



300618

UNIVERSIDAD LA SALLE <sup>20</sup>

ESCUELA DE QUIMICA <sup>24</sup>

INCORPORADA A LA U.N.A.M.

**"APLICACION Y EVALUACION DE LOS SISTEMAS  
DE ANALISIS DE RIESGOS, PARA UNA PLANTA  
PURIFICADORA DE BUTADIENO"**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO QUIMICO**  
P R E S E N T A N :  
**LAURA SANDRA MORALES RUIZ**  
**CLAUDIA SOUBERVILLE VELASCO**

DIRECTOR DE TESIS: ING. JORGE GARCIA ACEVEDO

MEXICO, D. F.

1993

**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.

## INDICE

<input type="checkbox"/>	CAPITULO I .....	INTRODUCCION	1 - 8
-	Introducción.....		1
-	Antecedentes Históricos.....		3
-	Ambito de Alternativas para una Evaluación de Riesgos.....		7
<input type="checkbox"/>	CAPITULO II	SISTEMAS DE ANALISIS DE RIESGOS	9 - 164
-	Riesgos y su Evaluación.....		9
-	Toma de Decisiones.....		10
-	Criterios para su Estudio.....		10
-	Criterio de Hurwicz.....		11
-	Criterio de Laplace.....		11
-	Criterio de L.J. Savage.....		11
-	Identificación de Riesgos.....		11
-	Identificación del Escenario.....		12
-	Metodología para el Planteamiento y Resolución de Problemas.....		13
-	Estudios en la Etapa de Congelación del Diseño.....		14
-	Estudios sobre plantas existentes.....		15
-	Técnicas para la Evaluación de Riesgos.....		16
-	Evaluación de Riesgos.....		19
-	Magnitud del Riesgo (MR).....		21
-	Análisis Preliminar de Riesgos (PHA).....		23
-	Análisis de Criticidad (CA).....		24
-	Análisis de Causa Consecuencia (CCA).....		24
-	Qué Pasa Si.....		24
-	Estudios de Riesgo y Operabilidad (HAZOP).....		27
-	Análisis de Riesgo Sistemático.....		34
-	Arbol de Fallas.....		35
-	Arbol de Análisis de Eventos.....		46
-	Nubes Explosivas.....		48
-	Indice Dow de Fuego y Explosión.....		60
-	Indice Mond de Fuego y Explosión.....		78
-	Apéndice A: - Tablas de Calores de Combustión y de Riesgos de Sustancias.....		150
-	Cuadro Comparativo de las Técnicas de Identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos.....		160
<input type="checkbox"/>	CAPITULO III	DESCRIPCION DEL PROCESO	165 - 178
-	Diagrama de Bloques de Proceso.....		166
-	Diagrama de Flujo de Proceso.....		167
-	Bases de Diseño.....		172

<input type="checkbox"/>	CAPITULO IV IDENTIFICACION DE PELIGROS Y EVALUACION DE RIESGOS	179 - 203
-	Explicación de la Técnica usada para Identificar los Peligros	
-	Evaluación de Riesgos	
<input type="checkbox"/>	CAPITULO V CONCLUSIONES	204 - 210
-	Conclusiones: - Establecimiento de Medidas para la Prevención y Control de Riesgos ....	204
-	Cuadro de Medidas Preventivas y Recomendaciones.....	208
<input type="checkbox"/>	BIBLIOGRAFIA.....	210 - 211

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

El desempeño de cualquier actividad laboral lleva implícita la posibilidad de que durante su desarrollo se produzcan situaciones de exposición a riesgos cuyas consecuencias se traducen generalmente en perjuicio de la vida, la salud, la integridad física de los trabajadores, el deterioro de las instalaciones, equipos, herramientas y materiales, y la alteración del medio ambiente con elevados costos en términos humanos, sociales, ecológicos y económicos, cuyas proporciones suelen ser mayores de lo que aparentan.

Un simple parpadeo puede ocasionar la muerte, un descuido, producir una lesión permanente, ¿Cuántas personas se enfrentan al largo como irreversible desamparo a causa de lo que se ha dado por llamar eufemísticamente "accidente de trabajo"?

Si el término accidente denota sólo la transgresión de aquello que se acepta o considera como normal, la verdad es que el concepto ha caído en lastimera como peligrosa verborrea. Accidente así, es simple descuido, irreflexión momentánea, culpabilidad probada del ciudadano en la calle o del trabajador en la fábrica.

Pero atrás de cada accidente y cada accidentado hay un mundo complejo que se presenta día a día tanto en la vida personal como en las obligaciones del trabajador que se ve inmerso en un creciente y envolvente mundo de riesgos, en fin, que un simple término: "accidente de trabajo" puede cambiar la vida y la historia de varias personas.

Frente a lo anterior, la prevención de los acontecimientos indeseables que se pueden presentar en las instalaciones de cualquier lugar juega un papel fundamental, sobre todo teniendo en cuenta la alta tecnología, gran magnitud, alto riesgo y alta prioridad que se demandan actualmente en el mundo moderno.

Bajo esta perspectiva, cobra valor vital una de las tantas tareas que desarrolla actualmente la seguridad e higiene, como lo es, la "evaluación de riesgos", como base para emprender acciones ulteriores de prevención y control de accidentes y enfermedades profesionales, así como de accidentes industriales.

Para ello es válido y necesario aprovechar todos los conocimientos que durante los últimos años han venido desarrollándose gradualmente en este campo. Razón por la cual hemos considerado conveniente hacer un pequeño pero completo estudio de las técnicas más usuales, que se han generado a partir de dichos conocimientos.

La industria moderna sabe cómo eliminar los peligros de trabajo. Sin embargo, son muchos los accidentes que se producen aún por no haberse tomado las medidas necesarias para determinar los mismos. Evidentemente, sin estudiar antes un trabajo para determinar dichos peligros no es posible eliminar estos últimos.

Entre los trabajos u operaciones cuyos peligros no se han analizado hay muchos de naturaleza no repetitiva, que son precisamente los que suelen causar más accidentes.

Si agregamos a esto que muchas de las leyes no se cumplen y que los patronos no tienen mayor interés en el cuidado de la mano de obra ya que cuentan con la protección del Seguro Social, la situación se torna difícil.

Por si fuese poco aún, podemos aunar a la interminable lista de percances, la falta de interés o ética al no informar los accidentes ocurridos; presumiblemente, en algunas ocasiones esto se hace para evitar inspecciones. El resultado lamentable de no informar los accidentes radica en que estos no son investigados para determinar y eliminar las causas.

Amargamente, se demostró que algunas de las causas más importantes fueron: el temor del trabajador a ser reprimido, la ignorancia, la vergüenza con sus compañeros, el deterioro del record, desagrado ante papeleo y trámites, o simplemente, que no hay respuesta.

Por otro lado, no debemos olvidar que los accidentes no suceden, son causados y que aún cuando puede darse el caso de que la maquinaria y equipo no estén en óptimas condiciones, también el trabajador puede encontrarse en mal estado.

