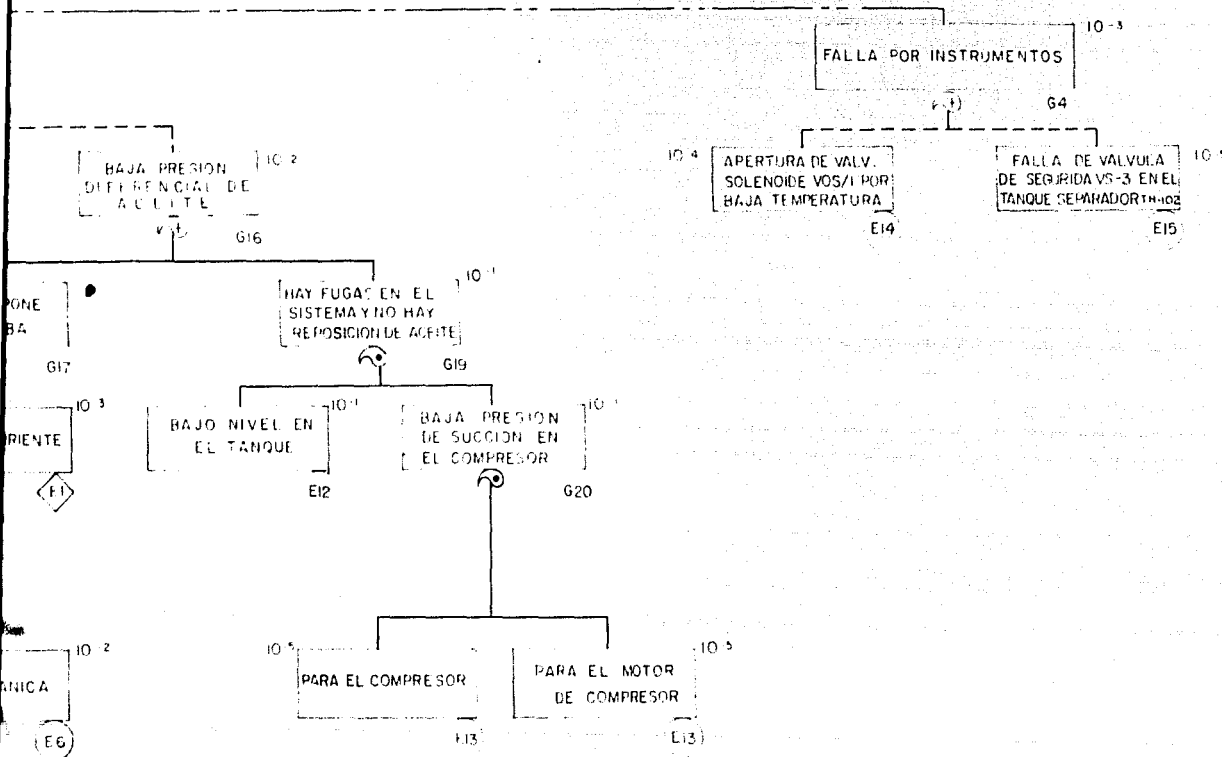


FALLA EL SISTEMA DE REFRIGERACION



ECUACIONES:

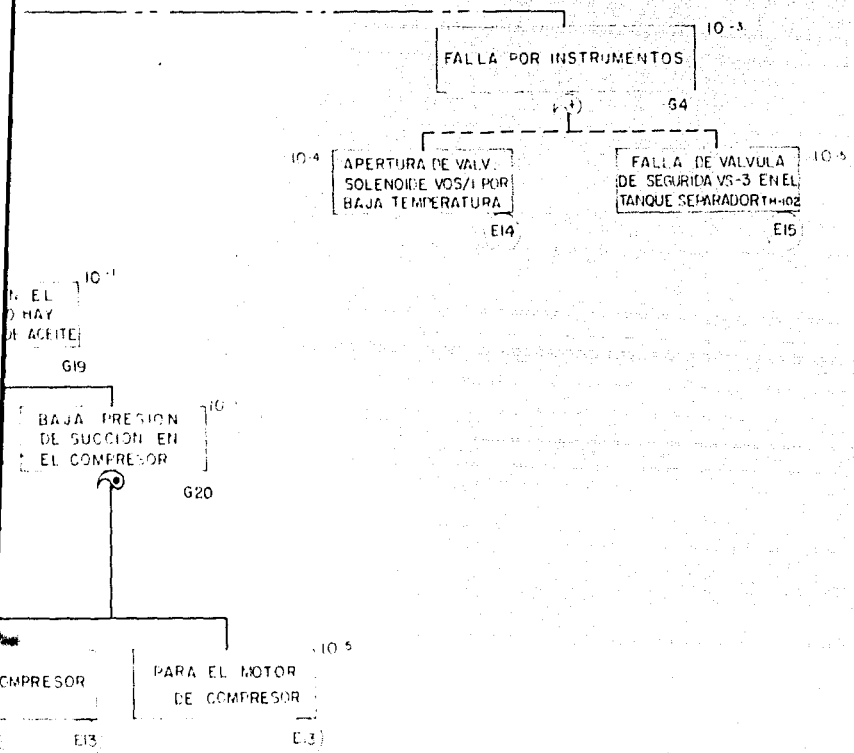
- $T = G_1 + G_2 + G_3 + G_4$
- $G_2 = G_5 + E_1$
- $G_5 = G_6 + E_2 + G_7$
- $G_6 = E_16 + E_1 + G_8$
- $G_7 = E_3 + E_4$
- $G_8 = E_5 + E_6$
- $G_3 = G_9 + G_{11} + G_{16}$
- $G_9 = G_{10} + E_7$
- $G_{10} = G_{11} + E_7$
- $G_{11} = G_{12} + E_{12}$
- $G_{12} = E_{16} + E_1 + G_{13}$
- $G_{13} = E_5 + E_6$
- $G_{14} = E_8 + G_{15} + E_9$
- $G_{15} = E_{10} + E_{11}$
- $G_{16} = G_{17} + G_{19}$
- $G_{17} = G_{18} + E_{16} + E_{17}$
- $G_{18} = E_5 + E_6$
- $G_{19} = E_{12} + G_{20}$
- $G_{20} = E_{13} + E_{13}$
- $G_4 = E_{14} + E_{15}$



MATERIA EN INSTRUCCIONES DE PROF.	DISEÑO DE INSTRUMENTOS	PROYECTO DE INSTRUMENTOS	REVISIÓN DE INSTRUMENTOS	ARBOL DE DEL SISTEMA DE F
<p>U.N.A.M</p> <p>FACULTAD DE QUIMICA</p>				CD. MADERO, TAMP.

ECUACIONES:

- $T_1 = G_1 + G_2 + G_3 + G_4$
- $G_2 = G_5 + E_1$
- $G_5 = G_6 + E_2 + G_7$
- $G_6 = E_{16} + E_1 + G_8$
- $G_7 = E_3 + E_4$
- $G_8 = E_5 + E_6$
- $G_3 = G_9 + G_{11} + G_{16}$
- $G_4 = G_{10} + E_7$
- $G_{10} = G_{11} + E_7$
- $G_{11} = G_{12} + E_{12}$
- $G_{12} = E_{16} + E_1 + G_{13}$
- $G_{13} = E_5 + E_6$
- $G_{14} = E_8 + G_{15} + E_9$
- $G_{15} = E_{10} + E_{11}$
- $G_{16} = G_{17} + G_{19}$
- $G_{17} = G_{18} + E_{16} + E_1$
- $G_{18} = E_5 + E_6$
- $G_{19} = E_{12} + G_{20}$
- $G_{20} = E_{13} + E_{13}$
- $G_4 = E_{14} + E_{15}$



MATERIA EN MATERIA DE 1997 <h1 style="margin: 0;">U.N.A.M</h1> FACULTAD DE QUIMICA CARRETERA AL MEXICO	DIR. PROF. REV.				ARBOL DE FALLAS DEL SISTEMA DE REFRIGERACION CD. MADERO, TAMP.	A F - 2	REL. O
--	-----------------------	--	--	--	--	---------	-----------

### 5.9 ARBOL DE FALLAS EN INDICADORES, ALARMAS, Y EL SISTEMA DE SEGURIDAD DE LAS ESFERAS

Ecuaciones del Arbol:

Ecuación 1:  $T=G21+G22+G23+G24$

Ecuación 2:  $G21=E17.E1$

Ecuación 3:  $G22=G25+G26$

Ecuación 4:  $G25=E18.E19.E20$

Ecuación 5:  $G26=E18.E19.E20$

Ecuación 6:  $G23=G27+E1+E17$

Ecuación 7:  $G27=E21+E22$

Ecuación 8:  $G24=G28+G29+G30$

Ecuación 9:  $G28=E22.E23$

Ecuación 10:  $G29=E24.E25$

Ecuación 11:  $G30=E26+E27$

Expresión Simplificada:

Caminos de 1 Evento:

$E1 + E17 + E21 + E22 + E26 + E27 +$

Caminos de 2 Eventos:

$E24.E25 +$

Caminos de 3 Eventos:

$E18.E19.E20$

Análisis de Importancias  
Fussell-Vesely

Probabilidad Topo = 1.2760434357E-01

Nos determina la probabilidad de falla total del sistema -- analizado "Fallas en Indicadores, Alarmas y el Sistema de Seguridad de las Esferas"

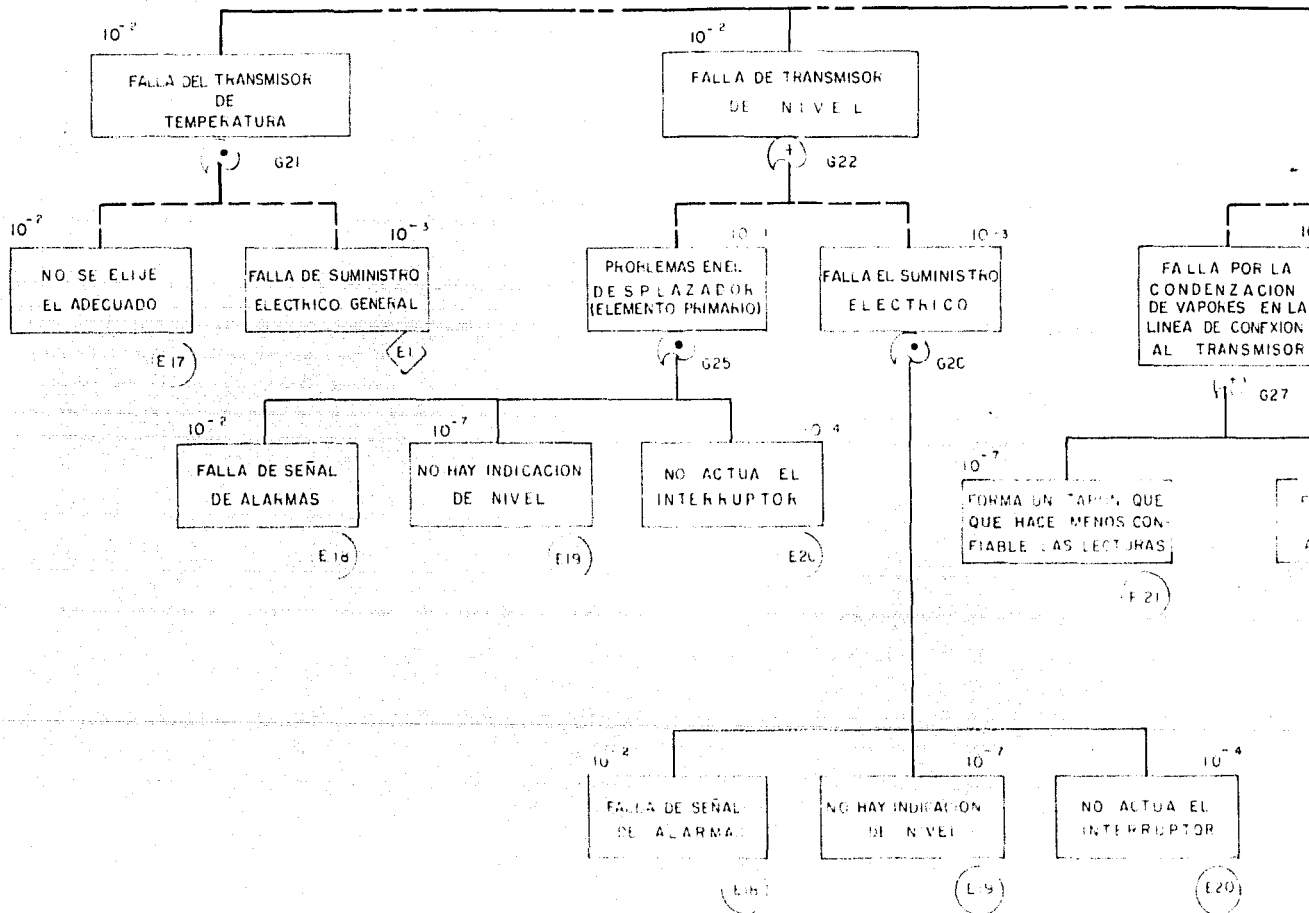
Importancia de Componentes:

IFV(E26)=	0.7837	70.9219%
IFV(E17)=	0.0784	7.0922%
IFV(E24)=	0.0784	7.0922%
IFV(E25)=	0.0784	7.0922%
IFV(E27)=	0.0784	7.0922%
IFV(E1)=	0.0078	0.7092%
IFV(E21)=	7.8366E-07	7.0921E-05%
IFV(E22)=	7.8366E-07	7.0921E-05%
IFV(E18)=	menor1E-38	menor1E-38%
IFV(E19)=	menor1E-38	menor1E-38%
IFV(E20)=	menor1E-38	menor1E-38%
IFV(E23)=	menor1E-38	menor1E-38%

Importancias de los Conjuntos Mínimos de Corte:

IFV(E26)=	0.7837	76.3358%
IFV(E17)=	0.0784	7.6336%
IFV(E27)=	0.0784	7.6336%
IFV(E24, E25)=	0.0784	7.6336%
IFV(E1)=	0.0078	0.7634%

IFV(E21)=	7.8767E-07	7.6336E-05%
IFV(E22)=	7.8767E-07	7.6336E-05%
IFV(E18, E19, E20)=	7.8367E-10	7.6336E-11%



FALLA DE INDICADORES, ALARMAS Y EL SISTEMA DE SEGURIDAD DE LA ESFERA

$10^{-7}$  T2

$10^{-7}$   
FALLA DE TRANSMISOR DE PRESION

FALLA DE SE SEG

G23

$10^{-2}$   
FALLA POR LA CONDENSACION DE VAPORES EN LA LINEA DE CONEXION AL TRANSMISOR

$10^{-3}$   
FALLA EL SUMINISTRO ELECTRICO

$10^{-2}$   
NO SE ELIJE EL ADECUADO

$10^{-1}$   
SE ATORA EL RESORTE

NO SE R DISCO DE

G27

G28

$10^{-7}$   
FORMA UN TAPON QUE HACE MENOS CONFIABLE LAS LECTURAS

$10^{-7}$   
FORMA UN TAPON LIQUIDO AL TRANSMISOR

$10^{-7}$   
PRESENCIA DE POLVO (MEDIO AMBIENTE)

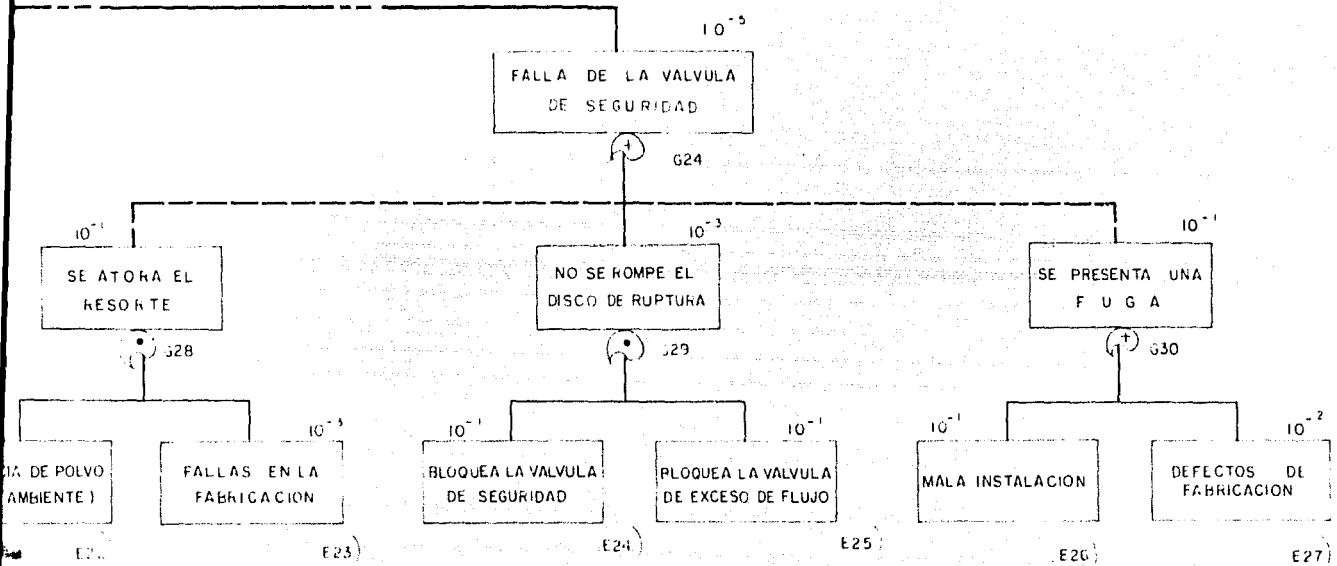
$10^{-3}$   
FALLAS EN LA FABRICACION

$10^{-1}$   
BLOQUEA LA VALVULA DE SEGURIDAD

ECUACIONES.

- $T2 = G21 + G22 + G23 + G24$
- $G21 = E17 + E1$
- $G22 = G25 + G26$
- $G25 = E18 + E19 + E20$
- $G26 = E18 + E19 + E20$
- $G23 = G27 + E14 + E17$
- $G27 = E21 + E22$
- $G24 = G28 + G29 + G30$
- $G28 = E22 + E23$
- $G29 = E24 + E25$
- $G30 = E26 + E27$

$10^{-4}$   
NO ACTUA EL INTERRUPTOR



12 + G25 + G24

E1

G26

E19 E20

E19 E20

+ E1 + E17

+ E22

+ G29 + G30

E23

E25

+ E27

UNIVERSIDAD EN INGENIERÍA DE PROY

UNAM

FACULTAD DE QUÍMICA

LABORATORIO EN MÉXICO D.F.

DISEÑO  
PROYECTO  
REVISIÓN

A. C. H. R.

ESD

SIN

ACOT

SIN

ARBOL DE FALLAS

DE INDICADORES ALARMAS Y DEL SISTEMA  
DE SEGURIDAD DE LA ESFEPA

CD MADERO, TAMP.