A esto podemos y debemos de hacer conciencia que un buen estado de salud, tanto físico como mental conllevará a un desarrollo satisfactorio de pensamiento y actividad.

La fatiga, ya sea mental o física, es una de las causas más importantes en la disminución de la eficiencia en el ser humano. Generalmente, las primeras actividades que sufren las consecuencias son el control en la coordinación de las actividades y la dirección de los movimientos.

Mediante la educación y la cultura, la higiene mental favorece el desarrollo armonioso de las funciones de adaptación del individuo a un mundo complejo y agitado. Considerando que para el desarrollo de un país se necesita de: a) energía, b) materiales, y c) medios de comunicación; y que aunado a esto se debe capacitar al trabajador y muy probablemente a la gente que está en su entorno, gravemente encontraremos que en la realidad es inexistente.

¿Qué dicen nuestras legislaciones al respecto? "El trabajo es un derecho y un deber social. No es artículo de comercio, exige respeto para las libertades y dignidad de quien lo presta y debe efectuarse en condiciones que aseguren la vida y la salud y un nivel económico decoroso para el trabajador y su familia"

Se establece la diferencia entre riesgo de trabajo y enfermedad del trabajo, para lo cuál se crean instituciones especializadas.

En México la Medicina del Trabajo se remonta a no más de 50 años. Para la década de los 30's se habían integrado la Secretaría de Salubridad y Asistencia ( con su Dirección de Higiene Industrial), el Departamento del Distrito Federal ( con su Dirección de Trabajo y Previsión Social) y el Departamento del Trabajo (con una Oficina Médica del Trabajo).

Con la aparición de la Ley del Seguro Social Obligatorio, en 1934, surgió el IMSS y dentro de él un Departamento de Riesgos Profesionales. Este se transformó en 1975 en la Jefatura de los Servicios de Medicina del Trabajo.

#### **ANTECEDENTES HISTORICOS**

Antiguamente los accidentes y enfermedades solían ser atendidos por instituciones de beneficencia, que si bien eran incompetetas, cumplían un importante papel. Las prestaciones que obtenía la víctima del accidente no derivaban del hecho del accidente o la enfermedad, sino de la asistencia y ayuda mutua a que todo integrante del gremio tenía derecho.

Con la aparición del maquinismo y la aplicación de nuevas fuerzas incrementó el número de accidentes de trabajo. A fines del siglo XVIII, se despierta la preocupación del Estado por solucionar estos problemas.

Las Leyes de Indias son antecedentes de la Legislación referente a los accidentes y enfermedades de trabajo. En La Nueva España existieron disposiciones encaminadas a la prevención de accidentes en las minas.

En el año de 1812 en Inglaterra, se dictó una ley que reglamentaba el trabajo de los aprendices y señalaba las obligaciones de los patrones en materia de higiene y seguridad, tomada posteriormente en México.

Durante el Porfiriato, las huelgas de Río Blanco, Cananea y las de los ferrocarrileros fueron impulsadas por los sectores progresistas de la sociedad y afectaron a ramas claves de las actividades industriales, pero no tuvieron el éxito esperado.

Durante los años de 1904 y 1916 los Estados de la Federación promulgaron leyes de trabajo, mismas que se consideran antecedentes del Artículo 123 Constitucional vigente.

En el año de 1917 se promulga la Carta Magna vigente que en su articulado consagró garantías de tipo social; en el Artículo 123 en favor de la clase trabajadora y en el 27 del campesino.

Es importante destacar que con el Artículo 123 Constitucional nace el derecho del trabajo como una rama autónoma que fue ubicada dentro del campo del derecho público.

La relación de trabajo salió del ámbito del derecho civil, lo cual benefició notablemente al trabajador.

Las legislaturas de los estados serían las encargadas de elaborar sus leyes de trabajo y de prever en éstas las disposiciones que reglamentarán las fracciones comentadas; así, a partir de 1917 y durante 12 años, se expidieron diversas leyes de trabajo.

En el año de 1929 el Presidente de la República, licenciado Emilio Portes Gil, presenta una iniciativa para reformar la Constitución, en la que se plantea la necesidad de expedir una "Ley de Trabajo" de carácter Federal, para que tanto los derechos como las obligaciones de obreros y patrones sean uniformes y así dar término a los conflictos existentes en los Estados, debidos a la diversidad de leyes al respecto.



El 18 de agosto de 1931 se expide la primera Ley Federal del Trabajo, que promueve el mejoramiento de las condiciones de vida de los trabajadores.

El artículo 3º de esta ley establece la necesidad de instalar las fábricas, talleres, oficinas y otros centros de trabajo conforme a los principios de higiene para evitar perjuicios al trabajador, procurando que no se desarrollen enfermedades epidémicas o infecciosas, organizando el trabajo "de modo que resulte para la salud y la vida del trabajador, la mayor garantía compatible con la naturaleza de la negociación".

Se señalan las obligaciones patronales de observar las medidas adecuadas para prevenir accidentes en el uso de maquinaria o materiales de trabajo, disponer de medicamentos y útiles para atender al obrero accidentado.

Como obligación del trabajador en el Artículo 123 señala, que éste debía comunicar al patrón o a su representante, las observaciones necesarias para evitar daños y perjuicios a los intereses o vidas de los compañeros o de los patronos así como observar las medidas preventivas de seguridad y protección.

A raíz de la expedición de la Ley Federal del Trabajo, hubo que reglamentar algunas disposiciones para lograr su observancia. En lo referente a seguridad e higiene se emitieron los siguientes documentos:

- \* Reglamento de Medidas Preventivas de Accidentes de Trabajo.
- \* Reglamento de Higiene del Trabajo.
- \* Reglamento de Labores Peligrosas e Insalubres para Mujeres y Menores.
- \* Reglamento para la Inspección de Generadores de Vapor y Recipientes Sujetos a Presión.
- \* Reglamento de Inspección Federal del Trabajo.
- \* Reglamento de Seguridad para los Trabajadores de las Minas.

A los 37 años de expedida la ley que se comenta, se adecuó a las necesidades que imperaban en el país, para mejorar y hacer más justa la relación obrero patronal. Así, el 1º de mayo de 1970, entró en vigor la nueva Ley Federal del Trabajo.

En ésta, se aclara la responsabilidad de los empresarios, y junto con las fracciones XII, XIII y XXXI del apartado A del artículo 123 Constitucional consagran el derecho de los trabajadores a recibir capacitación.

Además, la fracción XIV del mismo artículo establece la obligación patronal de indemnizar por riesgos de trabajo; la

fracción XV señala la de adoptar medidas adecuadas para prevenir los accidentes.

## REALIDAD DE LA PALABRA

Otro de los grandes problemas de la seguridad industrial es la forma en como se define, ya que muchos de los autores difieren de una u otra manera en sus enfoques. Para lograr entender lo que en sí cada término engloba es necesario tangibilizar los peligros que la amenacen, realizando mediciones y observaciones, analizando sus probabilidades y estableciéndose su nivel de riesgo, sobre lo cual se adoptarán las medidas de prevención y previsión.

Entre las definiciones más allegadas a la realidad se encuentran las siguientes:

Al **peligro** lo podemos definir como todo aquello que amenaza a los seres humanos y a lo que éstos valoran .

Al **riesgo** lo definimos como la medida cuantitativa de la consecuencia de aquél peligro .

Para determinar el grado de seguridad requerido se debe tomar en cuenta que el riesgo es una probabilidad condicional de daño . Pero, igualmente, la seguridad también es de carácter relativo.

Así que si hablamos en términos de una planta química, el riesgo puede ser también definido como la respuesta a las siguientes 3 preguntas:

1. ¿Qué puede ir mal?
2. ¿Cómo puede ir mal?
3. ¿Cuáles son sus consecuencias?

La respuesta a la primera pregunta es una serie de escenarios de accidentes liberados.

La respuesta a la segunda pregunta es la probabilidad (que a menudo se expresa en términos de frecuencia anual) de los escenarios.

La respuesta a la tercera pregunta es conocida como el estado de daños, y puede estar medido en términos tales como el número de personas afectadas por la liberación de químicos, el número de seres contaminados o la cantidad de pérdidas financieras.

Aún cuando por seguridad entendiésemos la prevención de accidentes de trabajo que está íntimamente ligada con los conceptos de higiene, o salud ocupacional, por otro lado implica, también, protección de planta e instalaciones que se liga a conceptos tecnológicos tales como el control de incendios y desastres, protección de ejecutivos y seguridad de las informaciones.

En esta situación se podría decir, que el 95% de los presupuestos empresariales emitidos bajo el título genérico de "seguridad" están destinados a cubrir aspectos de seguridad patrimonial, dejando para la seguridad ocupacional el exiguo 5% restante. Si ambos campos se conceptualizaran correctamente, deberá caberles siquiera una equilibrada distribución .

#### **AMBITO DE ALTERNATIVAS PARA UNA EVALUACION DE RIESGOS**

La primera razón por la que se tendría que evaluar un riesgo, posiblemente sea, la de respaldar una decisión que facilite la actividad. El primer paso en cualquier proceso es designar el nivel de riesgo, pero tan importante como esto es asociar la probabilidad de que se inicie la causa que da lugar al evento.

El nivel de aplicación de la evaluación de riesgos en procesos químicos de la industria varía ampliamente de una compañía a otra y de un país a otro, la frecuencia de falla de equipo y error humano algunas ocasiones son evaluadas usando una pequeña y no tan directa y aplicable información .

Teniendo establecido el lugar o el escenario en donde se identificarán los accidentes deben delimitarse perfectamente el punto final y la estrategia a seguir, el evento inicial y cualquier perturbación en la operación que pudiese ocurrir en la línea de proceso y con esto mitigar la función propiamente con indeseables consecuencias y resultados . Un daño produce un paro en el punto y muy seguramente en todo el proceso .

La detección en la frecuencia de los fallos puede ser establecida por la combinación de 3 tipos de fundamentos, el más importante sin duda es el que se da con la experiencia y a través del estudio, el segundo partiría de comparar el sistema con otros ya existentes de la misma especie, tanto en equipo como en materiales y el último partiría al consultar una base de datos fidedigna y actualizada, es decir, de la bibliografía.

Para la implantación de un programa de seguridad lo primero es tratar de conceptualizar el peligro antes de que esto ocurra, y segundo, en caso de ya existir, reconocer cuando los problemas empizan a crecer.

Para la implantación de un programa de seguridad lo primero es tratar de conceptualizar el peligro antes de que esto ocurra, y segundo, en caso de ya existir, reconocer cuando los problemas empizan a crecer.

Así pues, las medidas básicas a adoptar para la prevención de lesiones por accidente , por orden de efectividad y preferencia serían:

- \* Eliminación de los peligros de la maquinaria, métodos, materiales o estructura de la planta.
- \* Control del peligro, encerrándolo allí donde se produce.
- \* Adiestramiento del personal para que conozca el peligro y siga los procedimientos de seguridad del trabajo.
- \* Prescripción de equipos de protección personal.

Si para la prevención de los peligros, las medidas de seguridad se añaden una vez comenzado el trabajo, el procedimiento resulta más costoso, menos eficaz y menos efectivo.

Para adiestrar al personal, debe mantenerse la línea jerárquica, es decir, todos, sin excepción deben entrar en el plan de capacitación y adiestramiento. Motivar a las personas es por consiguiente parte necesaria de cualquier programa de prevención de accidentes. Las actividades que fomentan actitudes favorables a la seguridad son: adiestramiento y capacitación, trabajo cooperativo, publicidad y propaganda.

Esta publicidad y propaganda, generalmente las manejan los comités de seguridad, ya que de ellos depende, directamente, las prácticas y recomendaciones para los métodos operativos. Sin embargo, bajo ningún concepto el comité o sus miembros interferirán con el desarrollo del trabajo, las condiciones del departamento y la autoridad del supervisor.

Al descubrirse la primera transgresión a una regla de prevención, el supervisor debe realizar una reunión educativa con el trabajador. Esto con el fin de eliminar que se produzca una mala interpretación de la regla de prevención de accidentes. También se le informará al trabajador que una repetición en la transgresión dará como resultado una medida disciplinaria que se documentará por escrito y se colocará en la carpeta personal del trabajador. Una tercera transgresión causará despedido o suspensión temporal sin goce de sueldo.

Nunca debe aplicarse una medida disciplinaria porque un trabajador sufrió un accidente. Pero siempre se aplicará por incumplimiento de una regla de prevención. La medida disciplinaria debe ser uniforme.

## CAPITULO II

### RIESGOS Y SU EVALUACION

El objetivo principal de este tema es describir algunos aspectos importantes relativos al análisis de los riesgos y su relación con la toma de decisiones, de manera que permita plantear y resolver mejor ciertos tipos de problemas de seguridad e higiene industrial, aún cuando éstos se caracterizan por la dificultad de asegurar que los resultados esperados serán de certidumbre total, es decir, que nunca estaremos completamente seguros de que activando una serie de acciones de prevención de accidentes y enfermedades éstos ya no ocurrirán, surge así un gran interés por aplicar la probabilidad y la teoría estadística a la resolución de problemas.

En general los problemas que el hombre enfrenta podemos observarles la presencia de los siguientes elementos:

1. El decisor o decisores.
2. El contexto del problema, integrado por la suma de todos los factores que lo componen.
3. Un conjunto de alternativas, o curso de acción a seguir.
4. El conjunto de resultados derivados de cada alternativa.
5. El proceso racional que el o los decisores apliquen en la selección de las alternativas.
6. La presencia de riesgo o incertidumbre asociado al acto de elegir las alternativas.

El desempeño que debe tener el decisor con relación a los incisos 5 y 6, se encuentra con la presencia de los siguientes dos componentes:

a) Los elementos básicos.