A F -- 3

REV  
0



5.10 ARBOL DE FALLAS POR REPRESIONAMIENTO DE LAS  
ESFERAS DE ALMACENAMIENTO.

Ecuaciones del Arbol:

Ecuación 1:  $A1=T1.T2.T3$   
 Ecuación 2:  $T1=G2+G3+G4$   
 Ecuación 3:  $G2=G5+E1$   
 Ecuación 4:  $G5=G6+E2+G7$   
 Ecuación 5:  $G6=E16+E1+G8$   
 Ecuación 6:  $G7=E3.E4$   
 Ecuación 7:  $G8=E5+E6$   
 Ecuación 8:  $G3=G9+G14+G16$   
 Ecuación 9:  $G9=G10+E2$   
 Ecuación 10:  $G10=G11.E7$   
 Ecuación 11:  $G11=G12+E2$   
 Ecuación 12:  $G12=E16+E1+G13$   
 Ecuación 13:  $G13=E5+E6$   
 Ecuación 14:  $G14=E8.G15.E9$   
 Ecuación 15:  $G15=E10.E11$   
 Ecuación 16:  $G16=G17+G19$   
 Ecuación 17:  $G17=G18.E16.E1$   
 Ecuación 18:  $G18=E5+E6$   
 Ecuación 19:  $G19=E12.G20$   
 Ecuación 20:  $G20=E13$   
 Ecuación 21:  $G4=E14+E15$   
 Ecuación 22:  $T2=G21+G22+G23+G24$   
 Ecuación 23:  $G21=E17.E1$   
 Ecuación 24:  $G22=G25+G26$   
 Ecuación 25:  $G25=E18.E19.E20$   
 Ecuación 26:  $G26=E18.E19.E20$   
 Ecuación 27:  $G23=G27+E1+E17$   
 Ecuación 28:  $G27=E21+E22$   
 Ecuación 29:  $G24=G28+G29+G30$   
 Ecuación 30:  $G28=E22.E23$   
 Ecuación 31:  $G29=E24.E25$   
 Ecuación 32:  $G30=E26+E27$   
 Ecuación 33:  $T3=G31+G32+G33+G34+G35+G36$   
 Ecuación 34:  $G31=G37+E28$   
 Ecuación 35:  $G37=E1$   
 Ecuación 36:  $G32=E29+E6$   
 Ecuación 37:  $G33=E30.E31$   
 Ecuación 38:  $G34=E32.E1$   
 Ecuación 39:  $G35=E33+E34+E35+E11$   
 Ecuación 40:  $G36=E36.E1$

Expresión Simplificada:

Caminos de 1 Evento:

$E1 +$

Caminos de 2 Eventos:

$E17.E6 + E21.E6 + E22.E6 + E26.E6 + E27.E6 +$

Caminos de 3 Eventos:

E11.E14.E17 + E11.E14.E21 + E11.E14.E22 + E11.E14.E26 + E11.E14.E27 + E11.E15.E17 - E11.E15.E21 + E11.E15.E22 + E11.E15.E26 + E11.E15.E27 + E11.E16.E17 - E11.E16.E21 + E11.E16.E22 + E11.E16.E26 + E11.E16.E27 + E11.E17.E21 + E11.E17.E25 + E11.E20.E21 + E11.E2.E22 + E11.E2.E26 + E11.E2.E27 + E11.E21.E5 + E11.E22.E5 + E11.E26.E5 - E11.E27.E5 + E14.E17.E28 + E14.E17.E29 + E14.E17.E33 + E14.E17.E34 - E14.E17.E35 - E14.E21.E28 - E14.E21.E29 + E14.E21.E33 + E14.E21.E34 + E14.E21.E35 + E14.E22.E28 + E14.E22.E29 + E14.E22.E33 + E14.E22.E34 + E14.E22.E35 + E14.E26.E28 + E14.E26.E29 + E14.E26.E33 + E14.E26.E34 + E14.E26.E35 + E14.E27.E28 + E14.E27.E29 + E14.E27.E33 + E14.E27.E34 + E14.E27.E35 + E15.E17.E28 + E15.E17.E29 + E15.E17.E33 + E15.E17.E34 + E15.E17.E35 + E15.E21.E28 + E15.E21.E29 + E15.E21.E33 - E15.E21.E34 + E15.E21.E35 + E15.E26.E28 + E15.E26.E29 + E15.E26.E33 + E15.E26.E34 + E15.E26.E35 + E15.E27.E28 + E15.E27.E29 + E15.E27.E33 + E15.E27.E34 + E15.E27.E35 + E16.E17.E28 + E16.E17.E29 + E16.E17.E33 + E16.E17.E34 + E16.E17.E35 + E16.E21.E28 + E16.E21.E29 + E16.E21.E33 + E16.E21.E34 + E16.E21.E35 + E16.E22.E28 + E16.E22.E29 + E16.E22.E33 + E16.E22.E34 + E16.E22.E35 + E16.E26.E28 + E16.E26.E29 + E16.E26.E33 + E16.E26.E34 + E16.E26.E35 + E16.E27.E28 + E16.E27.E29 + E16.E27.E33 + E16.E27.E34 + E16.E27.E35 + E17.E2.E28 + E17.E2.E29 + E17.E2.E33 + E17.E2.E34 + E17.E2.E35 + E17.E28.E5 + E17.E29.E5 + E17.E33.E5 + E17.E34.E5 + E17.E35.E5 + E2.E21.E28 + E2.E21.E29 + E2.E21.E33 + E2.E21.E34 + E2.E21.E35 + E2.E22.E28 + E2.E22.E29 + E2.E22.E33 + E2.E22.E34 + E2.E22.E35 + E2.E26.E28 + E2.E26.E29 + E2.E26.E33 + E2.E26.E34 + E2.E26.E35 + E2.E27.E28 + E2.E27.E29 + E2.E27.E33 + E2.E27.E34 + E2.E27.E35 + E21.E28.E5 + E21.E29.E5 + E21.E33.E5 + E21.E34.E5 + E21.E35.E5 + E22.E28.E5 + E22.E29.E5 + E22.E33.E5 + E22.E34.E5 + E22.E35.E5 + E24.E25.E5 + E26.E28.E5 + E26.E29.E5 + E26.E33.E5 + E26.E34.E5 + E26.E35.E5 + E27.E28.E5 + E27.E29.E5 + E27.E33.E5 + E27.E34.E5 + E27.E35.E5 +

#### Caminos de 4 Eventos:

E11.E12.E13.E17 + E11.E12.E13.E21 + E11.E12.E13.E22 + E11.E12.E13.E26 + E11.E12.E13.E27 - E11.E14.E24.E25 + E11.E15.E24.E25 + E11.E16.E24.E25 + E11.E17.E3.E34 + E11.E2.E24.E25 + E11.E21.E3.E34 + E11.E22.E3.E34 + E11.E24.E25.E5 + E11.E24.E25.E5 + E11.E24.E3.E34 + E11.E27.E3.E34 + E12.E13.E17.E28 + E12.E13.E17.E29 + E12.E13.E17.E33 + E12.E13.E17.E34 + E12.E13.E17.E35 + E12.E13.E21.E28 + E12.E13.E21.E29 + E12.E13.E21.E33 + E12.E13.E21.E34 + E12.E13.E21.E35 + E12.E13.E22.E28 + E12.E13.E22.E29 + E12.E13.E22.E33 + E12.E13.E22.E34 + E12.E13.E22.E35 + E12.E13.E26.E28 + E12.E13.E26.E29 + E12.E13.E26.E33 + E12.E13.E26.E34 + E12.E13.E26.E35 + E12.E17.E27.E28 + E12.E17.E27.E29 + E12.E17.E27.E33 + E12.E17.E27.E34 + E12.E17.E27.E35 + E12.E13.E27.E33 + E12.E13.E27.E34 + E12.E13.E27.E35 + E14.E17.E30.E31 + E14.E21.E30.E31 + E14.E22.E30.E31 + E14.E24.E25.E28 + E14.E24.E25.E29 + E14.E24.E25.E33 + E14.E24.E25.E34 + E14.E24.E25.E35 + E14.E24.E25.E36 + E14.E24.E25.E37 + E14.E24.E25.E38 + E14.E24.E25.E39 + E14.E24.E25.E40 + E14.E24.E25.E41 + E14.E24.E25.E42 + E14.E24.E25.E43 + E14.E24.E25.E44 + E14.E24.E25.E45 + E14.E24.E25.E46 + E14.E24.E25.E47 + E14.E24.E25.E48 + E14.E24.E25.E49 + E14.E24.E25.E50 + E14.E24.E25.E51 + E14.E24.E25.E52 + E14.E24.E25.E53 + E14.E24.E25.E54 + E14.E24.E25.E55 + E14.E24.E25.E56 + E14.E24.E25.E57 + E14.E24.E25.E58 + E14.E24.E25.E59 + E14.E24.E25.E60 + E14.E24.E25.E61 + E14.E24.E25.E62 + E14.E24.E25.E63 + E14.E24.E25.E64 + E14.E24.E25.E65 + E14.E24.E25.E66 + E14.E24.E25.E67 + E14.E24.E25.E68 + E14.E24.E25.E69 + E14.E24.E25.E70 + E14.E24.E25.E71 + E14.E24.E25.E72 + E14.E24.E25.E73 + E14.E24.E25.E74 + E14.E24.E25.E75 + E14.E24.E25.E76 + E14.E24.E25.E77 + E14.E24.E25.E78 + E14.E24.E25.E79 + E14.E24.E25.E80 + E14.E24.E25.E81 + E14.E24.E25.E82 + E14.E24.E25.E83 + E14.E24.E25.E84 + E14.E24.E25.E85 + E14.E24.E25.E86 + E14.E24.E25.E87 + E14.E24.E25.E88 + E14.E24.E25.E89 + E14.E24.E25.E90 + E14.E24.E25.E91 + E14.E24.E25.E92 + E14.E24.E25.E93 + E14.E24.E25.E94 + E14.E24.E25.E95 + E14.E24.E25.E96 + E14.E24.E25.E97 + E14.E24.E25.E98 + E14.E24.E25.E99 + E14.E24.E25.E100 +

E75 + E18.E26.E30.E71 + E14.E27.E30.E71 + E17.E3.E30.E31 + E17.  
 E28.E7.E4 + E17.E29.E7.E4 + E17.E3.E30.E4 + E17.E3.E34.E4 + E17.  
 E3.E35.E4 + E17.E30.E31.E5 + E18.E19.E20.E6 + E2.E21.E30.E31 +  
 E2.E22.E30.E31 + E2.E24.E25.E28 + E2.E24.E25.E29 + E2.E24.E25.E30  
 + E2.E24.E25.E34 + E2.E24.E25.E35 + E2.E26.E30.E31 + E2.E27.E30.  
 E71 + E21.E28.E3.E4 + E21.E29.E7.E4 + E21.E3.E33.E4 + E21.E3.E34.  
 E4 + E21.E3.E35.E4 + E21.E30.E71.E5 + E22.E29.E3.E4 + E22.E29.  
 E3.E4 + E22.E3.E33.E4 + E22.E3.E34.E4 + E22.E3.E35.E4 + E22.E30.  
 E71.E5 + E24.E25.E28.E5 + E24.E25.E29.E5 + E24.E25.E33.E5 + E24.  
 E25.E34.E5 + E24.E25.E35.E5 + E26.E28.E3.E4 + E26.E29.E7.E4 +  
 E26.E3.E33.E4 + E26.E3.E34.E4 + E26.E3.E35.E4 + E26.E30.E71.E5 +  
 E27.E28.E7.E4 + E27.E29.E3.E4 + E27.E3.E33.E4 + E27.E3.E34.E4 +  
 E27.E3.E35.E4 + E27.E30.E71.E5 +

#### Caminos de 5 Eventos:

E10.E11.E17.E8.E9 + E10.E11.E21.E8.E9 + E10.E11.E22.E8.E9 + E10.  
 E11.E26.E8.E9 + E10.E11.E27.E8.E9 + E11.E12.E13.E24.E25 + E11.  
 E14.E18.E19.E20 + E11.E15.E18.E19.E20 + E11.E18.E18.E19.E20 + E11.  
 E18.E19.E2.E20 + E11.E18.E19.E20.E5 + E11.E24.E25.E7.E4 + E12.  
 E13.E17.E20.E31 + E12.E13.E21.E30.E31 + E12.E13.E22.E30.E31 + E12.  
 E13.E24.E25.E28 + E12.E13.E24.E25.E29 + E12.E13.E24.E25.E33 +  
 E12.E13.E24.E25.E34 + E12.E13.E24.E25.E35 + E12.E13.E26.E30.E31  
 + E12.E13.E27.E30.E31 + E14.E18.E19.E20.E28 + E14.E18.E19.E20.  
 E29 + E14.E18.E19.E20.E33 + E14.E18.E19.E20.E34 + E14.E18.E19.E20.  
 E35 + E14.E24.E25.E30.E31 + E15.E18.E19.E20.E28 + E15.E18.E19.  
 E20.E29 + E15.E18.E19.E20.E33 + E15.E18.E19.E20.E34 + E15.E18.E19.  
 E20.E35 + E15.E24.E25.E30.E31 + E16.E18.E19.E20.E28 + E16.E18.  
 E19.E20.E29 + E16.E18.E19.E20.E33 + E16.E18.E19.E20.E34 + E16.E18.  
 E19.E20.E35 + E16.E24.E25.E30.E31 + E17.E3.E30.E31.E4 + E18.E19.  
 E2.E20.E28 + E18.E19.E2.E20.E29 + E18.E19.E2.E20.E33 + E18.E19.  
 E2.E20.E34 + E18.E19.E2.E20.E35 + E18.E19.E20.E28.E5 + E18.E19.  
 E20.E29.E5 + E18.E19.E20.E33.E5 + E18.E19.E20.E34.E5 + E18.E19.  
 E20.E35.E5 + E2.E24.E25.E30.E31 + E21.E3.E30.E31.E4 + E22.E3.E30.  
 E31.E4 + E24.E25.E28.E3.E4 + E24.E25.E29.E3.E4 + E24.E25.E3.E33.  
 E4 + E24.E25.E3.E34.E4 + E24.E25.E3.E35.E4 + E24.E25.E30.E31.E5  
 + E26.E3.E30.E31.E4 + E27.E3.E30.E31.E4 +

#### Caminos de 6 Eventos:

E10.E11.E24.E25.E8.E9 + E11.E12.E13.E18.E19.E20 + E11.E18.E19.E20.  
 E3.E4 + E12.E13.E18.E19.E20.E28 + E12.E13.E18.E19.E20.E29 + E12.  
 E13.E18.E19.E20.E33 + E12.E13.E18.E19.E20.E34 + E12.E13.E18.E19.  
 E20.E35 + E12.E13.E24.E25.E30.E71 + E14.E18.E19.E20.E70.E31 +  
 E15.E18.E19.E20.E30.E31 + E16.E18.E19.E20.E30.E31 + E18.E19.E2.  
 E20.E30.E31 + E18.E19.E20.E28.E7.E4 + E18.E19.E20.E29.E7.E4 + E18.  
 E19.E20.E3.E33.E4 + E18.E19.E20.E3.E34.E4 + E18.E19.E20.E3.E35.  
 E4 + E18.E19.E20.E30.E71.E5 + E24.E25.E3.E30.E31.E4 +

#### Caminos de 7 Eventos:

E10.E11.E18.E19.E20.E8.E9 + E12.E13.E18.E19.E20.E30.E31 + E18.E19.  
 E20.E3.E30.E31.E4

Probabilidad Total = 3.0772e16647E-03

Importancia de Componentes:

IFV(E26)=	0.5199	26.2222%
IFV(E6)=	0.4223	21.3003%
IFV(E1)=	0.3250	16.3890%
IFV(E16)=	0.1268	6.3950%
IFV(E5)=	0.1268	6.3950%
IFV(E28)=	0.0845	4.2631%
IFV(E29)=	0.0845	4.2631%
IFV(E33)=	0.0845	4.2631%
IFV(E17)=	0.0520	2.6233%
IFV(E24)=	0.0520	2.6233%
IFV(E25)=	0.0520	2.6233%
IFV(E27)=	0.0520	2.6233%
IFV(E14)=	0.0001	0.0064%
IFV(E11)=	8.4532E-05	0.0043%
IFV(E35)=	8.4532E-05	0.0043%
IFV(E15)=	1.2675E-05	0.0006%
IFV(E12)=	1.2608E-06	6.3588E-05%
IFV(E13)=	1.2608E-06	6.3588E-05%
IFV(E2)=	9.0794E-07	4.5790E-05%
IFV(E21)=	5.1604E-07	2.6025E-05%
IFV(E22)=	5.1604E-07	2.6025E-05%
IFV(E30)=	8.1573E-08	4.1140E-06%
IFV(E31)=	8.1573E-08	4.1140E-06%
IFV(E34)=	8.1573E-08	4.1140E-06%
IFV(E10)=	menor 1E-38	menor 1E-38%
IFV(E18)=	menor 1E-38	menor 1E-38%
IFV(E19)=	menor 1E-38	menor 1E-38%
IFV(F20)=	menor 1E-38	menor 1E-38%
IFV(E23)=	menor 1E-38	menor 1E-38%
IFV(E3)=	menor 1E-38	menor 1E-38%
IFV(E32)=	menor 1E-38	menor 1E-38%
IFV(E36)=	menor 1E-38	menor 1E-38%
IFV(E4)=	menor 1E-38	menor 1E-38%
IFV(E7)=	menor 1E-38	menor 1E-38%
IFV(E8)=	menor 1E-38	menor 1E-38%
IFV(E9)=	menor 1E-38	menor 1E-38%

Nos determina la probabilidad de falla total del sistema - analizado "Fallas por Represionamiento de las Esferas de Almacenamiento".

El cual a su vez está formado de los sistemas "falla en el sistema de refrigeración", -- "falla en la unidad de refrigeración" y por el sistema -- "falla en indicadores, alarmas y sistemas de seguridad de la esfera". Como se puede ver en el diagrama AF-5 y en donde se observa que este a su vez es subsistema del sistema total analizado o sea: "Desfogue"

Importancias de los Conjuntos Mínimos de Corte:

IFV(E1)=	0.3250	32.4574%
IFV(E26, E6)=	0.3250	32.4574%
IFV(E17, E6)=	0.0325	3.2457%
IFV(E27, E6)=	0.0325	3.2457%
IFV(E16, E26, E28)=	0.0325	3.2457%
IFV(E16, E26, E29)=	0.0325	3.2457%
IFV(E16, E26, E33)=	0.0325	3.2457%
IFV(E24, E25, E6)=	0.0325	3.2457%
IFV(E26, E28, E5)=	0.0325	3.2457%
IFV(E26, E29, E5)=	0.0325	3.2457%
IFV(E26, E33, E5)=	0.0325	3.2457%

IFV(E16, E17, E26) =	0.0032	0.3246%
IFV(E16, E17, E29) =	0.0032	0.3246%
IFV(E16, E17, E33) =	0.0032	0.3246%
IFV(E16, E27, E28) =	0.0032	0.3246%
IFV(E16, E27, E29) =	0.0032	0.3246%
IFV(E16, E27, E33) =	0.0032	0.3246%
IFV(E17, E28, E5) =	0.0032	0.3246%
IFV(E17, E29, E5) =	0.0032	0.3246%
IFV(E17, E33, E5) =	0.0032	0.3246%
IFV(E27, E28, E5) =	0.0032	0.3246%
IFV(E27, E29, E5) =	0.0032	0.3246%
IFV(E27, E33, E5) =	0.0032	0.3246%
IFV(E24, E25, E28, E5) =	0.0032	0.3246%
IFV(E24, E25, E29, E5) =	0.0032	0.3246%
IFV(E24, E25, E33, E5) =	0.0032	0.3246%
IFV(E16, E24, E25, E28) =	0.0032	0.3246%
IFV(E16, E24, E25, E29) =	0.0032	0.3246%
IFV(E16, E24, E25, E33) =	0.0032	0.3246%
IFV(E14, E26, E26) =	3.2496E-05	0.0032%
IFV(E14, E26, E29) =	3.2496E-05	0.0032%
IFV(E14, E26, E33) =	3.2496E-05	0.0032%
IFV(E11, E16, E26) =	3.2496E-05	0.0032%
IFV(E11, E26, E5) =	3.2496E-05	0.0032%
IFV(E16, E26, E35) =	3.2496E-05	0.0032%
IFV(E26, E25, E5) =	3.2496E-05	0.0032%
IFV(E11, E17, E5) =	3.2496E-06	0.0003%
IFV(E11, E27, E5) =	3.2496E-06	0.0003%
IFV(E16, E17, E35) =	3.2496E-06	0.0003%
IFV(E16, E27, E35) =	3.2496E-06	0.0003%
IFV(E17, E35, E5) =	3.2496E-06	0.0003%
IFV(E27, E35, E5) =	3.2496E-06	0.0003%
IFV(E11, E16, E17) =	3.2496E-06	0.0003%
IFV(E11, E16, E27) =	3.2496E-06	0.0003%
IFV(E14, E17, E28) =	3.2496E-06	0.0003%
IFV(E14, E17, E29) =	3.2496E-06	0.0003%
IFV(E14, E17, E33) =	3.2496E-06	0.0003%
IFV(E14, E27, E28) =	3.2496E-06	0.0003%
IFV(E14, E27, E29) =	3.2496E-06	0.0003%
IFV(E14, E27, E33) =	3.2496E-06	0.0003%
IFV(E15, E26, E28) =	3.2496E-06	0.0003%
IFV(E15, E26, E29) =	3.2496E-06	0.0003%
IFV(E15, E26, E33) =	3.2496E-06	0.0003%
IFV(E16, E24, E25, E35) =	3.2496E-06	0.0003%
IFV(E11, E16, E24, E15) =	3.2496E-06	0.0003%
IFV(E11, E24, E25, E5) =	3.2496E-06	0.0003%
IFV(E14, E24, E25, E28) =	3.2496E-06	0.0003%
IFV(E14, E24, E25, E29) =	3.2496E-06	0.0003%
IFV(E14, E24, E25, E33) =	3.2496E-06	0.0003%
IFV(E24, E25, E35, E5) =	3.2496E-06	0.0003%
IFV(E21, E6) =	3.2457E-07	3.2457E-05%
IFV(E22, E6) =	3.2457E-07	3.2457E-05%
IFV(E15, E17, E28) =	3.2496E-07	3.2457E-05%
IFV(E15, E17, E29) =	3.2496E-07	3.2457E-05%

IFV(E15, E17, E33) =	3.2496E-07	3.2457E-05%
IFV(E15, E27, E28) =	3.2496E-07	3.2457E-05%
IFV(E15, E27, E29) =	3.2496E-07	3.2457E-05%
IFV(E15, E27, E33) =	3.2496E-07	3.2457E-05%
IFV(E12, E13, E26, E28) =	3.2496E-07	3.2457E-05%
IFV(E12, E13, E26, E29) =	3.2496E-07	3.2457E-05%
IFV(E12, E13, E26, E33) =	3.2496E-07	3.2457E-05%
IFV(E15, E24, E25, E28) =	3.2496E-07	3.2457E-05%
IFV(E15, E24, E25, E29) =	3.2496E-07	3.2457E-05%
IFV(E15, E24, E25, E33) =	3.2496E-07	3.2457E-05%
IFV(E2, E26, E28) =	2.3397E-07	2.3369E-05%
IFV(E2, E26, E29) =	2.3397E-07	2.3369E-05%
IFV(E2, E26, E33) =	2.3397E-07	2.3369E-05%
IFV(E11, E14, E26) =	3.2496E-06	3.2457E-06%
IFV(E14, E26, E28) =	3.2496E-06	3.2457E-06%
IFV(E16, E21, E26) =	3.2496E-08	3.2457E-06%
IFV(E16, E21, E29) =	3.2496E-08	3.2457E-06%
IFV(E16, E21, E33) =	3.2496E-08	3.2457E-06%
IFV(E16, E22, E28) =	3.2496E-08	3.2457E-06%
IFV(E16, E22, E29) =	3.2496E-08	3.2457E-06%
IFV(E16, E22, E33) =	3.2496E-08	3.2457E-06%
IFV(E16, E26, E34) =	3.2496E-08	3.2457E-06%
IFV(E21, E28, E5) =	3.2496E-08	3.2457E-06%
IFV(E21, E29, E5) =	3.2496E-08	3.2457E-06%
IFV(E21, E33, E5) =	3.2496E-08	3.2457E-06%
IFV(E22, E28, E5) =	3.2496E-08	3.2457E-06%
IFV(E22, E29, E5) =	3.2496E-08	3.2457E-06%
IFV(E22, E33, E5) =	3.2496E-08	3.2457E-06%
IFV(E26, E34, E5) =	3.2496E-08	3.2457E-06%
IFV(E12, E13, E17, E28) =	3.2496E-08	3.2457E-06%
IFV(E12, E13, E17, E29) =	3.2496E-08	3.2457E-06%
IFV(E12, E13, E17, E33) =	3.2496E-08	3.2457E-06%
IFV(E12, E13, E27, E28) =	3.2496E-08	3.2457E-06%
IFV(E12, E13, E27, E29) =	3.2496E-08	3.2457E-06%
IFV(E12, E13, E27, E33) =	3.2496E-08	3.2457E-06%
IFV(E16, E26, E30, E31) =	3.2496E-08	3.2457E-06%
IFV(E26, E30, E31, E5) =	3.2496E-08	3.2457E-06%
IFV(E12, E13, E24, E25, E28) =	3.2496E-08	3.2457E-06%
IFV(E12, E13, E24, E25, E29) =	3.2496E-08	3.2457E-06%
IFV(E12, E13, E24, E25, E33) =	3.2496E-08	3.2457E-06%
IFV(E17, E2, E28) =	2.3397E-08	2.3369E-06%
IFV(E17, E2, E29) =	2.3397E-08	2.3369E-06%
IFV(E17, E2, E33) =	2.3397E-08	2.3369E-06%
IFV(E2, E27, E28) =	2.3397E-08	2.3369E-06%
IFV(E2, E27, E29) =	2.3397E-08	2.3369E-06%
IFV(E2, E27, E33) =	2.3397E-08	2.3369E-06%
IFV(E2, E24, E25, E28) =	2.3397E-08	2.3369E-06%
IFV(E2, E24, E25, E29) =	2.3397E-08	2.3369E-06%
IFV(E2, E24, E25, E33) =	2.3397E-08	2.3369E-06%
IFV(E11, E14, E17) =	3.2496E-09	3.2457E-07%
IFV(E11, E14, E27) =	3.2496E-09	3.2457E-07%