1. La intuición
2. La experiencia.
3. La información
4. El dominio de técnicas específicas cuantitativas.

Obteniendo así la siguiente función:

$F(\text{desisor}) = (\text{intuición} + \text{experiencia} + \text{información} + \text{técnicas cuantitativas})$

mismas, que en la medida que el decisor domine mejor cada una de ellas, tendrá más posibilidad de elegir convenientemente.

b) Las etapas del proceso racional de toma de decisiones:

El estudio de los problemas o situaciones, requiere de un proceso racional mismo que supone la aplicación de un conjunto de fases que se puede expresar de la manera siguiente:

1. Identificar el problema
2. Diagnosticarlo
3. Hallar alternativas más adecuadas para su solución.
4. Analizar estas alternativas y compararlas.
5. Seleccionarlas.
6. Implementarlas y controlarlas convenientemente.

#### TOMA DE DECISIONES

Al hablar de análisis de riesgos siempre va implícita una relación con la toma de decisiones ya que así podemos plantear y resolver de una mejor manera cierto tipo de problemas de seguridad e higiene industrial.

A través de los últimos 20 años se ha desarrollado una teoría de las decisiones que facilite evaluar el nivel de efectividad de una decisión comparando el grado de cumplimiento de la misión y de los objetivos que se persiguen.

#### CRITERIOS PARA SU ESTUDIO

1. El criterio de Wald fué expuesto por Abraham Wald sugiere que el decisor elija, del conjunto de sus alternativas, aquélla que le representa lo mejor dentro de las menores consecuencia, de ahí que se use el nombre de **maximin**.

Es como "escoger lo mejor dentro de lo peor".

Otra interpretación del criterio de Wald se conoce con el nombre de **minimax**. El cual consiste en: 1) asignar un cierto valor a cada alternativa de acuerdo con lo peor que pueda suceder; 2) determinar la pérdida máxima que puede ocurrir y, 3) escoger aquella alternativa que daría el mínimo de las máximas pérdidas.

Por lo cual el decisor cuenta, cuando menos, con una estrategia que sin duda está íntimamente ligada con la actitud personal del decisor frente al riesgo.

2.El criterio de Hurwicz. Este criterio lo propone Leonid Hurwicz, quien señala que el decisor, más que fijarse en las peores consecuencias (pesimismo), se apoya en un cierto índice de optimismo, de manera que trate de evaluar sus alternativas con la inclusión de todos los resultados y elegir de ellos el más optimista, lo que complementado con la intuición y el juicio, ayuda a considerar mejor su decisión.

3.El criterio de Laplace. Dado que no se conoce cuál es la probabilidad de ocurrencia de cada una de las alternativas, se considera que ésta va a ser la misma para cada una de ellas, de manera que la selección de la alternativa dependerá de saber cuál de ellas le da el valor esperado más alto y en dónde este valor esperado, está referido a valores monetarios.

4.El criterio de L.J.Savage. Para concluir con estos criterios que en muchas ocasiones parecería que no ayudan lo suficiente, Savage basa su procedimiento en las condiciones siguientes:

1. Estimar los resultados.
2. Elegir la alternativa con el criterio anterior.
3. Se evalúa el resultado de la elección de la alternativa con lo que se esperaba de ella.
4. En caso de grandes diferencias entre los resultados de la alternativa seleccionada y lo esperado de ella, el decisor puede optar por una nueva alternativa.

Evidentemente, la aplicación de este criterio no implica el riesgo de que las decisiones sean extemporáneas, que originen altos costos, dado que al elegir una alternativa y desistir de ella para elegir otra, se generan consecuencias de carácter irreversible.

Este criterio resulta útil, cuando se pueden aplicar estrategias de simulación para elegir la mejor alternativa.

#### IDENTIFICACION DE RIESGOS

Un primer paso importante para la evaluación del riesgo que está asociado con la facilidad de que se produzca, es establecer el origen del peligro. Para lo cual se debe tener un conocimiento íntimo de las propiedades tóxicas de las sustancias existentes en la planta.

Con este conocimiento como base; una inspección sistemática en la planta nos llevará a la realización de una lista de las fuentes generadoras u originarias de los peligros. Para determinar la severidad de un peligro, uno debe postular las condiciones anormales que se pueden presentar, así como también las condiciones normales de operación.

Varios métodos formales (sistemáticos) han sido desarrollados para la identificación de peligros, algunos de ellos son:

1. HAZOP ó Estudios de riesgos y operabilidad.
2. Hazard checklist ó lista de verificación de peligros.
3. Análisis por el método de Falla Efecto.

#### IDENTIFICACION DEL ESCENARIO

Teniendo establecidas las fuentes del peligro, se deben identificar el ó los escenarios de los posibles accidentes.

Estos escenarios se presentan con el inicio de un evento y terminan con lo que es conocido como un estado de daños en la planta.

Un evento inicial es cualquier evento que perturba la operación de la planta de tal manera que si las fallas feacientes no son mitigadas para funcionar de manera adecuada, pueden resultar consecuencias indeseables.

Un estado de daños es un "punto de paro" para un análisis de accidentes que se caracteriza por tener consecuencias indeseables.

Los métodos sistemáticos o formales pueden ser empleados para identificar escenarios de accidentes. Algunos de ellos son:

1. Arbol de fallas.
2. Arbol de eventos.
3. Diagramas de causas y consecuencias.

También existen métodos y modelos que identifican acciones humanas potenciales.



## Metodología para el planteamiento y resolución de problemas.

En el campo de la seguridad e higiene industrial, los problemas se deben a la presencia y combinación de múltiples factores, lo que hace que su comportamiento sea complejo y dinámico, por lo que en su tratamiento y elección de medidas para la solución, requiere necesariamente de la aplicación de metodologías.

Es muy conveniente buscar los riesgos mayores en una etapa inicial del desarrollo del proyecto, incluyendo la posibilidad de las interacciones desastrosas entre las plantas. Cabe mencionar que uno de los mejores momentos para el estudio es en la etapa de la "congelación de diseño", es decir, cuando el diseño está en firme y no se prevén cambios substanciales.

Un requisito fundamental es la identificación de los riesgos mayores. Una vez que se conozcan, es posible tomar ciertas decisiones fundamentales tales como:

- I. Dónde se va a ubicar la planta.
- II.Cuál debe ser la ubicación de la planta dentro del lugar con respecto a otras plantas, o a los límites del terreno escogido.
- III. Qué aspectos particulares del diseño requerirán desarrollo especial para controlar los riesgos.
- IV. Qué otra investigación se requiere para lograr la información (toxicidad, inflamabilidad, etc.) que se necesita para producir un diseño efectivo.

La identificación de los riesgos mayores se puede hacer con bastante facilidad una vez que se establezcan ciertos parámetros generales:

I. Materiales	materias primas componentes o productos inter- medios. productos efluentes
II. Operaciones Unitarias	mezcla destilación secado, etc.
III. Distribución de Planta	distribución de las operaciones unitarias dentro de la planta. relaciones especiales con otras instalaciones.