IFV(E11, E15, E26) =	3.2496E-09	3.2457E-07%
IFV(E14, E17, E35) =	3.2496E-09	3.2457E-07%
IFV(E14, E27, E35) =	3.2496E-09	3.2457E-07%
IFV(E15, E26, E35) =	3.2496E-09	3.2457E-07%
IFV(E16, E17, E34) =	3.2496E-09	3.2457E-07%
IFV(E16, E27, E34) =	3.2496E-09	3.2457E-07%
IFV(E17, E34, E5) =	3.2496E-09	3.2457E-07%
IFV(E27, E34, E5) =	3.2496E-09	3.2457E-07%
IFV(E11, E14, E24, E25) =	3.2496E-09	3.2457E-07%
IFV(E16, E17, E30, E31) =	3.2496E-09	3.2457E-07%
IFV(E16, E27, E30, E31) =	3.2496E-09	3.2457E-07%
IFV(E17, E30, E31, E5) =	3.2496E-09	3.2457E-07%
IFV(E24, E25, E34, E5) =	3.2496E-09	3.2457E-07%
IFV(E27, E30, E31, E5) =	3.2496E-09	3.2457E-07%
IFV(E14, E24, E25, E35) =	3.2496E-09	3.2457E-07%
IFV(E16, E24, E25, E34) =	3.2496E-09	3.2457E-07%
IFV(E16, E24, E25, E30, E31) =	3.2496E-09	3.2457E-07%
IFV(E24, E25, E30, E31, E5) =	3.2496E-09	3.2457E-07%
IFV(E11, E15, E17) =	3.2496E-10	3.2457E-08%
IFV(E11, E15, E27) =	3.2496E-10	3.2457E-08%
IFV(E15, E17, E35) =	3.2496E-10	3.2457E-08%
IFV(E15, E27, E35) =	3.2496E-10	3.2457E-08%
IFV(E11, E15, E24, E25) =	3.2496E-10	3.2457E-08%
IFV(E11, E12, E13, E26) =	3.2496E-10	3.2457E-08%
IFV(E12, E13, E26, E35) =	3.2496E-10	3.2457E-08%
IFV(E15, E24, E25, E35) =	3.2496E-10	3.2457E-08%
IFV(E11, E2, E26) =	2.3397E-10	2.3269E-08%
IFV(E2, E26, E35) =	2.3397E-10	2.3269E-08%
IFV(E14, E21, E28) =	3.2496E-11	3.2457E-09%
IFV(E14, E21, E29) =	3.2496E-11	3.2457E-09%
IFV(E14, E21, E33) =	3.2496E-11	3.2457E-09%
IFV(E14, E22, E28) =	3.2496E-11	3.2457E-09%
IFV(E14, E22, E29) =	3.2496E-11	3.2457E-09%
IFV(E14, E22, E33) =	3.2496E-11	3.2457E-09%
IFV(E14, E26, E34) =	3.2496E-11	3.2457E-09%
IFV(E16, E21, E35) =	3.2496E-11	3.2457E-09%
IFV(E16, E22, E35) =	3.2496E-11	3.2457E-09%
IFV(E11, E16, E21) =	3.2496E-11	3.2457E-09%
IFV(E11, E16, E22) =	3.2496E-11	3.2457E-09%
IFV(E11, E21, E5) =	3.2496E-11	3.2457E-09%
IFV(E11, E22, E5) =	3.2496E-11	3.2457E-09%
IFV(E21, E35, E5) =	3.2496E-11	3.2457E-09%
IFV(E22, E75, E5) =	3.2496E-11	3.2457E-09%
IFV(E14, E26, E30, E31) =	3.2496E-11	3.2457E-09%
IFV(E26, E28, E3, E4) =	3.2496E-11	3.2457E-09%
IFV(E26, E29, E3, E4) =	3.2496E-11	3.2457E-09%
IFV(E11, E12, E13, E17) =	3.2496E-11	3.2457E-09%
IFV(E11, E12, E13, E27) =	3.2496E-11	3.2457E-09%
IFV(E12, E13, E17, E35) =	3.2496E-11	3.2457E-09%
IFV(E12, E13, E27, E35) =	3.2496E-11	3.2457E-09%
IFV(E26, E3, E33, E4) =	3.2496E-11	3.2457E-09%
IFV(E11, E12, E13, E24, E25) =	3.2496E-11	3.2457E-09%
IFV(E12, E13, E24, E25, E35) =	3.2496E-11	3.2457E-09%

IFV(E11, E17, E2) =	2.3397E-11	2.3369E-09%
IFV(E11, E2, E27) =	2.3397E-11	2.3369E-09%
IFV(E17, E2, E35) =	2.3397E-11	2.3369E-09%
IFV(E2, E27, E35) =	2.3397E-11	2.3369E-09%
IFV(E11, E2, E24, E25) =	2.3397E-11	2.3369E-09%
IFV(E2, E24, E25, E35) =	2.3397E-11	2.3369E-09%
IFV(E14, E17, E34) =	3.2496E-12	3.2457E-10%
IFV(E14, E27, E34) =	3.2496E-12	3.2457E-10%
IFV(E15, E26, E34) =	3.2496E-12	3.2457E-10%
IFV(E15, E21, E28) =	3.2496E-12	3.2457E-10%
IFV(E15, E21, E29) =	3.2496E-12	3.2457E-10%
IFV(E15, E21, E33) =	3.2496E-12	3.2457E-10%
IFV(E15, E22, E28) =	3.2496E-12	3.2457E-10%
IFV(E15, E22, E29) =	3.2496E-12	3.2457E-10%
IFV(E15, E22, E33) =	3.2496E-12	3.2457E-10%
IFV(E17, E28, E3, E4) =	3.2496E-12	3.2457E-10%
IFV(E17, E29, E3, E4) =	3.2496E-12	3.2457E-10%
IFV(E17, E3, E33, E4) =	3.2496E-12	3.2457E-10%
IFV(E27, E28, E3, E4) =	3.2496E-12	3.2457E-10%
IFV(E27, E29, E3, E4) =	3.2496E-12	3.2457E-10%
IFV(E27, E3, E33, E4) =	3.2496E-12	3.2457E-10%
IFV(E14, E17, E30, E31) =	3.2496E-12	3.2457E-10%
IFV(E14, E24, E25, E34) =	3.2496E-12	3.2457E-10%
IFV(E14, E27, E30, E31) =	3.2496E-12	3.2457E-10%
IFV(E15, E26, E30, E31) =	3.2496E-12	3.2457E-10%
IFV(E24, E25, E28, E3, E4) =	3.2496E-12	3.2457E-10%
IFV(E24, E25, E29, E3, E4) =	3.2496E-12	3.2457E-10%
IFV(E14, E24, E25, E30, E31) =	3.2496E-12	3.2457E-10%
IFV(E24, E25, E3, E33, E4) =	3.2496E-12	3.2457E-10%
IFV(E15, E17, E34) =	3.2496E-13	3.2457E-11%
IFV(E15, E27, E34) =	3.2496E-13	3.2457E-11%
IFV(E15, E17, E30, E31) =	3.2496E-13	3.2457E-11%
IFV(E15, E27, E30, E31) =	3.2496E-13	3.2457E-11%
IFV(E12, E13, E26, E34) =	3.2496E-13	3.2457E-11%
IFV(E15, E24, E25, E34) =	3.2496E-13	3.2457E-11%
IFV(E12, E13, E21, E28) =	3.2496E-13	3.2457E-11%
IFV(E12, E13, E21, E29) =	3.2496E-13	3.2457E-11%
IFV(E12, E13, E21, E33) =	3.2496E-13	3.2457E-11%
IFV(E12, E13, E22, E28) =	3.2496E-13	3.2457E-11%
IFV(E12, E13, E22, E29) =	3.2496E-13	3.2457E-11%
IFV(E12, E13, E22, E33) =	3.2496E-13	3.2457E-11%
IFV(E18, E19, E20, E6) =	3.2496E-13	3.2457E-11%
IFV(E12, E13, E26, E30, E31) =	3.2496E-13	3.2457E-11%
IFV(E15, E24, E25, E30, E31) =	3.2496E-13	3.2457E-11%
IFV(E2, E21, E28) =	2.3397E-13	2.3369E-11%
IFV(E2, E21, E29) =	2.3397E-13	2.3369E-11%
IFV(E2, E21, E33) =	2.3397E-13	2.3369E-11%
IFV(E2, E22, E28) =	2.3397E-13	2.3369E-11%
IFV(E2, E22, E29) =	2.3397E-13	2.3369E-11%
IFV(E2, E22, E33) =	2.3397E-13	2.3369E-11%
IFV(E2, E26, E34) =	2.3397E-13	2.3369E-11%
IFV(E2, E26, E30, E31) =	2.3397E-13	2.3369E-11%
IFV(E11, E14, E21) =	3.2496E-14	3.2457E-12%



IFV(E11, E14, E22) =	3. 2496E-14	3. 2457E-12X
IFV(E14, E21, E35) =	3. 2496E-14	3. 2457E-12X
IFV(E14, E22, E35) =	3. 2496E-14	3. 2457E-12X
IFV(E16, E21, E34) =	3. 2496E-14	3. 2457E-12X
IFV(E16, E22, E34) =	3. 2496E-14	3. 2457E-12X
IFV(E21, E24, E5) =	3. 2496E-14	3. 2457E-12X
IFV(E22, E24, E5) =	3. 2496E-14	3. 2457E-12X
IFV(E16, E21, E30, E31) =	3. 2496E-14	3. 2457E-12X
IFV(E16, E22, E30, E31) =	3. 2496E-14	3. 2457E-12X
IFV(E21, E30, E31, E5) =	3. 2496E-14	3. 2457E-12X
IFV(E22, E30, E31, E5) =	3. 2496E-14	3. 2457E-12X
IFV(E11, E26, E3, E4) =	3. 2496E-14	3. 2457E-12X
IFV(E12, E13, E17, E34) =	3. 2496E-14	3. 2457E-12X
IFV(E12, E13, E27, E34) =	3. 2496E-14	3. 2457E-12X
IFV(E26, E3, E15, E4) =	3. 2496E-14	3. 2457E-12X
IFV(E16, E18, E19, E20, E28) =	3. 2496E-14	3. 2457E-12X
IFV(E16, E18, E19, E20, E29) =	3. 2496E-14	3. 2457E-12X
IFV(E16, E18, E19, E20, E33) =	3. 2496E-14	3. 2457E-12X
IFV(E12, E13, E17, E30, E31) =	3. 2496E-14	3. 2457E-12X
IFV(E12, E13, E24, E25, E34) =	3. 2496E-14	3. 2457E-12X
IFV(E12, E13, E27, E30, E31) =	3. 2496E-14	3. 2457E-12X
IFV(E18, E19, E20, E28, E5) =	3. 2496E-14	3. 2457E-12X
IFV(E18, E19, E20, E29, E5) =	3. 2496E-14	3. 2457E-12X
IFV(E18, E19, E20, E33, E5) =	3. 2496E-14	3. 2457E-12X
IFV(E12, E13, E24, E25, E30, E31) =	3. 2496E-14	3. 2457E-12X
IFV(E17, E2, E34) =	2. 3397E-14	2. 3369E-12X
IFV(E2, E27, E34) =	2. 3397E-14	2. 3369E-12X
IFV(E17, E2, E30, E31) =	2. 3397E-14	2. 3369E-12X
IFV(E2, E24, E25, E34) =	2. 3397E-14	2. 3369E-12X
IFV(E2, E27, E30, E31) =	2. 3397E-14	2. 3369E-12X
IFV(E2, E24, E25, E30, E31) =	2. 3397E-14	2. 3369E-12X
IFV(E11, E15, E21) =	3. 2496E-15	3. 2457E-13X
IFV(E11, E15, E22) =	3. 2496E-15	3. 2457E-13X
IFV(E15, E21, E35) =	3. 2496E-15	3. 2457E-13X
IFV(E15, E22, E35) =	3. 2496E-15	3. 2457E-13X
IFV(E11, E17, E3, E4) =	3. 2496E-15	3. 2457E-13X
IFV(E11, E27, E3, E4) =	3. 2496E-15	3. 2457E-13X
IFV(E17, E3, E35, E4) =	3. 2496E-15	3. 2457E-13X
IFV(E27, E3, E15, E4) =	3. 2496E-15	3. 2457E-13X
IFV(E11, E24, E25, E3, E4) =	3. 2496E-15	3. 2457E-13X
IFV(E24, E25, E3, E35, E4) =	3. 2496E-15	3. 2457E-13X
IFV(E11, E12, E13, E21) =	3. 2496E-16	3. 2457E-14X
IFV(E11, E12, E13, E22) =	3. 2496E-16	3. 2457E-14X
IFV(E12, E13, E21, E35) =	3. 2496E-16	3. 2457E-14X
IFV(E12, E13, E22, E35) =	3. 2496E-16	3. 2457E-14X
IFV(E11, E2, E21) =	2. 3397E-16	2. 3369E-14X
IFV(E11, E2, E22) =	2. 3397E-16	2. 3369E-14X
IFV(E2, E21, E35) =	2. 3397E-16	2. 3369E-14X
IFV(E2, E22, E35) =	2. 3397E-16	2. 3369E-14X
IFV(E14, E21, E34) =	3. 2496E-17	3. 2457E-15X
IFV(E14, E22, E34) =	3. 2496E-17	3. 2457E-15X

IFV(E14.E21.E30.E31)=	3.2496E-17	3.2457E-15%
IFV(E14.E22.E30.E31)=	3.2496E-17	3.2457E-15%
IFV(E26.E3.E34.E4)=	3.2496E-17	3.2457E-15%
IFV(E21.E28.E7.E4)=	3.2496E-17	3.2457E-15%
IFV(E21.E29.E3.E4)=	3.2496E-17	3.2457E-15%
IFV(E21.E3.E33.E4)=	3.2496E-17	3.2457E-15%
IFV(E22.E28.E3.E4)=	3.2496E-17	3.2457E-15%
IFV(E22.E29.E3.E4)=	3.2496E-17	3.2457E-15%
IFV(E22.E3.E33.E4)=	3.2496E-17	3.2457E-15%
IFV(E11.E18.E19.E20.E5)=	3.2496E-17	3.2457E-15%
IFV(E16.E18.E19.E20.E35)=	3.2496E-17	3.2457E-15%
IFV(E10.E11.E26.E8.E9)=	3.2496E-17	3.2457E-15%
IFV(E11.E16.E18.E19.E20)=	3.2496E-17	3.2457E-15%
IFV(E14.E18.E19.E20.E28)=	3.2496E-17	3.2457E-15%
IFV(E14.E18.E19.E20.E29)=	3.2496E-17	3.2457E-15%
IFV(E14.E18.E19.E20.E33)=	3.2496E-17	3.2457E-15%
IFV(E18.E19.E20.E35.E5)=	3.2496E-17	3.2457E-15%
IFV(E26.E3.E30.E31.E4)=	3.2496E-17	3.2457E-15%
IFV(E15.E21.E34)=	3.2496E-18	3.2457E-16%
IFV(E15.E22.E34)=	3.2496E-18	3.2457E-16%
IFV(E17.E3.E34.E4)=	3.2496E-18	3.2457E-16%
IFV(E27.E3.E34.E4)=	3.2496E-18	3.2457E-16%
IFV(E17.E3.E30.E31.E4)=	3.2496E-18	3.2457E-16%
IFV(E27.E3.E30.E31.E4)=	3.2496E-18	3.2457E-16%
IFV(E15.E21.E30.E31)=	3.2496E-18	3.2457E-16%
IFV(E15.E22.E30.E31)=	3.2496E-18	3.2457E-16%
IFV(E15.E18.E19.E20.E28)=	3.2496E-18	3.2457E-16%
IFV(E15.E18.E19.E20.E29)=	3.2496E-18	3.2457E-16%
IFV(E15.E18.E19.E20.E33)=	3.2496E-18	3.2457E-16%
IFV(E24.E25.E3.E34.E4)=	3.2496E-18	3.2457E-16%
IFV(E10.E11.E17.E8.E9)=	3.2496E-18	3.2457E-16%
IFV(E10.E11.E27.E8.E9)=	3.2496E-18	3.2457E-16%
IFV(E10.E11.E24.E25.E8.E9)=	3.2496E-18	3.2457E-16%
IFV(E24.E25.E3.E30.E31.E4)=	3.2496E-18	3.2457E-16%
IFV(E12.E13.E21.E34)=	3.2496E-19	3.2457E-17%
IFV(E12.E13.E22.E34)=	3.2496E-19	3.2457E-17%
IFV(E12.E13.E21.E30.E31)=	3.2496E-19	3.2457E-17%
IFV(E12.E13.E22.E30.E31)=	3.2496E-19	3.2457E-17%
IFV(E12.E13.E18.E19.E20.E28)=	3.2496E-19	3.2457E-17%
IFV(E12.E13.E18.E19.E20.E29)=	3.2496E-19	3.2457E-17%
IFV(E12.E13.E18.E19.E20.E33)=	3.2496E-19	3.2457E-17%
IFV(E2.E21.E34)=	2.3397E-19	2.3369E-17%
IFV(E2.E22.E34)=	2.3397E-19	2.3369E-17%
IFV(E2.E21.E30.E31)=	2.3397E-19	2.3369E-17%
IFV(E2.E22.E30.E31)=	2.3397E-19	2.3369E-17%
IFV(E18.E19.E2.E20.E28)=	2.3397E-19	2.3369E-17%
IFV(E18.E19.E2.E20.E29)=	2.3397E-19	2.3369E-17%
IFV(E18.E19.E2.E20.E33)=	2.3397E-19	2.3369E-17%
IFV(E11.E21.E3.E4)=	3.2496E-20	3.2457E-18%
IFV(E11.E22.E3.E4)=	3.2496E-20	3.2457E-18%
IFV(E21.E3.E35.E4)=	3.2496E-20	3.2457E-18%
IFV(E22.E3.E35.E4)=	3.2496E-20	3.2457E-18%
IFV(E11.E14.E18.E19.E20)=	3.2496E-20	3.2457E-18%

IFV(E14, E18, E19, E20, E35) =	3.2496E-20	3.2457E-18%
IFV(E16, E18, E19, E20, E34) =	3.2496E-20	3.2457E-18%
IFV(E18, E19, E20, E34, E5) =	3.2496E-20	3.2457E-18%
IFV(E16, E18, E19, E20, E31) =	3.2496E-20	3.2457E-18%
IFV(E18, E19, E20, E30, E31, E5) =	3.2496E-20	3.2457E-18%
IFV(E11, E15, E18, E19, E20) =	3.2496E-21	3.2457E-19%
IFV(E15, E18, E19, E20, E35) =	3.2496E-21	3.2457E-19%
IFV(E11, E12, E13, E18, E19, E20) =	3.2496E-22	3.2457E-20%
IFV(E12, E13, E18, E19, E20, E35) =	3.2496E-22	3.2457E-20%
IFV(E11, E18, E19, E2, E20) =	2.3397E-22	2.3369E-20%
IFV(E18, E19, E2, E20, E35) =	2.3397E-22	2.3369E-20%
IFV(E21, E3, E34, E4) =	3.2496E-23	3.2457E-21%
IFV(E22, E3, E34, E4) =	3.2496E-23	3.2457E-21%
IFV(E14, E18, E19, E20, E34) =	3.2496E-23	3.2457E-21%
IFV(E21, E3, E30, E31, E4) =	3.2496E-23	3.2457E-21%
IFV(E22, E3, E30, E31, E4) =	3.2496E-23	3.2457E-21%
IFV(E10, E11, E21, E8, E9) =	3.2496E-23	3.2457E-21%
IFV(E10, E11, E22, E8, E9) =	3.2496E-23	3.2457E-21%
IFV(E14, E18, E19, E20, E30, E31) =	3.2496E-23	3.2457E-21%
IFV(E18, E19, E20, E28, E3, E4) =	3.2496E-23	3.2457E-21%
IFV(E18, E19, E20, E29, E3, E4) =	3.2496E-23	3.2457E-21%
IFV(E18, E19, E20, E3, E33, E4) =	3.2496E-23	3.2457E-21%
IFV(E15, E18, E19, E20, E34) =	3.2496E-24	3.2457E-22%
IFV(E15, E18, E19, E20, E30, E31) =	3.2496E-24	3.2457E-22%
IFV(E12, E13, E18, E19, E20, E34) =	3.2496E-25	3.2457E-23%
IFV(E12, E13, E18, E19, E20, E30, E31) =	3.2496E-25	3.2457E-23%
IFV(E18, E19, E2, E20, E34) =	2.3397E-25	2.3369E-23%
IFV(E18, E19, E2, E20, E30, E31) =	2.3397E-25	2.3369E-23%
IFV(E11, E18, E19, E20, E3, E4) =	3.2496E-26	3.2457E-24%
IFV(E18, E19, E20, E3, E35, E4) =	3.2496E-26	3.2457E-24%
IFV(E18, E19, E20, E3, E34, E4) =	3.2496E-29	3.2457E-27%
IFV(E18, E19, E20, E3, E30, E31, E4) =	3.2496E-29	3.2457E-27%
IFV(E10, E11, E18, E19, E20, E8, E9) =	3.2496E-29	3.2457E-27%

## 5.11

## ARBOL DE FALLAS POR FUEGO.

Ecuaciones del Arbol:

Ecuación 1:  $A2 = G38 + E37 + E38 + E39 + G40 + E42$ Ecuación 2:  $G38 = E40 + E2 + G39$ Ecuación 3:  $G39 = E41, E21$ Ecuación 4:  $G40 = E43 + E44$ 

Expresión Simplificada:

Caminos de 1 Evento:

 $E2 + E37 + E38 + E39 + E40 + E42 + E43 + E44 +$ 

Caminos de 2 Eventos:

 $E21, E41$ 

Análisis de Importancias

Fussell-Vesely

Probabilidad Topo =  $5.946200E021E-02$ 

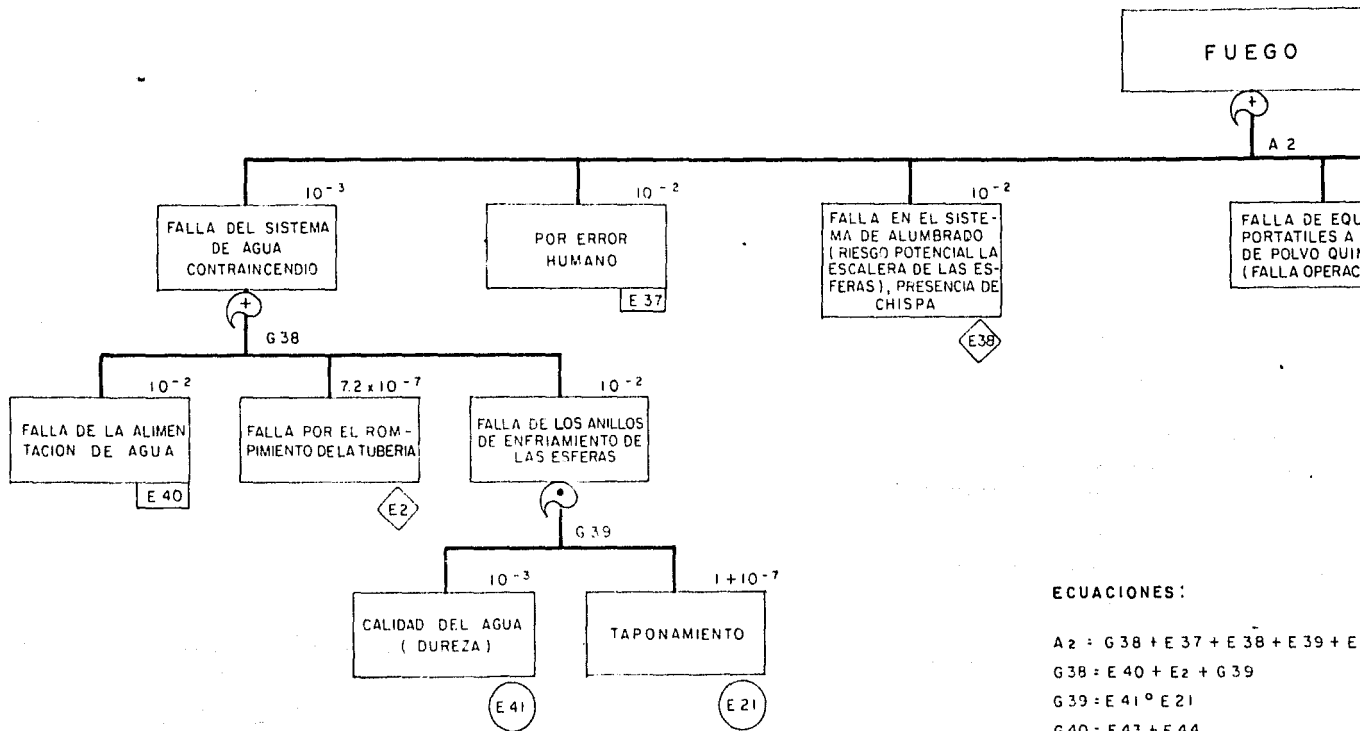
Nos determina la probabilidad total de falla del sistema -- analizado. "Fallas por Fuego" que como se puede ver en el diagrama AF-5 es subsistema - del sistema total de fallas: "Desfogue"

Importancia de Componentes:

IFV(E37)=	0.1682	16.3932%
IFV(E38)=	0.1682	16.3932%
IFV(E40)=	0.1682	16.3932%
IFV(E42)=	0.1682	16.3932%
IFV(E43)=	0.1682	16.3932%
IFV(E44)=	0.1682	16.3932%
IFV(E39)=	0.0168	1.6393%
IFV(E2)=	1.2109E-05	0.0012%
IFV(E21)=	1.6519E-09	1.6102E-07%
IFV(E41)=	1.6519E-09	1.6102E-07%

Importancias de los Conjuntos Mínimos de Corte:

IFV(E37)=	0.1682	16.3932%
IFV(E38)=	0.1682	16.3932%
IFV(E40)=	0.1682	16.3932%
IFV(E42)=	0.1682	16.3932%
IFV(E43)=	0.1682	16.3932%
IFV(E44)=	0.1682	16.3932%
IFV(E39)=	0.0168	1.6393%
IFV(E2)=	1.2109E-05	0.0012%
IFV(E21, E41)=	1.6817E-09	1.6393E-07%



FUEGO



A 2

$10^{-3}$

FALLA DE EQUIPOS  
PORTATILES A BASE  
DE POLVO QUIMICO  
(FALLA OPERACIONAL)

E39

$10^{-2}$

FALLA DE LOS DE -  
TECTORES DE FLAMA

E42

$10^{-2}$

POR FUGAS EN LAS  
ESFERAS



G40

$10^{-2}$

FALLA DE DETECTO -  
RES DE GAS

E43

$10^{-2}$

FALLA DE FUGAS  
EN LAS ESFERAS

E44

IONES:

38 + E37 + E38 + E39 + E40 + E42

40 + E2 + G39

41 + E21

43 + E44

MAESTRIA EN INGENIERIA DE PROY	DIB			ARBOL DE FALLAS POR FUEGO
UNAM	PROY	A C H R		
FACULTAD DE QUIMICA	ESC. -	ACOT. SIN	CD. MADERO, TAMPS	REV. 0
ELABORADO EN MEXICO, D.F.			AF - 4	

5.12

## ARBOL TOTAL DE FALLAS.

Ecuaciones del Arbol:

- Ecuación 1:  $T=A1+A2$   
 Ecuación 2:  $A2=G38+E37+E38+E39+G40+E42$   
 Ecuación 3:  $G38=E40+E2+G39$   
 Ecuación 4:  $G39=E41.E21$   
 Ecuación 5:  $G40=E43+E44$   
 Ecuación 6:  $A1=T1.T2.T3$   
 Ecuación 7:  $T1=G2+G3+G4$   
 Ecuación 8:  $G2=G5+E1$   
 Ecuación 9:  $G5=G6+E2+G7$   
 Ecuación 10:  $G6=E16+E1+G8$   
 Ecuación 11:  $G7=E3.E4$   
 Ecuación 12:  $G8=E5+E6$   
 Ecuación 13:  $G3=G9+G14+G16$   
 Ecuación 14:  $G9=G10+E2$   
 Ecuación 15:  $G10=G11.E7$   
 Ecuación 16:  $G11=G12+E2$   
 Ecuación 17:  $G12=E16+E1+G13$   
 Ecuación 18:  $G13=E5+E6$   
 Ecuación 19:  $G14=E8.G15.E9$   
 Ecuación 20:  $G15=E10.E11$   
 Ecuación 21:  $G16=G17+G19$   
 Ecuación 22:  $G17=G18.E16.E1$   
 Ecuación 23:  $G18=E5+E6$   
 Ecuación 24:  $G19=E12.G20$   
 Ecuación 25:  $G20=E13$   
 Ecuación 26:  $G4=E14+E15$   
 Ecuación 27:  $T2=G21+G22+G23+G24$   
 Ecuación 28:  $G21=E17.E1$   
 Ecuación 29:  $G22=G25+G26$   
 Ecuación 30:  $G25=E18.E19.E20$   
 Ecuación 31:  $G26=E18.E19.E20$   
 Ecuación 32:  $G23=G27+E1+E17$   
 Ecuación 33:  $G27=E21+E22$   
 Ecuación 34:  $G24=G28+G29+G30$   
 Ecuación 35:  $G28=E22.E23$   
 Ecuación 36:  $G29=E24.E25$   
 Ecuación 37:  $G30=E26+E27$   
 Ecuación 38:  $T3=G31+G32+G33+G34+G35+G36$   
 Ecuación 39:  $G31=G37+E28$   
 Ecuación 40:  $G37=E1$   
 Ecuación 41:  $G32=E29+E6$   
 Ecuación 42:  $G33=E30.E31$   
 Ecuación 43:  $G34=E32.E1$   
 Ecuación 44:  $G35=E33+E34+E35+E11$   
 Ecuación 45:  $G36=E36.E1$

Expresión Simplificada:

Caminos de 1 Evento:

E1 + E2 + E37 + E38 + E39 + E40 + E42 + E43 + E44 +

**Caminos de 2 Eventos:**

E17.E2 + E21.E41 + E21.E2 + E22.E2 + E22.E2 + E27.E2 +

**Caminos de 3 Eventos:**

E11.E14.E17 + E11.E14.E21 + E11.E14.E22 + E11.E14.E26 + E11.E14.E27 + E11.E15.E17 + E11.E15.E21 + E11.E15.E22 + E11.E15.E26 + E11.E15.E27 + E11.E16.E17 + E11.E16.E21 + E11.E16.E22 + E11.E16.E26 + E11.E16.E27 + E11.E17.E5 + E11.E21.E5 + E11.E22.E5 + E11.E26.E5 + E11.E27.E5 + E14.E17.E23 + E14.E17.E27 + E14.E17.E28 + E14.E17.E24 + E14.E17.E25 + E14.E21.E23 + E14.E21.E29 + E14.E21.E33 + E14.E21.E24 + E14.E21.E25 + E14.E21.E28 + E14.E22.E29 + E14.E22.E73 + E14.E22.E74 + E14.E22.E25 + E14.E22.E28 + E14.E26.E27 + E14.E26.E24 + E14.E26.E25 + E14.E27.E28 + E14.E27.E29 + E14.E27.E77 + E14.E27.E24 + E14.E27.E25 + E15.E17.E26 + E15.E17.E24 + E15.E17.E25 + E15.E17.E28 + E15.E21.E29 + E15.E21.E27 + E15.E21.E24 + E15.E21.E25 + E15.E22.E28 + E15.E22.E29 + E15.E22.E24 + E15.E22.E34 + E15.E22.E25 + E15.E26.E28 + E15.E26.E29 + E15.E26.E25 + E15.E26.E26 + E15.E27.E26 + E15.E27.E29 + E15.E27.E33 + E15.E27.E24 + E15.E27.E25 + E16.E17.E28 + E16.E17.E29 + E16.E17.E33 + E16.E17.E34 + E16.E17.E25 + E16.E21.E28 + E16.E21.E29 + E16.E21.E33 + E16.E21.E34 + E16.E21.E25 + E16.E22.E28 + E16.E22.E29 + E16.E22.E33 + E16.E22.E34 + E16.E22.E35 + E16.E26.E28 + E16.E26.E29 + E16.E26.E33 + E16.E26.E34 + E16.E26.E35 + E16.E27.E28 + E16.E27.E29 + E16.E27.E33 + E16.E27.E34 + E16.E27.E35 + E17.E28.E5 + E17.E29.E5 + E17.E33.E5 + E17.E34.E5 + E17.E35.E5 + E21.E29.E5 + E21.E33.E5 + E21.E34.E5 + E21.E35.E5 + E22.E28.E5 + E22.E29.E5 + E22.E33.E5 + E22.E34.E5 + E22.E35.E5 + E24.E25.E6 + E26.E28.E5 + E26.E29.E5 + E26.E33.E5 + E26.E34.E5 + E26.E35.E5 + E27.E28.E5 + E27.E29.E5 + E27.E33.E5 + E27.E34.E5 + E27.E35.E5 +

**Caminos de 4 Eventos:**

E11.E12.E13.E17 + E11.E12.E13.E21 + E11.E12.E13.E22 + E11.E12.E13.E26 + E11.E12.E13.E27 + E11.E14.E24.E25 + E11.E15.E24.E25 + E11.E16.E24.E25 + E11.E17.E2.E4 + E11.E21.E2.E4 + E11.E22.E3.E4 + E11.E24.E25.E5 + E11.E26.E3.E4 + E11.E27.E3.E4 + E12.E13.E17.E28 + E12.E17.E17.E29 + E12.E13.E17.E33 + E12.E13.E21.E28 + E12.E13.E21.E33 + E12.E13.E21.E34 + E12.E13.E21.E35 + E12.E17.E22.E28 + E12.E13.E22.E29 + E12.E17.E22.E33 + E12.E13.E22.E34 + E12.E13.E22.E35 + E12.E13.E26.E28 + E12.E17.E26.E29 + E12.E13.E26.E33 + E12.E13.E26.E34 + E12.E13.E26.E35 + E12.E17.E26.E35 + E12.E13.E27.E28 + E12.E13.E27.E29 + E12.E13.E27.E33 + E12.E13.E27.E34 + E12.E13.E27.E35 + E14.E17.E30.E31 + E14.E22.E30.E31 + E14.E24.E25.E26 + E14.E24.E25.E29 + E14.E24.E25.E33 + E14.E24.E25.E34 + E14.E24.E25.E35 + E14.E26.E30.E31 + E14.E26.E30.E31 + E15.E24.E25.E28 + E15.E24.E25.E29 + E15.E24.E25.E33 + E15.E24.E25.E34 + E15.E24.E25.E35 + E15.E26.E30.E31 + E15.E27.E30.E31 + E15.E17.E30.E31 + E16.E21.E30.E31 + E16.E22.E30.E31 + E16.E24.E25.E28 + E16.E24.E25.E29 + E16.E24.E25.E33 + E16.E24.E25.E34 + E16.E24.E25.E35 + E16.E26.E30.E31 + E16.E27.E30.E31 + E17.E28.E3.E4 + E17.E29.E3.E4 + E17.E33.E3.E4 + E17.E34.E3.E4 + E17.E35.E3.E4 + E17.E3.E34.E4 + E17.E3.E35.E4 + E17.E30.E31.E29 + E16.E19.





IFV(E43)=	0.1604	14.9026%
IFV(E44)=	0.1604	14.9026%
IFV(E26)=	0.0257	2.3844%
IFV(E6)=	0.0208	1.9368%
IFV(E1)=	0.0160	1.4903%
IFV(E39)=	0.0160	1.4903%
IFV(E16)=	0.0063	0.5815%
IFV(E5)=	0.0063	0.5815%
IFV(E28)=	0.0042	0.3876%
IFV(E29)=	0.0042	0.3876%
IFV(E33)=	0.0042	0.3876%
IFV(E17)=	0.0026	0.2385%
IFV(E24)=	0.0026	0.2385%
IFV(E25)=	0.0026	0.2385%
IFV(E27)=	0.0026	0.2385%
IFV(E2)=	1.1547E-05	0.0011%
IFV(E14)=	6.2582E-06	0.0006%
IFV(E11)=	4.1716E-06	0.0004%
IFV(E35)=	4.1716E-06	0.0004%
IFV(E15)=	6.2548E-07	5.8124E-05%
IFV(E12)=	6.2222E-08	5.7821E-06%
IFV(E13)=	6.2222E-08	5.7821E-06%
IFV(E21)=	2.7041E-08	2.5129E-06%
IFV(E22)=	2.5466E-08	2.3665E-06%
IFV(E30)=	4.0256E-09	3.7409E-07%
IFV(E31)=	4.0256E-09	3.7409E-07%
IFV(E34)=	4.0256E-09	3.7409E-07%
IFV(E41)=	1.5752E-09	1.4638E-07%
IFV(E10)=	menor 1E-38	menor 1E-38%
IFV(E18)=	menor 1E-38	menor 1E-38%
IFV(E19)=	menor 1E-38	menor 1E-38%
IFV(E20)=	menor 1E-38	menor 1E-38%
IFV(E23)=	menor 1E-38	menor 1E-38%
IFV(E3)=	menor 1E-38	menor 1E-38%
IFV(E32)=	menor 1E-38	menor 1E-38%
IFV(E36)=	menor 1E-38	menor 1E-38%
IFV(E4)=	menor 1E-38	menor 1E-38%
IFV(E7)=	menor 1E-38	menor 1E-38%
IFV(E8)=	menor 1E-38	menor 1E-38%
IFV(E9)=	menor 1E-38	menor 1E-38%

Importancias de los Conjuntos Mínimos de Corte:

IFV(E37)=	0.1604	15.6051%
IFV(E38)=	0.1604	15.6051%
IFV(E40)=	0.1604	15.6051%
IFV(E42)=	0.1604	15.6051%
IFV(E43)=	0.1604	15.6051%
IFV(E44)=	0.1604	15.6051%
IFV(E1)=	0.0160	1.5605%
IFV(E39)=	0.0160	1.5605%
IFV(E26, E6)=	0.0160	1.5605%
IFV(E17, E6)=	0.0016	0.1561%
IFV(E27, E6)=	0.0016	0.1561%

IFV(E16, E26, E28) =	0.0016	0.1561%
IFV(E16, E26, E29) =	0.0016	0.1561%
IFV(E16, E26, E33) =	0.0016	0.1561%
IFV(E24, E25, E67) =	0.0016	0.1561%
IFV(E26, E28, E5) =	0.0016	0.1561%
IFV(E26, E29, E5) =	0.0016	0.1561%
IFV(E26, E33, E5) =	0.0016	0.1561%
IFV(E16, E17, E28) =	0.0002	0.0156%
IFV(E16, E17, E29) =	0.0002	0.0156%
IFV(E16, E17, E33) =	0.0002	0.0156%
IFV(E16, E27, E28) =	0.0002	0.0156%
IFV(E16, E27, E29) =	0.0002	0.0156%
IFV(E16, E27, E33) =	0.0002	0.0156%
IFV(E17, E28, E5) =	0.0002	0.0156%
IFV(E17, E29, E5) =	0.0002	0.0156%
IFV(E17, E33, E5) =	0.0002	0.0156%
IFV(E27, E28, E5) =	0.0002	0.0156%
IFV(E27, E29, E5) =	0.0002	0.0156%
IFV(E27, E33, E5) =	0.0002	0.0156%
IFV(E24, E25, E28, E5) =	0.0002	0.0156%
IFV(E24, E25, E29, E5) =	0.0002	0.0156%
IFV(E24, E25, E33, E5) =	0.0002	0.0156%
IFV(E16, E24, E25, E28) =	0.0002	0.0156%
IFV(E16, E24, E25, E29) =	0.0002	0.0156%
IFV(E16, E24, E25, E33) =	0.0002	0.0156%
IFV(E2) =	1.1547E-05	0.0011%
IFV(E14, E26, E28) =	1.6037E-06	0.0002%
IFV(E14, E26, E29) =	1.6037E-06	0.0002%
IFV(E14, E26, E33) =	1.6037E-06	0.0002%
IFV(E11, E16, E26) =	1.6037E-06	0.0002%
IFV(E11, E26, E5) =	1.6037E-06	0.0002%
IFV(E16, E26, E35) =	1.6037E-06	0.0002%
IFV(E26, E35, E5) =	1.6037E-06	0.0002%
IFV(E11, E17, E5) =	1.6037E-07	1.5605E-05%
IFV(E11, E27, E5) =	1.6037E-07	1.5605E-05%
IFV(E16, E17, E35) =	1.6037E-07	1.5605E-05%
IFV(E16, E27, E35) =	1.6037E-07	1.5605E-05%
IFV(E17, E35, E5) =	1.6037E-07	1.5605E-05%
IFV(E27, E35, E5) =	1.6037E-07	1.5605E-05%
IFV(E11, E16, E17) =	1.6037E-07	1.5605E-05%
IFV(E11, E16, E27) =	1.6037E-07	1.5605E-05%
IFV(E14, E17, E28) =	1.6037E-07	1.5605E-05%
IFV(E14, E17, E29) =	1.6037E-07	1.5605E-05%
IFV(E14, E17, E33) =	1.6037E-07	1.5605E-05%
IFV(E14, E27, E28) =	1.6037E-07	1.5605E-05%
IFV(E14, E27, E29) =	1.6037E-07	1.5605E-05%
IFV(E14, E27, E33) =	1.6037E-07	1.5605E-05%
IFV(E15, E26, E28) =	1.6037E-07	1.5605E-05%
IFV(E15, E26, E29) =	1.6037E-07	1.5605E-05%
IFV(E15, E26, E33) =	1.6037E-07	1.5605E-05%
IFV(E16, E24, E25, E35) =	1.6037E-07	1.5605E-05%
IFV(E11, E16, E24, E25) =	1.6037E-07	1.5605E-05%
IFV(E11, E24, E25, E5) =	1.6037E-07	1.5605E-05%