Estos parámetros generales deben ser considerados a su debido turno cuando se les aplique la lista de riesgos potenciales. Una lista de verificación útil debe incluir por lo menos:

Fuego	Toxicidad	Ruido	Electrocución
Explosión	Corrosión	Vibración	Asfixia
Detonación	Radiación	Material nocivo	Falla mecánica

Naturalmente se pueden agregar otros riesgos. Cuando los riesgos potenciales se aplican a los parámetros generales, cualquier combinación significativa puede indicar un riesgo mayor que debe considerarse frente a la lista de decisiones fundamentales.

Este enfoque de lista de verificación ayuda a asegurar la compatibilidad en una etapa temprana y se puede utilizar para valorar las intenciones de una planta a otra y de una planta a las circunstancias o condiciones ambientales.

La verificación de los riesgos importantes debe utilizarse cuando haya suficiente tiempo para efectuar modificaciones importantes y fundamentales al concepto de diseño. Cuando en una etapa posterior se lleve a cabo un estudio de riesgo, éste sólo debe detectar riesgos menores, que requieran cambios de detallado, el estudio debe detectar sólo riesgos menores que requieran cambios de diseño o modificaciones menores en los métodos de operación con el fin de controlarlos.

#### **Estudios en la etapa de congelación del diseño.**

Los dibujos o diseños se consideran exactos por definición. El personal de diseño sabra entonces el motivo por el cual la planta ha sido diseñada de una determinada manera.

Si para cada sección se produce un diagrama de flujo substancialmente modificado, el grupo encontrará dificultades para saber si alguna determinada sección se ha estudiado en su forma final. Sin embargo en cualquier momento es posible llevar a cabo un estudio de artículos patentados de equipo, incluso antes de haber tomado la decisión de adquirirlos, pues el fabricante ya ha establecido el diseño.

De igual manera es posible llevar a cabo un estudio de las secciones de la planta cuyos diseños son establecidos y detallados primero que otros. Sin embargo, hay que tener

cuidado de revisar estos diseños más tarde, para asegurarse de que las interacciones con las otras secciones de la planta no hayan introducido nuevos riesgos.

Para los momentos previos a la puesta en marcha es bueno hacer un estudio cuando la Construcción se encuentra casi terminada y se hayan escrito las instrucciones preliminares de operación. Sin embargo el estudio en este momento puede ser útil cuando:

- I. Se ha presentado un cambio sustancial de intención en un momento bastante tardío.
- II. Las instrucciones de operación son muy críticas.
- III. La nueva planta es una copia de una planta existente con cambios principalmente de proceso, en vez de cambios de equipo.

#### **Estudios sobre plantas existentes**

A menos que las modificaciones en una planta se hayan manejado muy cuidadosamente podrían comprometer los márgenes o conceptos de seguridad que se establecieron en el diseño original de la planta.

Los recursos pueden ser limitados y por lo tanto, se requiere de algún método por medio del cual las plantas existentes puedan ser seleccionadas para estudiarlas. La selección puede resultar de una reacción emocional causada por algún incidente reciente en esa planta o en una planta similar.

Mientras que esa reacción es comprensible, no necesariamente significa que los recursos limitados se estén dirigiendo hacia el estudio de las plantas con el más grande riesgo total. Se requiere tener los siguientes factores:

1. Un auditaje de seguridad ha demostrado que es conveniente un estudio más detallado.
2. Se han presentado sucesos anormales o accidentes.
3. Un procedimiento de clasificación tal como el Índice Dow, ha demostrado que esta planta tiene un alto potencial para los riesgos.
4. La planta permanecerá en servicio durante mucho tiempo.
5. La planta ha sido extensamente modificada.
6. Es oportuno estudiar una determinada planta en secuencia con respecto a su interacción con otras plantas.

Quando se hagan los arreglos para el estudio de una planta existente, se debe conceder tiempo adicional para el trabajo preparatorio, pues los diagramas de líneas y las instrucciones de funcionamiento no están, a menudo, actualizadas.

En las etapas de definición se requiere incluso más cuidado de lo normal. Es muy importante ser claro en cuanto a quien va a ser el responsable de actuar según estas recomendaciones.

#### **SISTEMAS DE PROCESO, TECNICAS PARA LA EVALUACION DE RIESGO.**

Los riesgos de trabajo , y en general los riesgos inherentes a los procesos industriales, han sido estudiados a través de múltiples caminos con técnicas que van desde el análisis basado en la intuición , experiencia y aplicación de métodos de observación directa, hasta técnicas altamente sofisticadas que demandan el uso de sistemas de información muy complejos, la aplicación de probabilidad y de métodos de simulación más refinados.

El Análisis de Seguridad de Sistemas es un acercamiento lógico y sistematizado a la resolución de los problemas de seguridad usando una metodología de causa y efecto.

El término "Seguridad en el proceso o sistema" significa el control de aquellos peligros que son causados por una mala operación o mal funcionamiento del proceso que se usa para convertir las materias primas en productos terminados útiles al hombre, y que está directamente relacionado con las fallas de proceso que nos pueden llevar al desencadenamiento de los peligros inherentes del material, que bajo condiciones adecuadas no se presentarían.

Para lo cual es necesario proveer información de las técnicas más adecuadas para poder desarrollar la correcta tecnología dentro de nuestro proceso específico y con las condiciones y circunstancias particulares del mismo.

Las técnicas más comunes para analizar sistemas usan los llamados modelos lógicos. Son llamados lógicos porque tienen que ver con las relaciones de causalidad de los eventos.

Las técnicas más conocidas son:

1. Uso de la experiencia de la misma empresa.
2. Uso de la experiencia acumulada.
3. Análisis por el modo de efecto y falla.
4. Estudio de riesgos y operabilidad (HAZOP).
5. Análisis por el árbol de fallas.
6. El índice de incendio DOW.
7. Guía de cálculo de potencial de daño para nubes explosivas.
8. Método "¿Qué pasa si.....?"

9. Magnitud de riesgo.
10. Análisis preliminar de riesgo.
11. Análisis de árbol de eventos.
12. Análisis de criticidad.
13. Análisis de causa-consecuencia.
14. Lluvia de ideas.
15. Búsquedas literarias.

Estas técnicas las podemos dividir en cuatro grandes grupos en base al papel que desempeña dentro de los pasos o etapas de la administración de la seguridad en un proceso.

Estos grupos son:

I. LA ADMINISTRACION DE LOS PELIGROS DE PROCESO, que incluye a las políticas administrativas de una compañía, como por ejemplo el establecer que la seguridad es igual a producción que a su vez es igual a ventas, o que la seguridad es una condición de calidad. Este punto en especial no se desarrollará a lo largo de este trabajo por no estar dentro del contexto del mismo.

II. IDENTIFICACION DE PELIGROS que se divide a su vez en :

II.1 Métodos basados en la experiencia-.