IFV(E14, E24, E25, E28) =	1.6037E-07	1.5605E-05%
IFV(E14, E24, E25, E29) =	1.6037E-07	1.5605E-05%
IFV(E14, E24, E25, E33) =	1.6037E-07	1.5605E-05%
IFV(E24, E25, E35, E5) =	1.6037E-07	1.5605E-05%
IFV(E21, E6) =	1.6037E-08	1.5605E-06%
IFV(E22, E6) =	1.6037E-08	1.5605E-06%
IFV(E15, E17, E28) =	1.6037E-08	1.5605E-06%
IFV(E15, E17, E29) =	1.6037E-08	1.5605E-06%
IFV(E15, E17, E33) =	1.6037E-08	1.5605E-06%
IFV(E15, E27, E28) =	1.6037E-08	1.5605E-06%
IFV(E15, E27, E29) =	1.6037E-08	1.5605E-06%
IFV(E15, E27, E33) =	1.6037E-08	1.5605E-06%
IFV(E12, E17, E25, E28) =	1.6037E-08	1.5605E-06%
IFV(E12, E17, E25, E29) =	1.6037E-08	1.5605E-06%
IFV(E12, E17, E25, E33) =	1.6037E-08	1.5605E-06%
IFV(E15, E24, E25, E28) =	1.6037E-08	1.5605E-06%
IFV(E15, E24, E25, E29) =	1.6037E-08	1.5605E-06%
IFV(E15, E24, E25, E33) =	1.6037E-08	1.5605E-06%
IFV(E21, E41) =	1.6037E-09	1.5605E-07%
IFV(E11, E14, E26) =	1.6037E-09	1.5605E-07%
IFV(E14, E26, E35) =	1.6037E-09	1.5605E-07%
IFV(E16, E21, E28) =	1.6037E-09	1.5605E-07%
IFV(E16, E21, E29) =	1.6037E-09	1.5605E-07%
IFV(E16, E21, E33) =	1.6037E-09	1.5605E-07%
IFV(E16, E22, E28) =	1.6037E-09	1.5605E-07%
IFV(E16, E22, E29) =	1.6037E-09	1.5605E-07%
IFV(E16, E22, E33) =	1.6037E-09	1.5605E-07%
IFV(E16, E26, E74) =	1.6037E-09	1.5605E-07%
IFV(E21, E28, E5) =	1.6037E-09	1.5605E-07%
IFV(E21, E29, E5) =	1.6037E-09	1.5605E-07%
IFV(E21, E33, E5) =	1.6037E-09	1.5605E-07%
IFV(E22, E28, E5) =	1.6037E-09	1.5605E-07%
IFV(E22, E29, E5) =	1.6037E-09	1.5605E-07%
IFV(E22, E33, E5) =	1.6037E-09	1.5605E-07%
IFV(E26, E34, E5) =	1.6037E-09	1.5605E-07%
IFV(E16, E26, E30, E31) =	1.6037E-09	1.5605E-07%
IFV(E12, E13, E17, E28) =	1.6037E-09	1.5605E-07%
IFV(E12, E13, E17, E29) =	1.6037E-09	1.5605E-07%
IFV(E12, E13, E17, E33) =	1.6037E-09	1.5605E-07%
IFV(E12, E13, E27, E28) =	1.6037E-09	1.5605E-07%
IFV(E12, E13, E27, E29) =	1.6037E-09	1.5605E-07%
IFV(E12, E13, E27, E33) =	1.6037E-09	1.5605E-07%
IFV(E26, E30, E31, E5) =	1.6037E-09	1.5605E-07%
IFV(E12, E13, E24, E25, E28) =	1.6037E-09	1.5605E-07%
IFV(E12, E13, E24, E25, E29) =	1.6037E-09	1.5605E-07%
IFV(E12, E13, E24, E25, E33) =	1.6037E-09	1.5605E-07%
IFV(E11, E14, E17) =	1.6037E-10	1.5605E-08%
IFV(E11, E14, E27) =	1.6037E-10	1.5605E-08%
IFV(E11, E15, E26) =	1.6037E-10	1.5605E-08%
IFV(E14, E17, E35) =	1.6037E-10	1.5605E-08%
IFV(E14, E27, E35) =	1.6037E-10	1.5605E-08%

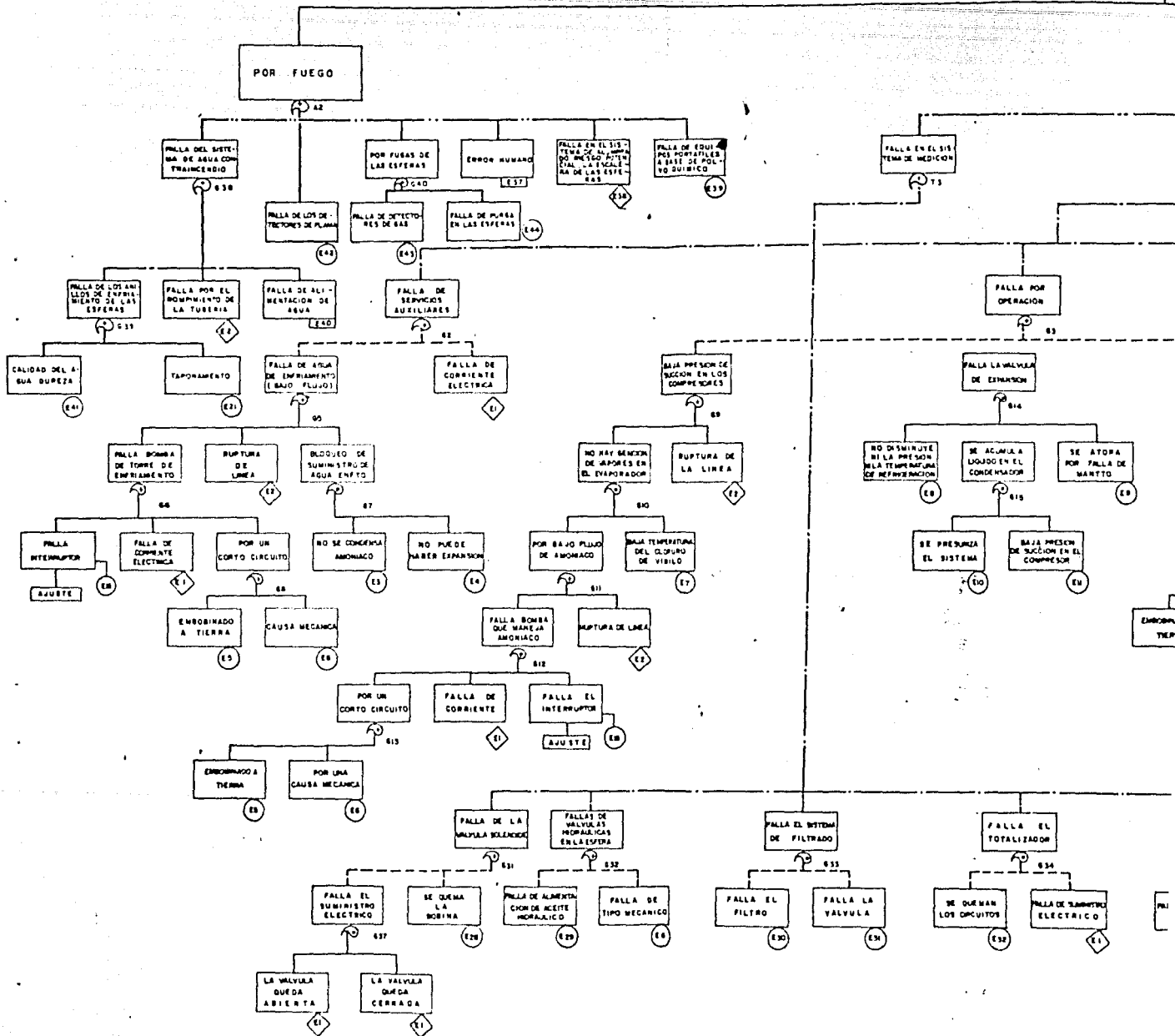
IFV(E15, E26, E35) =	1.6037E-10	1.5605E-08%
IFV(E16, E17, E34) =	1.6037E-10	1.5605E-08%
IFV(E16, E37, E34) =	1.6037E-10	1.5605E-08%
IFV(E17, E34, E5) =	1.6037E-10	1.5605E-08%
IFV(E27, E34, E5) =	1.6037E-10	1.5605E-08%
IFV(E11, E14, E24, E25) =	1.6037E-10	1.5605E-08%
IFV(E16, E17, E30, E31) =	1.6037E-10	1.5605E-08%
IFV(E16, E27, E30, E31) =	1.6037E-10	1.5605E-08%
IFV(E17, E30, E31, E5) =	1.6037E-10	1.5605E-08%
IFV(E24, E25, E34, E5) =	1.6037E-10	1.5605E-08%
IFV(E27, E30, E31, E5) =	1.6037E-10	1.5605E-08%
IFV(E14, E24, E25, E35) =	1.6037E-10	1.5605E-08%
IFV(E16, E24, E25, E34) =	1.6037E-10	1.5605E-08%
IFV(E16, E24, E25, E30, E31) =	1.6037E-10	1.5605E-08%
IFV(E24, E25, E30, E31, E5) =	1.6037E-10	1.5605E-08%
IFV(E11, E15, E17) =	1.6037E-11	1.5605E-09%
IFV(E11, E15, E27) =	1.6037E-11	1.5605E-09%
IFV(E15, E17, E35) =	1.6037E-11	1.5605E-09%
IFV(E15, E27, E35) =	1.6037E-11	1.5605E-09%
IFV(E11, E15, E14, E25) =	1.6037E-11	1.5605E-09%
IFV(E11, E12, E13, E26) =	1.6037E-11	1.5605E-09%
IFV(E12, E13, E26, E35) =	1.6037E-11	1.5605E-09%
IFV(E15, E24, E25, E35) =	1.6037E-11	1.5605E-09%
IFV(E14, E21, E28) =	1.6037E-12	1.5605E-10%
IFV(E14, E21, E29) =	1.6037E-12	1.5605E-10%
IFV(E14, E21, E33) =	1.6037E-12	1.5605E-10%
IFV(E14, E22, E28) =	1.6037E-12	1.5605E-10%
IFV(E14, E22, E29) =	1.6037E-12	1.5605E-10%
IFV(E14, E22, E33) =	1.6037E-12	1.5605E-10%
IFV(E14, E26, E34) =	1.6037E-12	1.5605E-10%
IFV(E16, E21, E35) =	1.6037E-12	1.5605E-10%
IFV(E16, E22, E35) =	1.6037E-12	1.5605E-10%
IFV(E11, E16, E21) =	1.6037E-12	1.5605E-10%
IFV(E11, E16, E22) =	1.6037E-12	1.5605E-10%
IFV(E11, E21, E5) =	1.6037E-12	1.5605E-10%
IFV(E11, E22, E5) =	1.6037E-12	1.5605E-10%
IFV(E21, E35, E5) =	1.6037E-12	1.5605E-10%
IFV(E22, E35, E5) =	1.6037E-12	1.5605E-10%
IFV(E14, E26, E30, E31) =	1.6037E-12	1.5605E-10%
IFV(E26, E28, E3, E4) =	1.6037E-12	1.5605E-10%
IFV(E26, E29, E3, E4) =	1.6037E-12	1.5605E-10%
IFV(E11, E12, E13, E17) =	1.6037E-12	1.5605E-10%
IFV(E11, E12, E15, E27) =	1.6037E-12	1.5605E-10%
IFV(E12, E13, E17, E35) =	1.6037E-12	1.5605E-10%
IFV(E12, E17, E27, E35) =	1.6037E-12	1.5605E-10%
IFV(E26, E3, E33, E4) =	1.6037E-12	1.5605E-10%
IFV(E11, E12, E13, E24, E25) =	1.6037E-12	1.5605E-10%
IFV(E12, E13, E24, E25, E35) =	1.6037E-12	1.5605E-10%
IFV(E14, E17, E34) =	1.6037E-13	1.5605E-11%
IFV(E14, E27, E34) =	1.6037E-13	1.5605E-11%
IFV(E15, E26, E34) =	1.6037E-13	1.5605E-11%
IFV(E15, E21, E28) =	1.6037E-13	1.5605E-11%
IFV(E15, E21, E29) =	1.6037E-13	1.5605E-11%

IFV(E15, E21, E33) =	1.6037E-13	1.5605E-11X
IFV(E15, E12, E28) =	1.6037E-13	1.5605E-11X
IFV(E15, E22, E29) =	1.6037E-13	1.5605E-11X
IFV(E15, E22, E33) =	1.6037E-13	1.5605E-11X
IFV(E17, E28, E3, E4) =	1.6037E-13	1.5605E-11X
IFV(E17, E29, E3, E4) =	1.6037E-13	1.5605E-11X
IFV(E17, E3, E33, E4) =	1.6037E-13	1.5605E-11X
IFV(E27, E26, E3, E4) =	1.6037E-13	1.5605E-11X
IFV(E27, E29, E3, E4) =	1.6037E-13	1.5605E-11X
IFV(E27, E3, E33, E4) =	1.6037E-13	1.5605E-11X
IFV(E14, E17, E30, E31) =	1.6037E-13	1.5605E-11X
IFV(E14, E24, E25, E34) =	1.6037E-13	1.5605E-11X
IFV(E14, E27, E30, E31) =	1.6037E-13	1.5605E-11X
IFV(E15, E26, E30, E31) =	1.6037E-13	1.5605E-11X
IFV(E24, E25, E28, E3, E4) =	1.6037E-13	1.5605E-11X
IFV(E24, E25, E29, E3, E4) =	1.6037E-13	1.5605E-11X
IFV(E14, E24, E25, E30, E31) =	1.6037E-13	1.5605E-11X
IFV(E24, E25, E3, E33, E4) =	1.6037E-13	1.5605E-11X
IFV(E15, E17, E34) =	1.6037E-14	1.5605E-12X
IFV(E15, E27, E34) =	1.6037E-14	1.5605E-12X
IFV(E15, E17, E30, E31) =	1.6037E-14	1.5605E-12X
IFV(E15, E27, E30, E31) =	1.6037E-14	1.5605E-12X
IFV(E12, E13, E26, E34) =	1.6037E-14	1.5605E-12X
IFV(E15, E24, E25, E34) =	1.6037E-14	1.5605E-12X
IFV(E12, E13, E21, E28) =	1.6037E-14	1.5605E-12X
IFV(E12, E13, E21, E29) =	1.6037E-14	1.5605E-12X
IFV(E12, E13, E21, E33) =	1.6037E-14	1.5605E-12X
IFV(E12, E13, E22, E28) =	1.6037E-14	1.5605E-12X
IFV(E12, E13, E22, E29) =	1.6037E-14	1.5605E-12X
IFV(E12, E13, E22, E33) =	1.6037E-14	1.5605E-12X
IFV(E18, E19, E20, E6) =	1.6037E-14	1.5605E-12X
IFV(E12, E13, E26, E30, E31) =	1.6037E-14	1.5605E-12X
IFV(E15, E24, E25, E30, E31) =	1.6037E-14	1.5605E-12X
IFV(E11, E14, E21) =	1.6037E-15	1.5605E-13X
IFV(E11, E14, E22) =	1.6037E-15	1.5605E-13X
IFV(E14, E21, E35) =	1.6037E-15	1.5605E-13X
IFV(E14, E22, E35) =	1.6037E-15	1.5605E-13X
IFV(E21, E34, E5) =	1.6037E-15	1.5605E-13X
IFV(E22, E34, E5) =	1.6037E-15	1.5605E-13X
IFV(E16, E21, E34) =	1.6037E-15	1.5605E-13X
IFV(E16, E22, E34) =	1.6037E-15	1.5605E-13X
IFV(E16, E21, E30, E31) =	1.6037E-15	1.5605E-13X
IFV(E16, E22, E30, E31) =	1.6037E-15	1.5605E-13X
IFV(E21, E30, E31, E5) =	1.6037E-15	1.5605E-13X
IFV(E22, E30, E31, E5) =	1.6037E-15	1.5605E-13X
IFV(E11, E26, E3, E4) =	1.6037E-15	1.5605E-13X
IFV(E12, E13, E17, E34) =	1.6037E-15	1.5605E-13X
IFV(E12, E13, E27, E34) =	1.6037E-15	1.5605E-13X
IFV(E26, E3, E35, E4) =	1.6037E-15	1.5605E-13X
IFV(E16, E18, E19, E20, E28) =	1.6037E-15	1.5605E-13X
IFV(E16, E18, E19, E20, E29) =	1.6037E-15	1.5605E-13X
IFV(E16, E18, E19, E20, E33) =	1.6037E-15	1.5605E-13X
IFV(E12, E13, E17, E30, E31) =	1.6037E-15	1.5605E-13X

IFV(E12, E13, E24, E25, E34) =	1.6037E-15	1.5605E-13X
IFV(E12, E17, E27, E30, E31) =	1.6037E-15	1.5605E-13X
IFV(E18, E19, E20, E28, E5) =	1.6037E-15	1.5605E-13X
IFV(E18, E19, E20, E29, E5) =	1.6037E-15	1.5605E-13X
IFV(E18, E19, E20, E32, E5) =	1.6037E-15	1.5605E-13X
IFV(E12, E13, E24, E25, E30, E31) =	1.6037E-15	1.5605E-13X
IFV(E11, E15, E21) =	1.6037E-16	1.5605E-14X
IFV(E11, E15, E22) =	1.6037E-16	1.5605E-14X
IFV(E15, E21, E35) =	1.6037E-16	1.5605E-14X
IFV(E15, E22, E35) =	1.6037E-16	1.5605E-14X
IFV(E11, E17, E3, E4) =	1.6037E-16	1.5605E-14X
IFV(E11, E27, E3, E4) =	1.6037E-16	1.5605E-14X
IFV(E17, E3, E35, E4) =	1.6037E-16	1.5605E-14X
IFV(E27, E3, E35, E4) =	1.6037E-16	1.5605E-14X
IFV(E11, E24, E25, E3, E4) =	1.6037E-16	1.5605E-14X
IFV(E24, E25, E3, E35, E4) =	1.6037E-16	1.5605E-14X
IFV(E11, E12, E13, E21) =	1.6037E-17	1.5605E-15X
IFV(E11, E12, E13, E22) =	1.6037E-17	1.5605E-15X
IFV(E12, E13, E21, E35) =	1.6037E-17	1.5605E-15X
IFV(E12, E13, E22, E35) =	1.6037E-17	1.5605E-15X
IFV(E14, E21, E34) =	1.6037E-18	1.5605E-16X
IFV(E14, E22, E34) =	1.6037E-18	1.5605E-16X
IFV(E14, E21, E30, E31) =	1.6037E-18	1.5605E-16X
IFV(E14, E22, E30, E31) =	1.6037E-18	1.5605E-16X
IFV(E26, E3, E34, E4) =	1.6037E-18	1.5605E-16X
IFV(E11, E18, E19, E20, E5) =	1.6037E-18	1.5605E-16X
IFV(E21, E28, E3, E4) =	1.6037E-18	1.5605E-16X
IFV(E21, E29, E3, E4) =	1.6037E-18	1.5605E-16X
IFV(E21, E3, E33, E4) =	1.6037E-18	1.5605E-16X
IFV(E22, E28, E3, E4) =	1.6037E-18	1.5605E-16X
IFV(E22, E29, E3, E4) =	1.6037E-18	1.5605E-16X
IFV(E22, E3, E33, E4) =	1.6037E-18	1.5605E-16X
IFV(E16, E18, E19, E20, E35) =	1.6037E-18	1.5605E-16X
IFV(E10, E11, E26, E8, E9) =	1.6037E-18	1.5605E-16X
IFV(E11, E16, E18, E19, E20) =	1.6037E-18	1.5605E-16X
IFV(E14, E18, E19, E20, E28) =	1.6037E-18	1.5605E-16X
IFV(E14, E18, E19, E20, E29) =	1.6037E-18	1.5605E-16X
IFV(E14, E18, E19, E20, E33) =	1.6037E-18	1.5605E-16X
IFV(E18, E19, E20, E35, E5) =	1.6037E-18	1.5605E-16X
IFV(E26, E3, E30, E31, E4) =	1.6037E-18	1.5605E-16X
IFV(E15, E21, E34) =	1.6037E-19	1.5605E-17X
IFV(E15, E22, E34) =	1.6037E-19	1.5605E-17X
IFV(E17, E3, E34, E4) =	1.6037E-19	1.5605E-17X
IFV(E27, E3, E34, E4) =	1.6037E-19	1.5605E-17X
IFV(E17, E3, E30, E31, E4) =	1.6037E-19	1.5605E-17X
IFV(E27, E3, E30, E31, E4) =	1.6037E-19	1.5605E-17X
IFV(E15, E21, E30, E31) =	1.6037E-19	1.5605E-17X
IFV(E15, E22, E30, E31) =	1.6037E-19	1.5605E-17X
IFV(E15, E18, E19, E20, E28) =	1.6037E-19	1.5605E-17X
IFV(E15, E18, E19, E20, E29) =	1.6037E-19	1.5605E-17X
IFV(E15, E18, E19, E20, E33) =	1.6037E-19	1.5605E-17X

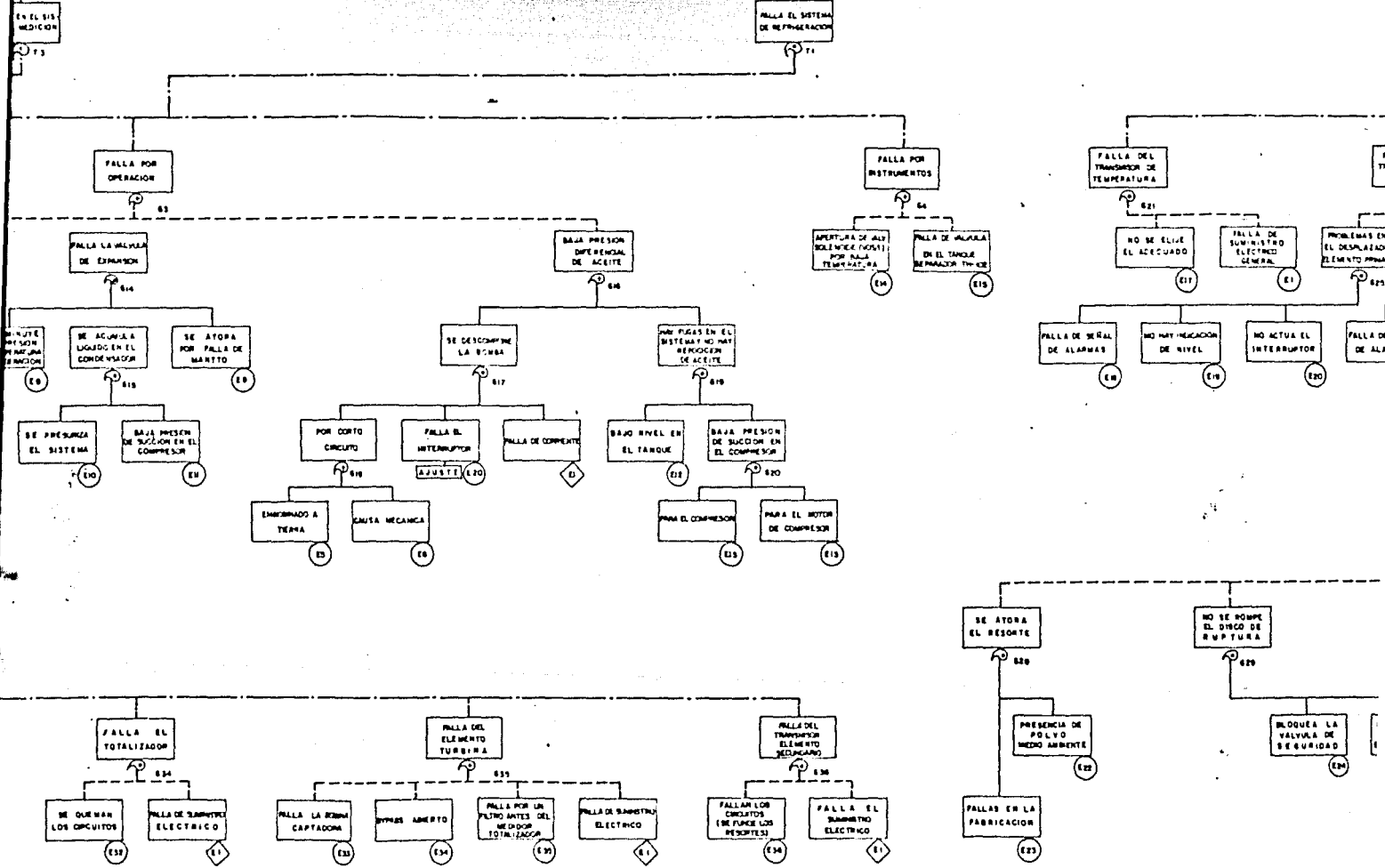
IFV(E24, E25, E3, E34, E4) =	1.6037E-19	1.5605E-17%
IFV(E10, E11, E17, E8, E9) =	1.6037E-19	1.5605E-17%
IFV(E10, E11, E27, E8, E9) =	1.6037E-19	1.5605E-17%
IFV(E10, E11, E24, E25, E8, E9) =	1.6037E-19	1.5605E-17%
IFV(E24, E25, E3, E30, E31, E4) =	1.6037E-19	1.5605E-17%
IFV(E12, E13, E21, E34) =	1.6037E-20	1.5605E-18%
IFV(E12, E13, E22, E34) =	1.6037E-20	1.5605E-18%
IFV(E12, E13, E21, E30, E31) =	1.6037E-20	1.5605E-18%
IFV(E12, E13, E22, E30, E31) =	1.6037E-20	1.5605E-18%
IFV(E12, E13, E18, E19, E20, E28) =	1.6037E-20	1.5605E-18%
IFV(E12, E13, E18, E19, E20, E29) =	1.6037E-20	1.5605E-18%
IFV(E12, E13, E18, E19, E20, E30) =	1.6037E-20	1.5605E-18%
IFV(E11, E21, E3, E4) =	1.6037E-21	1.5605E-19%
IFV(E11, E22, E3, E4) =	1.6037E-21	1.5605E-19%
IFV(E21, E3, E35, E4) =	1.6037E-21	1.5605E-19%
IFV(E22, E3, E35, E4) =	1.6037E-21	1.5605E-19%
IFV(E11, E14, E18, E19, E20) =	1.6037E-21	1.5605E-19%
IFV(E14, E18, E19, E20, E35) =	1.6037E-21	1.5605E-19%
IFV(E16, E18, E19, E20, E34) =	1.6037E-21	1.5605E-19%
IFV(E18, E19, E20, E34, E5) =	1.6037E-21	1.5605E-19%
IFV(E16, E18, E19, E20, E30, E31) =	1.6037E-21	1.5605E-19%
IFV(E18, E19, E20, E30, E31, E5) =	1.6037E-21	1.5605E-19%
IFV(E11, E15, E18, E19, E20) =	1.6037E-22	1.5605E-20%
IFV(E15, E18, E19, E20, E35) =	1.6037E-22	1.5605E-20%
IFV(E11, E12, E13, E18, E19, E20) =	1.6037E-23	1.5605E-21%
IFV(E12, E13, E18, E19, E20, E35) =	1.6037E-23	1.5605E-21%
IFV(E21, E3, E34, E4) =	1.6037E-24	1.5605E-22%
IFV(E22, E3, E34, E4) =	1.6037E-24	1.5605E-22%
IFV(E14, E18, E19, E20, E34) =	1.6037E-24	1.5605E-22%
IFV(E21, E3, E30, E31, E4) =	1.6037E-24	1.5605E-22%
IFV(E22, E3, E30, E31, E4) =	1.6037E-24	1.5605E-22%
IFV(E10, E11, E21, E8, E9) =	1.6037E-24	1.5605E-22%
IFV(E10, E11, E22, E8, E9) =	1.6037E-24	1.5605E-22%
IFV(E14, E18, E19, E20, E30, E31) =	1.6037E-24	1.5605E-22%
IFV(E18, E19, E20, E3, E33, E4) =	1.6037E-24	1.5605E-22%
IFV(E18, E19, E20, E38, E3, E4) =	1.6037E-24	1.5605E-22%
IFV(E18, E19, E20, E29, E3, E4) =	1.6037E-24	1.5605E-22%
IFV(E15, E18, E19, E20, E34) =	1.6037E-25	1.5605E-23%
IFV(E15, E18, E19, E20, E30, E31) =	1.6037E-25	1.5605E-23%
IFV(E12, E13, E18, E19, E20, E34) =	1.6037E-26	1.5605E-24%
IFV(E12, E13, E18, E19, E20, E30, E31) =	1.6037E-26	1.5605E-24%
IFV(E11, E18, E19, E20, E3, E4) =	1.6037E-27	1.5605E-25%
IFV(E18, E19, E20, E3, E35, E4) =	1.6037E-27	1.5605E-25%
IFV(E18, E19, E20, E3, E34, E4) =	1.6037E-30	1.5605E-28%
IFV(E18, E19, E20, E3, E30, E31, E4) =	1.6037E-30	1.5605E-28%
IFV(E10, E11, E18, E19, E20, E8, E9) =	1.6037E-30	1.5605E-28%





DESFOGUE

REPRESIONAMIENTO EN LAS ESFERAS DE ALMACENAMIENTO





## CAPITULO VI

### ANALISIS ECONOMICO

El objetivo de este capítulo es comparar el potencial de pérdida obtenido en base al Análisis Cuantitativo del capítulo anterior, lo cual nos permitirá obtener el valor económico - de la pérdida probable total, ya sea por los probables daños directos estimados, así como por la interrupción total o parcial de las operaciones.

#### 6.1 SEGURIDAD - INGENIERIA DE VALOR

##### 6.1.1 COSTO

Es la suma de los recursos empleados en la fabricación de un producto o prestación de un servicio, en donde los recursos son:

- a) Materias primas
- b) Tecnológicos
- c) Financieros
- d) Administrativos
- e) Humanos

Uno de los aspectos de los accidentes al que no se le ha dado la importancia que amerita o que frecuentemente se ignora es su costo. Además del daño moral causado al trabajador lesionado y a la empresa. Todo accidente ocasiona una serie de gastos y pérdidas para la industria que normalmente no son valorados en su magnitud real, por diversas razones: fallas administrativas, problemas contables, no se practica investigación, no se valúa, etc.

Frank Bird en su libro "Administración del Control de Pérdidas", señala "El costo de los accidentes sin incluir incendios, bajo el rubro de no asegurados (indirectos) es enorme. Análisis exhaustivos de los costos de daños a la propiedad - al rededor del mundo, ha llevado a aceptar el hecho de que - el rubro de costos de daños a la "propiedad sin asegurar" -- (indirectos) es de 6 a 53 veces mayor que los "costos asegurados" (directos) veáse figura 6.1

En general tampoco se tiene cuantificación de cuales serían los costos anuales en la industria, que incluyan: incendios (responsabilidad general), responsabilidad de los productos, - accidentes fuera del trabajo, contaminación ambiental, (aire aguas, suelos), rehabilitación, etc.

#### 6.1.2 VALOR

Son las características objetivas o subjetivas del bien o -- servicio y por las cuales es deseable su adquisición.

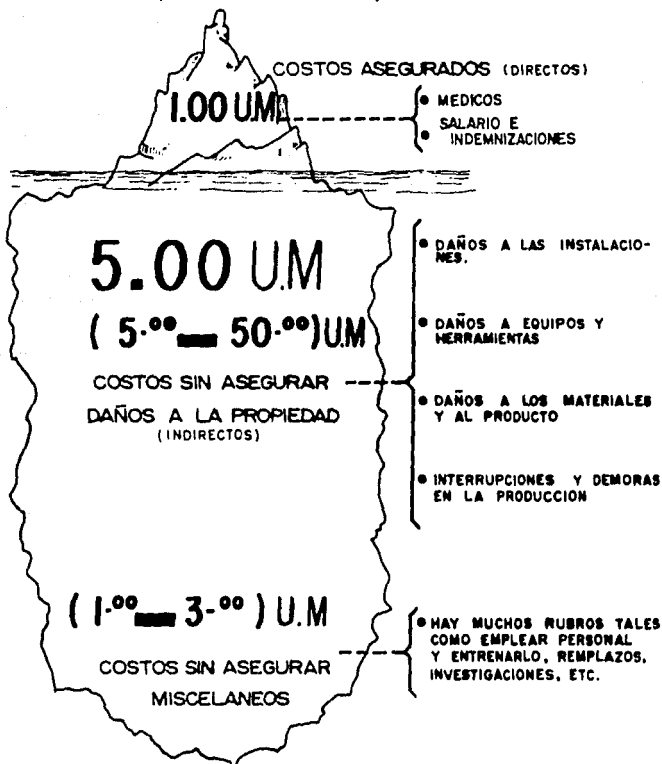
De donde el valor es un concepto muy amplio y puede dividirse en varias categorías:

- a) VALOR DE USO.- Son las propiedades y cualidades del bien que sirven para su aplicación, tra bajo o servicio.
- b) VALOR DE CAMBIO.- Son las propiedades o cualidades que permiten cambiarlo por otro u otros productos necesarios.

En particular se ha hecho notar que un Análisis de Seguridad completo obliga a transformar los valores relativos de seguridad en valores absolutos.

# Fig. 6.1: LOS COSTOS REALES DE LOS ACCIDENTES

pueden ser medidos y controlados



Az igual que la parte superior de un témpano de hielo los costos asegurados de los accidentes son solo una pequeña parte de los costos reales, los que pueden ser medidos y controlados con los técnicos del control de pérdidas modernas

Los costos para reducir los riesgos se tienen que reflejar - en los costos de fabricación y por lo tanto, en los precios de venta. Para nuestro problema, estos costos independientemente de la fabricación repercutirán en el recibo, almacenamiento y distribución del cloruro de vinilo, lo cual traerá como consecuencia repercusión en los precios de venta

La inversión para eliminar los riesgos debe verse desde dos puntos de vista extremos:

- 1).- La preservación de la vida humana y de su calidad (el entorno en el que se desarrolla)
- 2).- El negocio mismo.

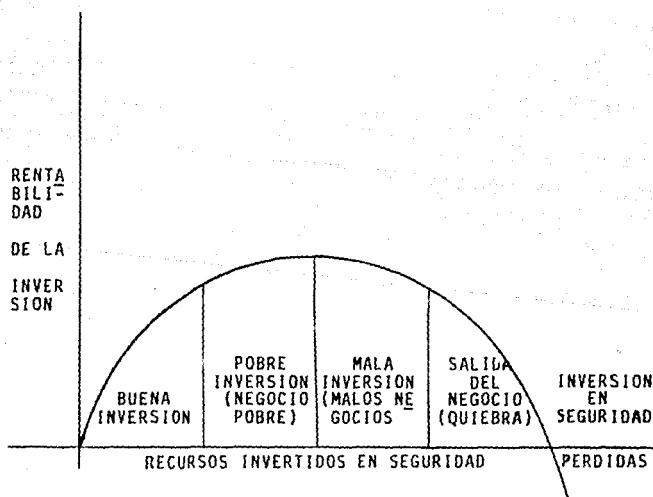


Fig. 6.2 Efecto de incrementar los gastos de seguridad.

Si se analiza la Fig. 6.2, en donde el eje horizontal representa el dinero invertido en aspectos de seguridad y el vertical la recuperación del dinero, se observa que hay un punto hasta donde es rentable invertir en la seguridad, a partir del cual se consideran "malos negocios".

En el área izquierda, la seguridad representa una buena inversión por gastar en seguridad, lo cual aparte de prevenir daños, ocasionará que nuestras plantas operen normalmente más tiempo obteniéndose mayores utilidades.

En el área de una "pobre inversión" se recupera parte del dinero gastado en la seguridad, aparte de prevenir daños, -- claro con menores utilidades.

La decisión de hasta donde invertir en seguridad, usualmente es un juicio cualitativo, sin embargo, es posible hacerlo -- cuantitativo.

### 6.1.3 PRECIO

Es la diferencia entre el costo de obtención (o producción) de un bien o servicio y su valor de cambio.

La probabilidad del evento "FS" (falla del sistema) encontrado en el análisis (Cap. V), no nos diría nada si no lo comparamos con la magnitud del potencial de pérdidas que representa dicho incidente "FS" para precisar si puede ser aceptable o no. Por ello será necesario determinar un potencial de -- pérdida.

De los resultados obtenidos en el capítulo anterior:



- 1).- Para el Represionamiento de las Esferas de Almacenamiento como evento tope A1, nuestro valor de probabilidad fué de  $3.077 * 10^{-3}$ , el cual si lo localizamos con los valores reportados en la tabla 6.1 Probabilidades de Eventos Tope, obtenemos que dicho evento es: PROBABLE (puede ocurrir en 1 año).

TABLA 6.1 PROBABILIDADES DE EVENTOS TOPE

PROBABILIDAD	FRECUENCIA PROBABLE
$10^{-0}$	Inminente (puede ocurrir en cualquier momento)
$10^{-1}$	Muy probable (ha ocurrido o puede ocurrir varias veces en el año)
$10^{-3}$	Probable (ha ocurrido o puede ocurrir en 1 año)
$10^{-5}$	Poco probable (no se ha presentado en 5 años)
$10^{-7}$	Improbable (no se ha presentado en 10 años)
$10^{-9}$	No se ve posibilidad de que ocurra el riesgo.

FUENTE: Análisis de Riesgos en Operaciones del Grupo Cydsa, S.A. de C.V.

- 2).- Para el Sistema de Fallas por Fuego como evento tope A2, nuestro valor de probabilidad fue de  $5.0462 \times 10^{-2}$ , el cual si lo localizamos con los valores reportados en la misma tabla: 6.1; vemos que dicho evento es: PROBABLE (puede ocurrir en un año).

Y finalmente para el evento tope T total "Desfogue", el valor de probabilidad obtenido fue de  $6.22562869 \times 10^{-2}$ , al localizar este valor una vez mas en nuestra tabla 6.1, nos reporta que la frecuencia probable de falla es: PROBABLE (puede ocurrir en un año).

La probabilidad del evento "FS" encontrado en el análisis no nos diría nada si no lo comparamos con la magnitud del potencial de pérdidas que representa dicho incidente "FS", lo que nos permitirá si dicha probabilidad de "FS" puede ser aceptable o no. Por ello será necesario determinar un potencial de pérdida razonable.

Para calcular la pérdida probable total se deberán incluir tanto las pérdidas probables por daños directos estimados como las pérdidas por interrupción parcial o total de las operaciones.

Para que una probabilidad de "FS" sea aceptable deberá estar en equilibrio con el Potencial de Pérdidas; es decir la probabilidad de "FS" nunca deberá ser mayor al Potencial de Pérdida (ver: Tabla 6.2 Pérdida Probable Total).

Tabla: 6.2 Pérdida Probable Total

POTENCIAL DE PERDIDA	PERDIDA PROBABLE TOTAL (U.M.)
1	10 a 100
$10^{-1}$	100 a 1000
$10^{-2}$	1000 a 10,000
$10^{-3}$	10,000 a 100,000
$10^{-4}$	100,000 a 1
$10^{-5}$	1 MM a 10 MM
$10^{-6}$	10 MM a 100 MM
$10^{-7}$	100 MM a 1,000 MM
$10^{-8}$	MAS DE 1,000 MM

FUENTE: Análisis de Riesgos en Operaciones del Grupo Cydsa, S.A. de C.V.

Si en un caso dado se encuentra que la probabilidad de "FS" es mayor que el Potencial de Pérdida, se podrá entonces atacar directamente aquellos eventos en el Arbol de Fallas que contribuyen más a aumentar la probabilidad de "FS" hasta disminuir ésta a un equilibrio con el Potencial de Pérdida.

## 6.2 RESULTADOS

Al analizar la importancia de los conjuntos mínimos de corte más representativos de falla del árbol del subsistema total (AF-5), podemos notar que aparte del error humano que nos representa el evento E<sub>37</sub>, todos los demás eventos E<sub>38</sub>, E<sub>40</sub>, E<sub>42</sub>, E<sub>43</sub> y E<sub>44</sub> (fallas en el sistema de alumbrado, en el sistema de agua contra incendio, en el detector de flama, en el detector de gas y falla en purgas de la esfera, se deben a fallas de equipo o de instrumentos).

La decisión es entonces para evitar lo más posible la falla de nuestro sistema total se traduce en gastos, es decir hasta cuanto se puede invertir más en un mantenimiento preventivo (programado) el cual implica:

- Atención regular a subsistemas, dispositivos y componentes en operación normal (lubricación, ajuste, --- etc.).
- Verificación con reparación o sustitución de equipos redundantes de fallas.
- Sustitución o reacondicionamiento de componentes o dispositivos, los cuales están cerca de la vida útil para minimizar el riesgo.

Por otra parte, se identifican puntos de mejora en el proceso, orientados a incrementar su confiabilidad; es decir, a mantener su continuidad operativa.

### 6.3 OBSERVACIONES

- 1.- Se podrá notar que los valores numéricos obtenidos - pueden no ser tan representativos debido a que como se indica en el capítulo V, se utilizaron datos generados reportados en la literatura especializada.
- 2.- Las esferas están adecuadas con la instrumentación - idónea para el almacenamiento de este producto petroquímico, teniendo indicadores de presión, temperatura, muestreo, válvulas de seguridad, interruptores y transmisores de nivel que van al cuarto de control.
- 3.- No se atacan las tasas de reparación con reparación constante, lo que obviamente nos permitiría reducir los valores de probabilidad obtenidos para cada uno de los eventos tope de cada sistema en forma individual, así como el evento tope fijado en nuestro sistema de árbol de fallas total.

## CAPITULO VII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### CONCLUSIONES:

La historia del desarrollo de los "Análisis de Riesgos" en el mundo y la creciente incidencia de desastres, cada década de mayor amplitud nos lleva a la conclusión de que aún no -- han dado suficientes frutos todas las técnicas desarrolladas todos los estudios efectuados y todas las experiencias desafortunadas ocurridas en todo el mundo.

Los métodos de análisis de fallas deben de ser adaptables a los más sofisticados procesos de optimización numéricos, en donde lo medular de cualquier estudio cuantitativo de fallas es el análisis estadístico de operaciones registradas.

La aplicación de una formalidad matemática o situaciones de la ingeniería química es completamente limitada, existe sin embargo literatura sustancial sobre técnicas determinísticas para resolver algunos problemas formales en una planta química.

Los resultados del estudio realizado en el presente trabajo de tesis, rebazaron las expectativas que originalmente se tenían pensadas de la metodología, puesto que su aplicación no solo se limita a aumentar la seguridad, sino que además se -- demostró el potencial de la técnica para conformar herramientas que ayuden a mantener la continuidad operativa si es -- aplicada a los diferentes procesos y que en algún otro tipo

espacio muestra de estudio puede ser aplicado para asegurar la calidad de la producción.