II.1.1 Experiencia: en donde las compañías recopilan periódico o archivos en donde se encuentran algunos accidentes o incidentes anormales, describiéndolos de tal manera que los lectores pueden cotejar las circunstancias similares que se pudieran presentar en sus propias unidades y así tomar acciones correctivas antes de que ocurra un accidente.

También podemos contribuir a la experiencia utilizando diseños estándares que nos permitan mantener records muy cuidadosos dentro de nuestro proceso. Cualquier defecto que se desarrolle es analizado y los estándares de diseño son modificados para controlar o erradicar los peligros que se presentan.

A raíz de estos estándares se pueden elaborar una serie de códigos que incorporen la experiencia colectiva concerniente a una clase particular de equipo o industria.

II.1.2 Experiencia Acumulada: la seguridad y la operabilidad son factores significativos que deben ser una parte integral del proceso de diseño. Repasos del diseño pueden ser llamados "Chequeos o verificaciones primarias de seguridad". En adición existen "los chequeos o verificaciones secundarias de seguridad" que se llevan a cabo

además del diseño del proceso, una verificación secundaria de seguridad podría consistir en una serie de reuniones de control de seguridad.

A estas reuniones asisten equipos multidisciplinarios de diferentes áreas de proceso tales como ingenieros de seguridad; y en adición a sus conocimientos como especialistas estos miembros sobresalientes ayudan a proveer una vista objetiva del problema, evitando los puntos ciegos que pudieran existir si sólo los miembros del equipo de diseño estuvieran involucrados.

Dentro de este apartado se encuentra la técnica de ¿Que pasa si ..? (What if..?).

## II.2 Métodos Analíticos-.

Hay dos tipos generales de sistemas de identificación de peligros:

- a) ARBOLES LOGICOS -
  - Arbol de Fallas.
  - Arbol de eventos.
  - Diagramas causa-consecuencia.

- b) LISTAS DE VERIFICACION ANALITICAS.

## II.3 Métodos Creativos-.

Estos métodos son esencialmente adaptaciones de acercamientos que fueron original y especialmente diseñados para buscar innovaciones o mejoras en los procesos. Los dos acercamientos especiales son:

- a) LLUVIA DE IDEAS
- b) HAZOP- - Palabras guía
  - Listas de verificación.

La lluvia de ideas es una actividad de grupo más que un nivel alto de análisis mental del proceso.

A un grupo de personas se les da la tarea de preguntarse de cuantas maneras se puede presentar o crear un problema o peligro específicos. Se suspende el juicio y todas las ideas son aceptadas y registradas; una idea se construye de otra y el objetivo es tener tantas ideas como sea posible. La sesión durará a lo sumo una hora y media. Una vez terminada la sesión, las ideas generadas se sortean y evalúan.

La lluvia de ideas tiene la ventaja de ser un sistema rápido que nos puede dar nuevas perspectivas y enfoques de un problema de seguridad. No tiene una cobertura total, ni asegura una comprensión eficaz y se usa como complemento de otras técnicas más que una técnica consolidada por sí misma.

### III. EVALUACION DE RIESGOS.

Después de que se ha identificado el peligro, el siguiente paso es evaluar la trascendencia y significado de los peligros que prevalecen por ser los más importantes. Es necesario establecer prioridades y asegurarse que la medición es la adecuada para el riesgo involucrado.

Existen un gran número de técnicas de evaluación de riesgos y peligros que pueden ser usados y que proveen información de que tan frecuentemente se puede presentar un peligro, que tan severas serán las consecuencias y que modificaciones se pueden hacer para reducir sus efectos. De esta forma la administración puede actuar suministrando recursos para reducir la frecuencia y/o severidad de los mismos.

La integración de las actividades para identificar y evaluar los peligros, así como su control se muestra en la figura .

La evaluación es usualmente un proceso iterativo, por lo que existen varias alternativas de solución que deben ser tomadas en cuenta para minimizar los peligros.

Varias técnicas han sido desarrolladas y son capaces de proveer algún significado tanto para evaluar los riesgos en una planta o proceso ya existente como para un nuevo diseño. Hay dos tipos de clases de técnicas que pueden ser aplicadas:

#### a) PROCEDIMIENTOS DE EVALUACION CUALITATIVA.

Que provienen un rango relativo de varios peligros. Las técnicas más conocidas en esta categoría son:

- \* Índice de fuego y explosión DOW.
- \* Índice Mond.
- \* Rapid Ranking.

**RAPID RANKING:** En industrias donde existen varios tipos de procesos a la vez se usan a veces técnicas que identifican y establecen prioridades en los peligros o de peligros para estudios más detallados. El intento de establecer rangos es ayudar a la administración para destinar los recursos disponibles en áreas en las que va a beneficiar más.

La primera parte o etapa del panorama es conducida por un ingeniero experto que se concentra únicamente en ciertos factores técnicos que a la larga determinen el potencial con el cual ciertos accidentes serios podrían ocurrir en la planta. Tales factores incluyen:

- \* Reacciones de óxido-reducción.
- \* Reacciones de nitración.
- \* Operaciones exotérmicas.
- \* Presión.
- \* Condiciones de corrosión.
- \* Materiales tóxicos, etc.

De una lista total del proceso se genera una lista más pequeña. Ese sólo proceso identificado se somete entonces a una segunda revisión mediante una lista de riesgos que es verificada por un ingeniero de procesos el cual realiza una evaluación cuantitativa de la frecuencia de probabilidad mostrada, las consecuencias de un accidente incluyendo el reconocimiento del sistema de control de peligro provisto.

La evaluación involucra el tener en cuenta el siguiente tipo de preguntas:

- \* ¿Cuales son los peligros del proceso?
- \* ¿Bajo que circunstancias ocurrirán?
- \* ¿Qué prevención de peligros depende de acciones humanas, alarmas más acciones humanas o de sistemas automáticos?
- \* ¿Cuál es la mejor frecuencia para tomar un juicio en la resolución de los peligros que ocurren ( por ejemplo:1/100 años)?
- \* ¿Cuáles son las consecuencias?

Se puede preparar una gráfica de la frecuencia contra el nivel de consecuencia para cada peligro mayor de un proceso que ha sido evaluado. A los peligros en el proceso se les puede entonces asignar prioridades para un estudio más detallado que nos permita emitir recomendaciones para minimizar la frecuencia y/o severidad del peligro.



#### b) PROCEDIMIENTOS DE EVALUACION CUANTITATIVA.

Entre estas técnicas encontramos:

- \* Análisis por el método de Fallas/efectos.
- \* Análisis por el Arbol de Fallas.
- \* Análisis por el Arbol de Eventos.

#### IV. CONTROL DE PELIGROS DURANTE EL DISEÑO Y LA OPERACION

Después de haber realizado un acercamiento sistemático para la evaluación e identificación de peligros se obtiene una serie de desiciones que afectan el control de peligrosidad del proceso durante el diseño y operación. El resultado de tales acercamientos se basa en numerosas asunciones debidas al tipo de trabajo dentro de la planta como son:

- \* Diseño.
- \* Construcción.
- \* Operación.
- \* Mantenimiento.