Los beneficios se pueden resumir en:

- 1).- El entendimiento de la forma en que se combinan las fallas para provocar la ocurrencia tope.
- 2).- La evaluación de la seguridad del sistema de desfogues de las esferas de almacenamiento de Cloruro de Vinilo.
- 3).- El mejor conocimiento de una herramienta con mayor poder de resolución en la evaluación de riesgos.

La experiencia adquirida en la manera de desarrollar este tipo de estudios permitirá reducir su demanda de recursos; fomentando en consecuencia, su aplicación con los siguientes fines:

- a).- Cuantificación numérica de la seguridad y disponibilidad.
- b).- Localización de los puntos débiles.
- c).- Mejoramiento y selección de inventarios óptimos de piezas de repuesto.
- d).- Generación de estrategias de localización de fallas.
- e).- Localización de sensores de diagnóstico y
- f).- Establecimiento de políticas de inspección y mantenimiento.

Se podrá agregar que la experiencia obtenida desde el punto de vista trabajo el hecho de que es sumamente difícil de realizar este tipo de trabajo una sola persona; debido a que se necesitan verdaderos especialistas en cada una de las diferentes disciplinas que sean cuestionadas en el estudio.

Se hace notar que la Maestría de Proyectos me dió la facilidad de hacer trabajo interdisciplinario.

#### RECOMENDACIONES:

- I Ir creando literatura estadística real de fallas estadísticas en forma sectorial, muy probablemente confidenciales con acceso controlado a dicha información.
- II Propugnar por la implantación en el Area Constructiva del control total de pérdidas, que es a su vez un enfoque del análisis del sistema para áreas operativas.
- III Implantar el enfoque de sistemas y análisis de riesgo en el Area de Ingeniería de Proyecto, para que los mismos sean mas seguros, económicos, eficientes y -brinden una mayor protección al trabajador.



## APENDICE "A"

FUNDAMENTOS DEL ANALISIS DE RIESGOS  
(Fundamentos Matemáticos)

## A.1 FRECUENCIA RELATIVA Y PROBABILIDAD

## A.1.1 ALGEBRA DE BOOLE

## A.2 CONFIABILIDAD, DISPONIBILIDAD Y MANTENIMIENTO

## A.3 TASA DE FALLAS

## A.4 TASA DE REPARACION

A.5 CALCULO DE LA DISPONIBILIDAD DE UN COMPONENTE  
REPARABLE

## A.5.1 CASO: CON TAZAS DE FALLA Y REPARACION CONSTANTE

## A.5.2 CASO: DE UN COMPONENTE NO REPARABLE

## A.6 APLICACION AL ANALISIS DE ARBOL DE FALLA

## A.6.1 EVALUACION DE ARBOLES DE FALLA

A.6.2 ANALISIS DE IMPORTANCIAS  
(Importancia Probabilística Fussell Vessely)4.7 ALGUNOS CODIGOS DE COMPUTO EMPLEADOS EN EL ANALISIS  
DE RIESGOS

## 4.7.1 CODIGO ARBOL MAESTRO

A.7.2 CODIGO PAAF (Programa de Análisis de Arbol de Fallas)

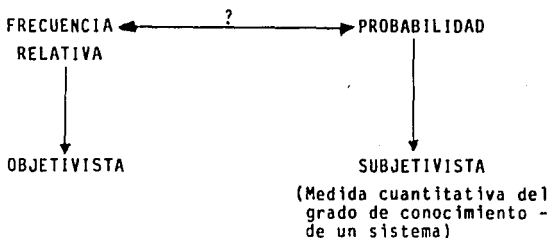
A.7.3 CODIGO DE IMPORTANCIA

FUNDAMENTOS DEL ANALISIS DE RIESGOS  
(Fundamentos matemáticos)

A.1 FRECUENCIA RELATIVA Y PROBABILIDAD

Definamos lo que es PROBABILIDAD.- Es una medida del conocimiento que tenemos de un cierto evento.

PROBABILIDAD SUBJETIVISTA.- Es la medida cuantitativa del grado de conocimiento.



Si tenemos un experimento aleatorio:

1er. AXIOMA: La probabilidad tiene que ser un número acotado entre 0 y 1

$$0 < P(E_k) < 1$$

Si  $P(E_k) = 1$   $E_k$  ocurre (en evento seguro)

Si  $P(\bar{E}_k) = 0$   $E_k$  es imposible.

2do. AXIOMA

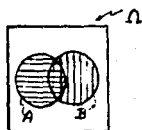
$$P(E_k) + P(\bar{E}_k) = 1 = \sum_k P(E_k) = 1$$

## TEORIA DE CONJUNTOS

OPERACIONES

SIGNIFICA

$A \cup B$	UNION	←	→	"∪"
$A \cap B$	INTERSECCION	←	→	"∩"
$\bar{A}$	COMPLEMENTO			
$B - A$	DIFERENCIA			



PROBABILIDAD DE EVENTOS:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$$

Si A y B son mutuamente exclusivos ( $A \cap B = \emptyset$ )  $P(A \cap B) = 0$ 

y

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B)$$

Formalmente se van despreciando términos que tienen una probabilidad baja, cuando el número de eventos es muy grande.

$$\text{Sea } P(A \cup B \cup C) = P(A) + P(B) + P(C) - P(A \cap B) - P(B \cap C) - P(A \cap C) + P(A \cap B \cap C)$$

Si A, B, C son mutuamente exclusivos; es decir:

$$A \cap B = B \cap C = A \cap C = \emptyset \text{ entonces:}$$

$$P(A \cup B \cup C) = P(A) + P(B) + P(C)$$



Generalizando:

### EVENTOS MUTUAMENTE EXCLUSIVOS

$$P \left[ \bigcup_{k=1}^n A_k \right] = \sum_{k=1}^n P(A_k)$$

### COTA SUPERIOR PARA LA PROBABILIDAD FINAL.

$$P \left[ \bigcup_{k=1}^n A_k \right] \leq \sum_{k=1}^n P(A_k)$$

### EVENTOS MUTUAMENTE INDEPENDIENTES

$$P(A \cap B) = P(A) * P(B)$$

### EVENTOS INDEPENDIENTES.

Se dice que los eventos  $B_1, \dots, B_n$  son independientes si la --ocurrencia o no ocurrencia de un evento es de ninguna manera afectada por la ocurrencia o no ocurrencia de otro evento básico.

La probabilidad de existencia simultánea para eventos independientes se reduce a:

$$Pr(B_1 \cap B_2 \cap \dots \cap B_n) = Pr(B_1) * Pr(B_2) * \dots * Pr(B_n)$$

### CALCULO DE INDISPONIBILIDAD USANDO FUNCIONES DE ESTRUCTURA.

$$Y_i = \begin{cases} 1 & \text{El evento básico ocurre} \\ 0 & \text{El evento básico no ocurre} \end{cases}$$

Para el "evento tope"

$$\mathcal{F}(Y) = \begin{array}{l} 1 \text{ El evento tope existe} \\ 0 \text{ El evento tope no existe} \end{array}$$

$Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$  Vector de eventos básicos.

<u>EVENTO</u>	<u>BOOLEANO</u>	<u>ALGEBRAICO</u>
$B_i$	$Y_i = 1$	$Y_i = 1$
$\bar{B}_i$	$Y_i = 0$	$Y_i = 0$
$B_i \cap B_j$	$Y_i \wedge Y_j = 1$	$Y_i Y_j = 1$
$B_i \cup B_j$	$Y_i \vee Y_j = 1$	$1 - [1 - Y_i] \cdot [1 - Y_j] = 1$

Nótese que:

$$\Pr(Y_i = 1) = E(Y_i) = \Pr(B_i)$$

$E(Y_i)$  Es el número esperado o probabilidad

Para un SISTEMA EN SERIE (AND): "Y" (+)

La función de estructura para  $B_1, \dots, B_n$  eventos básicos.

$$\begin{aligned} \mathcal{F}(Y) &= \mathcal{F}(Y_1, Y_2, \dots, Y_n) = \bigwedge_{i=1}^n Y_i \\ &= Y_1 \wedge Y_2 \wedge \dots \wedge Y_n \end{aligned}$$

En operadores algebraicos:

$$\mathcal{F}(Y) = \prod_{i=1}^n Y_i = Y_1 Y_2 \dots Y_n$$

Para un SISTEMA EN PARALELO (OR); "O" (.)

La función de estructura para  $B_1, \dots, B_n$  eventos básicos.

$$\begin{aligned} \mathcal{T}(Y) &= \mathcal{T}(Y_1, Y_2, \dots, Y_n) = \bigvee_{i=1}^n Y_i \\ &= Y_1 \vee Y_2 \vee \dots \vee Y_n \end{aligned}$$

En su forma algebraica:

$$\mathcal{T}(Y) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - Y_i) = 1 - [1 - Y_1] \cdot [1 - Y_2] \cdot \dots \cdot [1 - Y_n]$$

Generalizando:

$$P \left[ \bigcup_{k=1}^n A_k \right] = 1 - \prod_{k=1}^n P(A_k)$$

EVENTOS MUTUAMENTE INDEPENDIENTES.

3er. AXIOMA:

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B/A) = P(B) \cdot P(A/B)$$

Si A y B son mutuamente independientes:

$$P(A/B) = P(A)$$

$$P(B/A) = P(B)$$

Indicó que aunque no ocurra el elemento A de todas formas ocurre el elemento B.

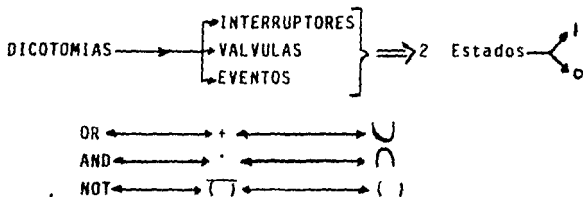
En General, la probabilidad de que ocurra un evento u otro, u otro, u otro cualquiera sera:

$$\underbrace{\sum F(A_n) - \sum \sum P(A_n A_m)}_{\text{COTA INFERIOR}} \leq P \left[ \bigcup_{n=1}^n A_n \right] \leq \underbrace{\sum_{n=1}^n P(A_n)}_{\text{COTA SUPERIOR}}$$

### A.1.1 ALGEBRA DE BOOLE

Algebra Booleana.- Algo puede ocurrir o no puede ocurrir, no hay casos intermedios.

Las variables en el álgebra de Boole toman uno y solo un valor de los dos posibles estados:



### REGLAS DEL ALGEBRA DE BOOLE

- LEY CONMUTATIVA  $X + Y = Y + X$   
 $X \cdot Y = Y \cdot X$
- LEY ASOCIATIVA  $X \cdot (Y + Z) = (X \cdot Y) + X \cdot Z$   
 $X + Y \cdot Z = (X + Y) \cdot (X + Z)$
- LEY IDEMPOTENTE  $X \cdot X = X$   
 $X + X = X$
- LEY DE ABSORCION  $X \cdot (X + Y) = X$   
 $X + X \cdot Y = X$



- COMPLEMENTACION  $x \cdot \bar{x} = \emptyset = \text{IMPOSIBLE (elemento vacio)}$   
 $x + \bar{x} = \cup = \text{EVENTO SEGURO}$   
 $\overline{(\bar{x})} = x$
- TEOREMA de DE MORGAN  $\overline{(x \cdot y)} = \bar{x} + \bar{y}$   
 $\overline{(x + y)} = \bar{x} \cdot \bar{y}$
- VARIOS  $\emptyset \cdot x = \emptyset$  ;  $\emptyset \cup x = x$   
 $\emptyset + x = \emptyset$  ;  $\emptyset \cdot x = \emptyset$   
 $\bar{\emptyset} = \cup$  ;  $\overline{\cup} = \emptyset$   
 $x + \bar{x} \cdot y = x + y$   
 $\bar{x} \cdot (x + \bar{y}) = \bar{x} \cdot \bar{y} = \overline{(x + y)}$

## EQUIVALENCIAS ENTRE FUNCIONES BOOLEANEAS

$$f(x, y) = x + y$$

$$g(x, y) = x + \bar{x} \cdot y$$

## TABLAS DE VERDAD

No.	x	y	f
1	0	0	0
2	0	1	1
3	1	0	1
4	1	1	1

No.	x	y	g
1	0	0	0
2	0	1	1
3	1	0	1
4	1	1	1



## REGLAS DEL ALGEBRA DE BOOLE

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

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

FUNCIONES BOOLEANAS  $\longleftrightarrow$  EVENTOS TOPE

$X_1, X_2, \dots, X_n$       PROBABILIDAD DE QUE EXISTA UNA FALLA EN  
TERMINOS DE EVENTOS NO DESEABLES.

$f(X_1, X_2, \dots, X_n)$   $\begin{cases} \rightarrow 1 & \text{OCURRE} \\ \rightarrow 0 & \text{NO OCURRE} \end{cases}$

## METODO DE SHANNON

$$\begin{aligned}
 f(X_1, \dots, X_n) &= X_1 \cdot f(1, X_2, \dots, X_n) \\
 &\quad + X_1' \cdot f(0, X_2, \dots, X_n)
 \end{aligned}$$

Cuando vale 0

Cuando vale 1

$f(X_1, X_2, \dots, X_n) = X_1 \cdot X_2 \cdot f(1, 1, X_3, \dots, X_n)$  Cuando se hace so  
 $+ X_1' \cdot X_2 \cdot f(0, 1, X_3, \dots, X_n)$  bre todos los X'S  
 $+ X_1 \cdot X_2' \cdot f(1, 0, X_3, \dots, X_n)$  aparece una combi  
 $+ X_1' \cdot X_2' \cdot f(0, 0, X_3, \dots, X_n)$  nación de  $2n$  tér-  
 minos mínimos, don  
 de cada término -  
 es disjuncto.

### - CONJUNTOS MINIMOS DE CORTE (CMC)

Conjuntos Mínimos de Corte.- Es la combinación más pequeña de eventos de falla tal que si todos ocurren entonces el elemento tope ocurre.



### - CONJUNTOS DE CORTE (CC)

Conjuntos de Corte.- Es la combinación de componentes cuya ocurrencia es suficiente para que ocurra el evento tope.

$$f(X, Y, Z) = \overbrace{X}^{\text{CMC}} + \overbrace{X \cdot Y}^{\text{CC}} + \overbrace{Y \cdot Z}^{\text{CMC}}$$

$$= X(1 + Y) + Y \cdot Z$$

$$f(X, Y, Z) = X + Y \cdot Z \quad \text{Expresión en términos de conjuntos mínimos de corte.}$$

Se utiliza mucho en el Análisis de Riesgos porque es un Modelo de Cuantificar, pero no nos dice cuál es la probabilidad de que ocurra la falla del sistema.

## A.2 CONFIABILIDAD, DISPONIBILIDAD Y MANTENIMIENTO.

CONFIABILIDAD,  $R(\theta)$ 

Se define como la probabilidad de que un componente o sistema funcione sin fallas durante un tiempo  $\theta$  y bajo condiciones específicas de operación.

INCONFIABILIDAD O PROBABILIDAD ACUMULADA DE FALLA,  $F(\theta)$ 

Se define como la probabilidad de que un componente o sistema falle antes del tiempo  $\theta$  bajo condiciones específicas de operación.

Nótese que:  $F(\theta) = 1 - R(\theta)$

DISPONIBILIDAD,  $A(\theta)$ .

Se define como la fracción de tiempo en que el componente o sistema puede usarse y funcionar sin fallas.

En otras palabras, la disponibilidad es la probabilidad de -- que un componente o sistema cumpla su función en las condiciones de operación especificadas, en un tiempo dado  $\theta$

Nótese que en general:  $R(\theta) \leq A(\theta) \leq 1$

## - CALCULO DE LA DISPONIBILIDAD DE UN COMPONENTE REPARABLE

a) Caso general

b) Caso con tasas de falla y reparación constante -- (se puede decir que es el caso de mayor aplicación)

c) Caso de un componente no reparable

En el caso de componentes o sistemas NO REPARABLES

$$R(\theta) = A(\theta)$$

INDISPONIBILIDAD,  $Q(\theta)$

Se define como la probabilidad de que el componente o sistema este en el estado no operable en el tiempo  $\theta$

Nótese que:  $Q(\theta) = 1 - A(\theta)$

A.3 TASA DE FALLAS,  $\lambda(\theta)$

Se define como la probabilidad por unidad de tiempo, de que - un componente o sistema falle en el intervalo  $(\theta, \theta + d\theta)$ , -- con la condición de que no haya fallado hasta el tiempo  $\theta$ .

De donde se denota que se trata de una PROBABILIDAD CONDICIONAL por unidad de tiempo.

A.4 TASA DE REPARACION,  $\mu(\theta)$

Se define como la probabilidad por unidad de tiempo, de que - el componente o sistema se reape en el intervalo  $(\theta, \theta + d\theta)$  con la condición de que estuviera en un estado de falla hasta el tiempo  $\theta$

Se trata también de una PROBABILIDAD CONDICIONAL por unidad - de tiempo.

INTENSIDAD DE FALLA,  $W(\theta)$ 

Se define como la probabilidad por unidad de tiempo de que el componente o sistema falla en el intervalo  $(\theta, \theta + d\theta)$ .

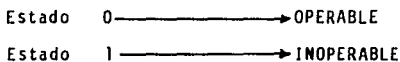
NUMERO ESPERADO DE FALLAS,  $W(\theta_1, \theta_2)$ 

El número esperado de fallas en el intervalo de tiempo entre  $\theta_1$  y  $\theta_2$  denotado por  $W(\theta_1, \theta_2)$  se define como:

$$W(\theta_1, \theta_2) = \int_{\theta_1}^{\theta_2} W(\theta) d\theta$$

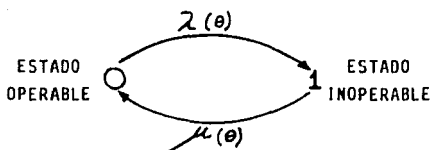
## CALCULO DE LA DISPONIBILIDAD DE UN COMPONENTE REPARABLE\*

- i) El componente esta inequivocadamente en uno y solo uno de dos estados posibles.



- ii) El componente puede fallar, es decir pasar del estado 0 al estado 1, en cualquier momento e, inmediatamente despues de fallar, puede repararse y - quedar operable en cualquier momento.

CASO GENERAL:



$\lambda(\theta)$ : Probabilidad por unidad de tiempo de que el componente falle en  $(\theta, \theta + d\theta)$  dado que estará operable hasta el tiempo  $\theta$ .

$\mu(\theta)$ : Probabilidad por unidad de tiempo de que el componente falle en  $(\theta, \theta + d\theta)$  dado que estaba inoperable hasta el tiempo  $\theta$ .

OBTENCION DE LA ECUACION GENERAL:

$$A(\theta + \Delta\theta) = [1 - \lambda(\theta) \Delta\theta] A(\theta) + \mu(\theta) \Delta\theta Q(\theta)$$

PROBABILIDAD  
DE QUE NO SUFRA  
TRANSICION  
 $0 \rightarrow 1$  EN  $\Delta\theta$ .

PROBABILIDAD  
CONDICIONAL  
DE QUE SUFRA  
TRANSICION  
 $\theta \rightarrow 1$  EN  $\Delta\theta$ .

PROBABILIDAD  
CONDICIONAL DE  
QUE SUFRA TRAN  
SICION  $1 \rightarrow \theta$   
EN  $\Delta\theta$ .

Como:  $Q(\theta) = 1 - A(\theta)$ , entonces:

$$\frac{A(\theta + \Delta\theta) - A(\theta)}{\Delta\theta} = \mu(\theta) - [\lambda(\theta) + \mu(\theta)] A(\theta)$$

$$\lim_{\Delta\theta \rightarrow 0} \frac{A(\theta + \Delta\theta) - A(\theta)}{\Delta\theta} = \mu(\theta) + [\lambda(\theta) + \mu(\theta)] A(\theta)$$

$$\frac{d A(\theta)}{d\theta} = \mu(\theta) - \lambda(\theta) + \mu(\theta) A(\theta)$$

$$A'(\theta) + \left[ \lambda(\theta) + \mu(\theta) \right] A(\theta) - \mu(\theta) = 0$$

Nos interesa --  
 calcular la probabilidad de --  
 que en un momento dado el componente esté --  
 operable.

La solución general de esta ecuación es:

$$A(\theta) = e^{-\int_a^\theta [\lambda(\theta') + \mu(\theta')] d\theta'} \left[ A(a) + \int_a^\theta \mu(\theta') e^{\int_a^{\theta'} [\lambda(\theta'') + \mu(\theta'')] d\theta''} d\theta' \right]$$

Esta ecuación es la expresión más general para evaluar la disponibilidad de un componente desde  $\theta_0$  a  $\theta$ , es decir: Expresa la probabilidad de que el componente esté operable desde el tiempo  $\theta_0$  al tiempo  $\theta$ .



CASO: CON TASAS DE FALLA Y REPARACION CONSTANTE.

En este caso y suponiendo que el componente esta inicialmente operable, tenemos que:

$\theta_0 = \theta \Rightarrow A(\theta) = 1$  Componente inicialmente operable

$\mu(\theta) = \mu$  Tasa de reparación constante

$\lambda(\theta) = \lambda$  Tasa de fallas constante

Sustituyendo estos valores en la solución general:

$$A(\theta) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)\theta}$$

Esta expresión si es manejada en la práctica

Esta ecuación da la Disponibilidad,  $A(\theta)$  de un componente inicialmente operable, con tasas de falla y reparación constantes.

La intensidad de Falla  $W(\theta)$ , en este caso esta dada por:

$$W(\theta) = \lambda A(\theta)$$

de donde:

$$W(\theta) = \frac{\mu \lambda}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda^2}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)\theta}$$

## CASO: DE UN COMPONENTE NO REPARABLE

(Se puede decir que es el más utilizado en el Análisis de Riesgos).

$\mu(\theta) = 0$  Una vez que falle ya no se puede recuperar

Además:  $A(\theta) = R(\theta)$

en consecuencia

$$R(\theta) = e^{-\lambda\theta}$$

Esta ecuación representa la confiabilidad de un componente -- con Tasa de Fallas Constantes

La Inconfiabilidad o Probabilidad Acumulada de Fallas está dada por:

$$F(\theta) = 1 - R(\theta)$$

de donde:

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

Nos indica la probabilidad de que el componente falle antes del tiempo  $\theta$

En este caso, la Intensidad de Falla se denota  $f(\theta)$ , y esta dada por:

$$W(\theta) = F(\theta)$$

$$F(\theta) = \lambda R(\theta)$$

$$f(\theta) = \lambda e^{-\lambda\theta}$$

Función de distribución Lineal

El número esperado en fallas, desde el inicio de vida del componente hasta el tiempo  $\theta$ ,  $W(0, \theta)$  esta dado por:

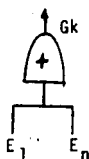
$$W(0, \theta) = \int_0^{\theta} w(\theta) d\theta$$

De donde:

$$W(0, \theta) = \frac{\lambda \mu \theta}{\lambda + \mu} = \frac{\lambda^2}{(\lambda + \mu)^2} \left[ 1 - e^{-(\lambda + \mu)\theta} \right]$$

## A.6 APLICACION AL ANALISIS DE ARBOL DE FALLA

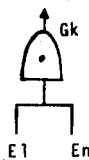
## ARBOLES DE FALLA

Compuertas Lógicas

COMPUERTA "O" OR (más)

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

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



COMPUERTA "Y" AND (por)

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

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

## COMPLEMENTACION



$$G = \bar{E}$$

$$P(G) = P(\bar{E}) = 1 - P(E)$$

## EVALUACION DE ARBOLES DE FALLA

### EVALUACION CUALITATIVA:

- Conjuntos Mínimos de Corte (CMC)
- Importancias Cualitativas

### EVALUACION CUANTITATIVA

- Probabilidad de Falla:
  - . Componentes
  - . Conjuntos Mínimos de Corte (CMC)
  - . Sistema
- Importancias Cuantitativas
  - . Fussell - Vesely
- Análisis de Sensitividad

IMPORTANCIA PROBABILISTICA (Fussell-Vessely)

$$T = \sum_{k=1}^n M_k$$

$$M_k = \prod_{j=1}^{n_k} E_j$$

$$Q_T \approx \sum_{k=1}^n Q_k$$

$$Q_k \approx \prod_{j=1}^{n_k} q_j$$

$$I_k = \frac{Q_k}{Q_T}$$

Conjunto Mínimo de Corte

$$I_e = \frac{E_e \sum M_k}{Q_T} Q_k$$

## ANALISIS DE IMPORTANCIA

Las Importancia Probabilística se define como la contribución de un componente o conjunto de corte a la ocurrencia del evento tope.

Esta importancia es una función del tiempo, características de reparación y a la estructura del sistema.

Existen varias medidas de importancia como son Birlow, Criticality, Fussell-Vessely, Vpgradign, etc., todas ellas contenidas en el Código Importance desarrollado por el Dr. Howard - Lambart.

## MEDIDA DE IMPORTANCIAS FUSSELL-VESELY

a) Para componentes:

$$I_i^{FV}(\theta) = \frac{g_i(Q)(\theta)}{G(Q)(\theta)}$$

donde:

$$g_i(Q)(\theta) = \Pr \left[ \bigvee_j \bigwedge_{k \in K_j} Y_k = 1 \right] = \text{Probabilidad de la unión de todos los conjuntos de corte que contienen el evento básico } i.$$

$g(Q(\theta)) = \Pr(\mathcal{Y}(\gamma)=1) = E(\mathcal{Y}(\gamma)) =$  La función  
 que tiene -  
 la probabi-  
 lidad del -  
 evento tope  
 en términos  
 del vector  
 de probabi-  
 lidades de  
 los eventos  
 básicos.

b) Para conjuntos de corte:

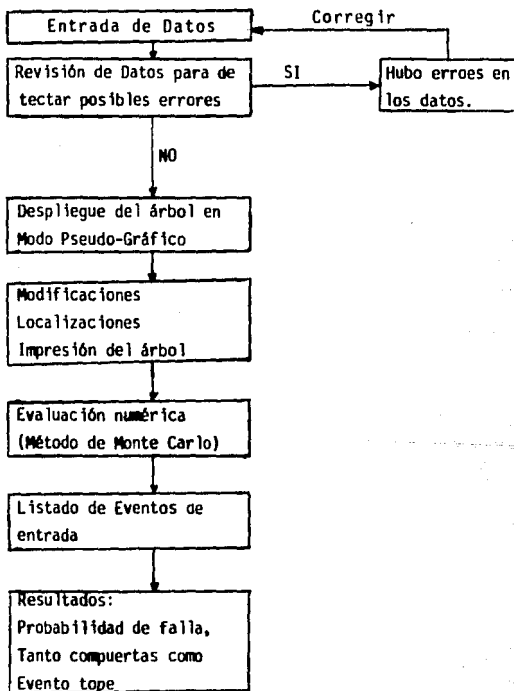
$$I_k(\theta) = \frac{Q_k}{Q_s(\theta)}$$



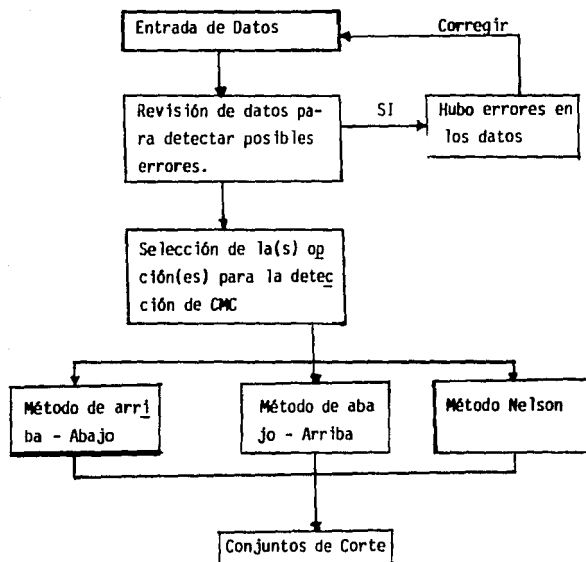
## ALGUNOS CODIGOS DE COMPUTO EMPLEADOS EN EL ANALISIS DE RIESGOS

- TREE - MASTER
- FTAP (Faul Tree Analysis Program)
- IMPORTANCE

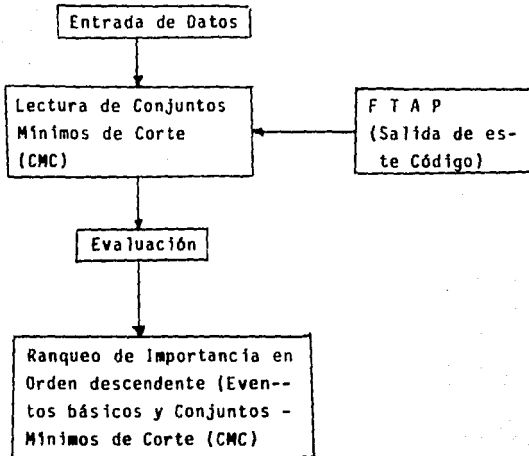
## CODIGO TREE - MASTER



## CODIGO FTAP (Faul Tree Analysis Program)



## CODIGO IMPORTANCE



APENDICE "B"

ANALISIS ECONOMICO COSTO - BENEFICIO

- B.1 CRITERIOS PARA EL ANALISIS
- B.2 TASA DE ACCIDENTES FATALES
- B.3 RECUPERACION DE AL MENOS PARTE DEL GASTO
- B.4 CONVERSION DE LA TASA DE ACCIDENTES FATALES  
A TASA DE RIESGOS
- B.5 ESTIMACION DE LA FRECUENCIA DE ACCIDENTES
- B.6 DEMANDAS FRECUENTES
- B.7 DEMANDAS CONSTANTES

### B.1 CRITERIOS PARA EL ANALISIS

Un accidente puede causar un daño por 1'000,000 U.M. (Unidades monetarias), pero hay posibilidad de daño al personal y se ha estimado que ocurre una vez cada 1,000 años.

El costo promedio será de 1,000 U.M./año. El criterio sería gastar en mantenimiento, depreciación e intereses hasta de - 1,000 U.M./año, pero no más.

### B.2 TASA DE ACCIDENTES FATALES (TAF)

La tasa de accidentes fatales (TAF).- Es el número de accidentes mortales que ocurren en una instalación por cada ---- 1,000 empleados durante su operación, considerando una vida útil de 10 horas de trabajo.

En la Industria Química en países como Estados Unidos de Norteamérica y el Reyno Unido, se tiene un valor aceptado como especificación no mayor de 2 al considerar que se tienen - - identificados los riesgos en una actividad en particular, es decir TAF=2.

Sin embargo, al no suceder esto tratan de mantener un valor no mayor de 0.4. Algunos valores de riesgos se dan a continuación:

- a) Riesgos industriales ordinarios.  
Caídas de escaleras, tropiezos, resbalones, etc.

$$TAF = 2.0$$

- b) Riesgos químicos  
Fuego, tóxicos, corrosivos, etc.

TAF = 2.0

(Para este caso se puede usar un método como el Dow Index (veáse Cap. IV)

El número de tasa de accidentes fatales (TAF) para ciertas - industrial, ha sido resumido en la Tabla: B.1

TABLA: B.1 "TAF PARA VARIAS INDUSTRIAS"

Ropa y calzado	0.15
Transportes	1.30
Industria Química	4.00
Manufacturas metálicas y construcción de barcos	8.00
Agricultura	10.00
Pesca	36.00
Trabajos de Construcción	67.00
Jinetes de caballos en carreras	50,000.00
Tripulación aérea	250.00

Analizando los últimos 4 renglones de la Tabla: B.1, debemos recordar que los trabajadores aéreos están expuestos en jornadas de menos de 40 hrs. a la semana, y jinetes de caballos en carreras a mucho menos.

Se podrá deducir que algunas compañías podrán tener más bajos estos promedios (esto se ilustra con las Tablas: B.2 y - B.3:

TABLA: B.2 "TAF PARA ACTIVIDADES NO INDUSTRIALES"

Estando en casa	3.0
Viajando en autobús	3.0
Viajando en tren	5.0
Viajando en automóvil	57.0
Viajando en bicicleta	86.0
Viajando en avión	240.0
Viajando en motocicleta	660.0
Viajando en canoa	1000

TABLA: B.3 "TAF PARA OTRAS FORMAS O CAUSAS DE MUERTE"

Cáncer estomacal (mujeres)	4.0
Todos los accidentes (mujeres)	9.0
Cáncer pulmonar (hombres)	10.0
Enfermedades respiratorias (hombres)	22.0
Enfermedades cardiovasculares (hombres y mujeres)	61.0
Todas causas	133.0

## B.3 LA RECUPERACION DE AL MENOS PARTE DEL GASTO

Se puede realizar por medio de:

- Pagos de menores primas de seguro
- En la mayor confiabilidad que producen tales medidas de seguridad.

## B.4 CONVERSION DE LA TAF A TAZA DE RIESGOS (TR)

La tasa de riesgos (TR).- Es la velocidad a la que se producen los accidentes peligrosos.

- Cualquier actividad en el ser humano involucra un cierto tipo de riesgo, aún permaneciendo en el hogar. Continuamente aceptamos riesgos al considerar que podemos obtener algún tipo de beneficio.

$$TR = R * N * P * 10^8 / H \text{ ----- (1)}$$

Donde:

R = Razón de que ocurre el evento (eventos/año)

N = Número de personas expuestas al evento.

P = Probabilidad de que las personas expuestas mueran

H = Número de horas laboradas (Hrs./Año.)

En el factor  $10^8$  se obtiene al considerar una industria típica con alrededor de 1,000 empleados con un promedio de vida útil de trabajo de 40 años laborando, incluyendo un ligero -



factor de tiempo extra.

$$1,000 \text{ Hombres} * 40 \text{ años} * 2,500 \frac{\text{Hrs.}}{\text{año}} = 100'000,000 \text{ H} - \text{H}$$

Ejemplo: Supóngase que un cierto trabajo se ejecuta por un hombre que labora 2,000 Hrs./año en promedio y que exista el riesgo de que pierda la vida cuando suceda un cierto accidente. ¿Cuál es la razón de la ocurrencia del evento, si se mantiene un TAF = 0.40?

Despejando de (1) y sustituyendo datos:

$$R = \frac{\text{TAF} * \text{H}}{\text{N} * \text{P} * 10^8} = \frac{0.40 * 2,000}{1 * 1 * 10^8} = 8 * 10^{-6} \frac{\text{eventos}}{\text{Año}}$$

Que equivale a:

$$\frac{1}{R} = \frac{1 \text{ eventos} * \text{año}}{8 * 10^{-6} \text{ eventos}} = 125,000 \text{ años}$$

Lo cual es equivalente a decir que ocurre una muerte cada -- 125,000 años.

- Si se considera un promedio de horas laboradas anuales como de 8,000 y tomando una jornada de 3 turnos de 8 Hrs. c/u, al rolar gente, se tendrá que:

$$H = 8,000 \frac{\text{Hrs}}{\text{Año}} = \frac{\text{Día}}{24 \text{ Hrs.}} = 333.33 \frac{\text{Días laborables}}{\text{Año}}$$

de donde:

$N = 3$  Personas

entonces:

$$R = \frac{0.40 * 8,000 * 10^{-8}}{3 * 1}$$

$P = 1$

$H = 8,000$  Hrs./Año

$$R = 1.06 * 10^{-5}$$

eventos  
Año

TAF = 0.40

Lo cual equivale a: Una muerte c/94,340 años.

Concluyendo:

A mayor exposición al evento, mayor riesgo de muerte.

La base para considerar el riesgo industrial para el público es un riesgo promedio de  $10^{-7}$  personas/año. Si este es mayor, se dará prioridad para su eliminación.

#### B.5 ESTIMACION DE LA FRECUENCIA DE ACCIDENTES

Este método se usa cuando no se tienen datos estadísticos ni experiencia previa, sea:

TAZA DE RIESGOS:	Incidentes/año - TR
SISTEMAS DE PROTECCION:	Ejems: Válvulas de seguridad, Interlocks, etc.
INTERVALO DE PRUEBA:	Tiempo (T)
TAZA DE DEMANDA:	Operación del sistema protegido/año = TD
TAZA DE FALLA:	Fallas del sistema protegido/año = TF
FRACCION EN TIEMPO MUERTO:	Es la probabilidad de falla del

sistema protegido cuando se le requiera = FTM

Definiendo:

$$TR = T.D * FTM$$

Taza de Riesgo = Taza de Demanda \* Fracción en tiempo muerto.

Ejemplo: 1

Falla en válvula de seguridad: TF = 0.01/año (una vez cada 100 años)

Intervalo de prueba:

T = 1.0 años (Típico); Si se considera que las fallas se pueden presentar normalmente a la mitad del intervalo, esto que rra decir que la válvula podrá durar "muerta" hasta 6 meses cada 100 años o sea:  $\frac{1}{TF} = \frac{1}{2} = \frac{1}{100} = 0.005$  de el tiempo, - este es la fracción en tiempo muerto.

Si la TD es 1/año:

De donde la TAZA DE RIESGO será de:

TR = Taza de Riesgo =  $\frac{1}{Año} * \frac{1}{2} T = 0.005/año$  ó 1 vez en 200 años.

Ejemplo: 2

Supóngase que las fallas se presentan a una tasa (TF=1 vez/2 años) ó 0.5/año ( esto es más frecuente que las válvulas de seguridad).

Entonces sí:

$T = 1$  semana (intervalo entre pruebas)

$TD = 1$  año.

Calcular:

- La fracción de tiempo muerto (FTM)
- La tasa de riesgo (TR)

Respuesta:

El sistema estará muerto 3.5 días a 1 vez cada 2 años

$$FTM = 3.5 / (2 \cdot 365) = 0.0048 \text{ ó } 1 \text{ vez cada } 208.57 \text{ años} = TR$$

Con pruebas cada mes:

$$FTM = 15 / (2 \cdot 365) = 0.0205 \text{ ó } 1 \text{ vez cada } 48.66 \text{ años} = TR$$

Con pruebas cada año:

$$FTM = 182.5 / (2 \cdot 365) = 0.25 \text{ ó } 1 \text{ vez cada } 4.0 \text{ años}$$

## B.6 DEMANDAS FRECUENTES

Sean:

$$TD = 100/\text{año}$$

$$T = 0.10$$

$$TF = 0.50/\text{año}$$

Calcular:

La fracción en tiempo muerto (FTM) y la tasa de riesgo (TR)

Respuesta:

$$FTM = TD * 0.5 TF * T = 100 * 0.50 * 0.50 * 0.10 = 2.5/\text{año}$$

De hecho el riesgo será casi igual a la tasa de fallas - - - (0.50/año) debido a que:

- Siempre habrá una demanda en tiempo muerto
- La falla se detectará y se reparará

## B.7 DEMANDA CONSTANTE

Ejemplo:

El sistema de frenos de un auto:

$$TF = 0.1/\text{año}$$

$$T = 1.0/\text{año}$$

$$TD = 10^{-4}/\text{año (valor supuesto)}$$

La tasa de riesgo sera (TR):

$$TR = TD * 0.5 TF = 10^{-4} * 0.5 * 0.1 * 1.0 = 500/\text{año}$$

Observaciones:

En este caso la respuesta es:

0.1/año la ecuación y el supuesto no sean correctos

Para este caso es necesario usar una ecuación que explique - el fenómeno en forma más exacta como:

$$TR = TF * \left( 1 - e^{-\frac{TD * T}{2}} \right)$$

Con las siguientes consideraciones:

a) Si:  $(TD * T)/2$  es pequeña  $\Rightarrow TR = 1/2 (TF * TD * T)$

b) Si:  $(TD * T)/2$  es grande  $\Rightarrow TR = TF$

c) Si:  $1/2 (TF * TD * T) > TF \Rightarrow TR = 1/2 (TF * TD * T)$

d) Si:  $1/2 (TF * TD * T) < TF \Rightarrow TR = TF$

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- PROPIEDADES FISICAS DEL MCV  
Hydrocarbon Proccesing, Vol. 5, No. 6  
June, 1966
- CALCULATIN LOSS EXPOSURES  
Analyzing Risk  
November 17, 1968  
Chemical Engineering
- ANALYSPING INDUSTRIAL RISKS  
Risk Analyzing  
October 20, 1969  
Chemical Engineering
- ESTIMATING LOSS PROBABILITIES  
Analyzing Risk  
December 15, 1969  
Chemical Engineering
- FINDING THE CRITICAL PATH TO LOSS  
Analyzing Risk  
January 26, 1970  
Chemical Engineering
- REGLAS BASICAS DE SEGURIDAD PARA EL MANEJO  
DE CLORURO DE VINILO EN LA INDUSTRIA.  
Boletin de Seguridad Industrial No. 46  
PEMEX, 1971

- **FAULT TREE SYNTHESIS FOR CHEMICAL PROCESSES**  
Gary J. Powers & Frederick C. Tompkins, Jr.  
Aiche Journal (Vol. 20, No. 2)
  
- **OPERATIBILITY STUDIES AND HAZARD ANALYSIS**  
Chemical Engineering Progress Vol. 70, No. 4  
April, 1974
  
- **HIGH-PRESSURE-TRIP SYSTEMS FOR VESSEL PROTECTION**  
High-Pressure Trip Systems  
Mayo 12, 1975  
Chemical Engineering
  
- **ANALIZE LOSSES BY DIAGRAM**  
Safety Guidelines  
Hydrocarbon Processing  
September, 1975
  
- **EVALUATE RISK IN PLANT DESIGN**  
Safety Guideline  
Hydrocarbon Processing  
May, 1977
  
- **DESIGN HPI PLANTS FOR SAFETY**  
Safety Guidelines  
Hydrocarbon Processing  
November, 1981
  
- **EJECUCION DE PROYECTOS DE INGENIERIA**  
Humberto Fernández Faccine  
Petróleos Colombianos (COPETROL)  
1983



- FAULT TREE HANDBOOK  
W. Veseley  
Nuclear Relatory Commission  
1986
- NOTAS DEL CICLO DE CONFERENCIAS "INTRODUCCION AL  
ANALISIS DE RIESTOS"  
Con la participación del IMP y la SEMIP  
Noviembre, 1986  
México
- ESPECIFICACIONES PARA LAS PROTECCIONES CONTRAINCEN  
DIO EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO  
GPES1 - S1 - 3600, PEMEX (1987)
- PERSPECTIVA HISTORIA DEL ANALISIS DE RIESGO EN EL MUNDO  
Ing. Luis Miguel Covarrubio M.  
Diplomado de Actualización a Profundidad en Seguridad e  
Higiene en Plantas de Proceso.  
Facultad de Química, U.N.A.M.  
México, 1987
- APLICACION DE LOS ARBOLES DE FALLAS PARA EL ANALISIS  
DE SEGURIDAD DE PROCESOS EN LA INDUSTRIA QUIMICA  
Juan Arellano G. & R. Alejandro Lorea  
Revista IMIQ,  
Nov. - Dic., México, 1989
- MANIPULADOR SIMBOLICO DE ARBOL DE FALLAS SIMPLIFICADO  
Ing. Ricardo Hernández Paramont  
Sección: Ingeniería Química  
FES-Cuautitlán U.N.A.M.  
1989 - 1990