Este apartado en especifico lo aplicaremos únicamente para el objetivo de esta tesis, y se explica en el capítulo V.

A continuación se explican algunas de éstas técnicas que por su probabilidad práctica de aplicación, pueden, en su caso, ser utilizadas convenientemente en la industria.

#### MAGNITUD DEL RIESGO (MR)

Se da el producto de la probabilidad (P) por la exposición (E) por las consecuencias (C) y lo expresamos para facilitar su cálculo

$$MR = P * E * C$$

Donde la probabilidad es la posibilidad de que ocurra un riesgo, y se le pueden asignar determinados valores o calificaciones.

El riesgo se cuantifica con el apoyo de la probabilidad. Así podemos decir que las condiciones de trabajo o equipo provocan que el riesgo sea:

1. Virtualmente imposible	calificación 0.1
2. Poco probable	" 3.0
3. Muy probable	" 6.0
4. Altamente probable	" 10.0

La asignación de la calificación puede darse en función de criterios tomados de la experiencia, y cuyos valores serán estimados de acuerdo al juicio del decisor.

Para la cuantificación del riesgo también intervienen la exposición y las consecuencias.

La exposición "E" se entiende como el contacto o acercamiento con el riesgo. Una interpretación numérica que facilita su cuantificación sería:

1.	Exposición mínima	calificación 0.1
2.	Raro (unas pocas veces al año)	" 1.0
3.	Ocasional (semanal)	" 3.0
4.	Continuo (frecuente, diario)	" 10.0

Las consecuencias "C" son otro factor importante para evaluar la magnitud del riesgo, y se refieren a las lesiones al cuerpo y/o los daños a la propiedad producidos al ocurrir el riesgo.

**GRAVEDAD DE  
VALOR  
NUMERICO**

**DESCRIPCION DE LAS CONSECUENCIAS**

Apenas grave 1.0	- Lesión tratada con primeros auxilios (incapacidad temporal) daños materiales por un monto menor de 365 días de salario mínimo para el D.F.
Seria 7.0	-Lesión incapacitante / permanente y/o  - Daños materiales por un monto de 365 días de salario mínimo para el D.F.
Desastre 40.0	-De una a cinco defunciones,y/o  - Daños materiales por un monto de hasta 30 veces el salario mínimo anual para el D.F.
Catástrofe 100.0	- Más de 5 defunciones, y/o  - Daños materiales por un monto - mayor de 30 veces el salario mínimo anual para el D.F.

De acuerdo a los valores anteriormente dados, la interpretación de los resultados sería:

MAGNITUD DEL RIESGO	DESCRIPCION DEL RIESGO
Mayor de 400	El riesgo es muy alto, por lo cual se debe considerar que la ejecución de la operación requiere de la aplicación de medida de seguridad estrictas y particulares.
De 200 a 400	El riesgo es alto y requiere corrección de inmediato.
De 70 a 199	El riesgo es sustancial y necesita corrección.
De 20 a 69	El riesgo es posible y reclama atención.
Menos de 20	El riesgo es aceptable en el estado actual.

#### ANALISIS PRELIMINAR DE RIESGOS (PHA)

Esta técnica significa el primer intento de identificar en forma general y de primera vista, a los posibles riesgos en muchas ocasiones antes de construir los árboles de fallas, o bien cuando son muchos los eventos y componentes que pueden originar un peligro.

Su aplicación es amplia, más aún cuando el sistema se encuentra en su fase de diseño.

Para plantas en operación, generalmente esta técnica se utiliza en mesas de discusión conjunta con los operadores de los equipos, los diseñadores e ingenieros de proceso, para elaborar las matrices de riesgos evidentes, que luego habrán de servir para definir las medidas de seguridad procedentes.

Se aconseja su aplicación en fases de arranque y de paros cortos, ya que en éstos se presenta un número importante de accidentes, sobre todo en las plantas químicas, por lo que se sugiere considerar en el estudio del sistema los siguientes elementos:

1. Elementos peligrosos
2. Evento iniciador
3. Condiciones peligrosas
4. Riesgo potencial
5. Consecuencias
6. Medidas correctivas y/o preventivas

#### ANALISIS DE CRITICIDAD (CA)

Este análisis trata de identificar el rango de los componentes y la forma ascendente del sistema a analizar. Es un análisis que no requiere matemáticas, por estar estandarizado. No se toman en cuenta los factores humanos, causas comunes de falla o las interacciones entre sistemas.

#### ANALISIS DE CAUSA - CONSECUENCIA (CCA)

Aún cuando éstos pueden ser prolongados con muchas de las desventajas de los árboles de fallas, son extremadamente flexibles, ya que bien documentado muestra claramente la secuencia de los pasos.

Se comienza con un evento crítico, continúa para adelante usando árbol de consecuencias y apoyándose hacia atrás usando árbol de fallas.

#### QUE PASA SI.....?

El propósito es la identificación de posibles secuencias resultado de accidentes, y por consiguiente métodos para reducir el potencial de riesgo.

Puede usarse en procesos existentes, durante la etapa de desarrollo del proceso o antes del arranque. Es común utilizarlo para revisar cambios propuestos a instalaciones en funcionamiento.

Los resultados que se obtienen enlistan los escenarios de accidentes potenciales, sus consecuencias y posibles medidas preventivas. Los resultados son de naturaleza cualitativa, sin ninguna implicación cuantitativa.

Esta técnica se aplica para evaluar el campo de sistemas de procesos y es un método de análisis de riesgos general que difiere de otros porque no es tan rígido y sistemático, y puede aplicarse tanto a una sección del proceso como a toda la unidad.

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

El método de ¿Qué pasa si...? ha sido usado muy exitosamente por los equipos de revisión. Personas experimentadas hacen las preguntas pertinentes relativas a cada etapa de un proceso. Para emplear apropiadamente esta técnica, cada parte de la operación que viene siendo revisada debe ser evaluada por los miembros del equipo, quienes hacen la pregunta "¿Qué pasaría si..?" a cada paso del proceso para determinar los efectos de las fallas en los equipos o los errores de operación en el proceso.

Contestando a las preguntas clave se tendrá una evaluación de los efectos de fallas de equipo, errores de procedimiento, desastres naturales, etc., los resultados dependerán de la experiencia y de la capacidad imaginativa del grupo de análisis.

El método ¿Qué pasa si..? puede ser usado para revisiones de los sistemas dependiendo de su complejidad. El coordinador establece límites para llevar a cabo la revisión separándola de otra parte de la planta que funciona en serie con el proceso que va a ser revisado o separado de sistemas eléctricos, agua de proceso, etc.

La revisión se divide en áreas específicas como son:

- 1º Seguridad del proceso.
- 2º Salud y seguridad personal.
- 3º Electricidad.
- 4º Calderas y maquinaria.
- 5º Protección contra el fuego.
- 6º Manejo de materiales.

Equipos de especialistas con conocimientos y experiencia en los diversos aspectos de los riesgos examinan intensivamente el proceso para exposiciones químicas y físicas del personal y la propiedad.

Los equipos hacen énfasis en los factores que no aparecen claramente a través de las observaciones visuales. La limitación de reacciones, efectos de las impurezas, cambios en los flujos de proceso, disponibilidad de dispositivos de control de fuego y explosión, cambios en el diseño del equipo, materiales de construcción, procedimientos de operación y responsabilidades de la administración, se revisan con cuidado durante esta evaluación.

La orientación del método incluye una explicación básica de los procesos con diagramas simplificados de flujo de proceso, dibujos del proceso y de su instrumentación, y organigramas en los cuales se indiquen las responsabilidades y deberes del personal.

Adicionalmente el equipo de revisión tiene acceso a los manuales de operación de las unidades específicas bajo estudio, visita los sitios de tales unidades y todas las operaciones y procesos relacionados.

A cada equipo se le suministran listas de comprobación para asegurar que los puntos importantes no sean pasados por alto. Estas listas de comprobación cubren aspectos de forma general y no están todos o los específicos para la instalación bajo revisión.

El equipo de revisión es responsable de asegurar que los procesos hayan sido completamente estudiados y que todos los riesgos potenciales hayan sido identificados dentro de lo mejor de sus conocimientos y capacidades. Ellos describen los correctivos apropiados o las medidas de control y las alternativas cuando sean necesarias. Los informes son enviados a la administración para su revisión y seguimiento.

Esta técnica conduce a la aplicación de otras (Análisis de Falla y Efecto ó Arbol de Fallas) para determinar las medidas preventivas requeridas para el control de la falla. El formato incluye una evaluación del grado de riesgo similar al utilizado en la técnica Análisis de Falla y Efecto.

Las ventajas del enfoque es que al separar la actividad de comprobación, del diseño mismo, las reuniones son desarrolladas con objetivos claros. Tales reuniones detectan

muchos riesgos y son frecuentemente todo lo que se necesita. Poco o ningún entrenamiento especial es requerido porque la metodología es directa.

Sin embargo al analizar procesos complejos o con alta innovación, hay dos desventajas comparando la técnica con métodos más sofisticados y que necesitan más tiempo: primero no sirven para reforzar el conocimiento mutuo de los procesos y sus ramificaciones; y, segundo, pueden no ser tan efectivos en la detección de riesgos adicionales.

#### ESTUDIO DE RIESGOS Y OPERABILIDAD (HAZOP).

Fué desarrollada por la división Petroquímica de la Imperial Chemical Industries (ICI), se puede definir como una técnica para identificar peligros o problemas de operabilidad de sistemas a través del examen de cada una de las secciones o líneas de un proceso, elaborando una relación de todas las posibles desviaciones de una condición normal de operación y la evaluación de las posibles consecuencias, examinando las correcciones correspondientes a las desviaciones detectadas.

Generalmente, se aplica para facilitar la utilización de las técnicas de árboles de falla, que en su combinación permite una mejor posibilidad de estimar las fallas individuales que componen un sistema. Su uso es convincente cuando se examinan problemas potenciales en los nuevos diseños y modificaciones de plantas.

La necesidad de cambio puede ser analizada en función de la frecuencia del evento o la magnitud de sus consecuencias.

Los puntos básicos a ser considerados en un análisis de este tipo son:

1. Las condiciones normales de operación.
2. Los cambios estimados durante el arranque y paro del sistema.
3. Equipos e instrumentos.
4. Características de construcción y materiales.
5. Previsión de fallas.
6. Supuestas anomalías de servicios auxiliares.
7. Previsiones para mantenimiento y seguridad.

Para su estudio se utiliza como parte de su procedimiento un conjunto de "guías" orientadas a: buscar problemas potenciales y a evaluarlos

Una vez identificados, se inicia la etapa de análisis de riesgo, o sea su evaluación, la cual involucra:

1. Estimar la probabilidad de que ocurra el riesgo.
2. Estimar las consecuencias.
3. Comparar los resultados contra los valores especificados o especificaciones, a fin de facilitar la decisión como: riesgos contra beneficios; riesgos a trabajadores; riesgos a la comunidad.

Esta técnica facilita los trabajos para analizar riesgos en procesos y sistemas de la industria.

Invariablemente después de un accidente y a veces, cuando se encuentran dificultades operacionales importantes, existe una cierta forma de investigación para establecer la causa o causas. A menudo, una vez que éstas se han encontrado, la falla en el diseño o en los métodos de operación parece obvia. Esto sucede a pesar del cuidado que se tenga, tanto en el diseño de las plantas como en la comprobación de los mismos. En parte aprendemos gracias a la experiencia, y mientras esto es valioso, puede ser costoso en términos del sufrimiento humano y de las pérdidas financieras.

Necesitamos alguna forma de "experiencia sintética" que haga casi tan fácil descubrir los problemas en perspectiva, como en retrospectiva. Este método proporciona la forma de experiencia sintética, funciona utilizando la imaginación de los componentes del grupo para que se visualicen las maneras en que una planta pueda funcionar mal o pueda ser mal operada. Sin embargo, la sola imaginación no es suficiente. La mayoría de los ingenieros utilizan mucha imaginación al diseñar una planta, por lo tanto, la imaginación de los integrantes del grupo que utilizan el HAZOP para un proceso determinado debe guiarse y estimularse de una manera sistemática pero creativa, para que abarque todas las partes de la planta y todos los casos de mal funcionamiento y mala operación imaginables. Esto se logra en lo que se llama "el análisis".

Esencialmente, el procedimiento de análisis interpreta la descripción completa del proceso, cuestiona sistemáticamente cada parte del proceso, para descubrir cómo es que las desviaciones del intento del diseño se pueden presentar, y decide si estas desviaciones pueden dar origen a riesgos.

El interrogatorio se enfoca por turnos en cada parte del diseño. Cada parte se somete a un número de preguntas que se formulan alrededor de un número de palabras guía que



proviene de técnicas especiales. Las palabras guía se utilizan para asegurarse que las preguntas, que se plantean para examinar la integridad de cada parte del diseño, exploren todas las formas imaginables en que este diseño podría desviarse de su propósito.

Eso por lo general produce una cantidad de desviaciones teóricas y cada desviación se tiene en cuenta para decidir de qué manera se podría presentar y cuáles serían las consecuencias.

Algunas de las causas pueden ser irreales, de tal manera que las consecuencias que de ahí provengan se rechazan por no tener ningún significado. Algunas de las consecuencias pueden ser insignificantes y no se tendrán en cuenta. Sin embargo, puede que se presenten algunas desviaciones con causas que sean imaginables y consecuencias que sean potencialmente peligrosas. Estos riesgos potenciales son luego notados para que se tome una acción remedial.

Habiendo analizado una parte del diseño y habiendo anotado cualquier riesgo potencial asociado con él, se continúa con el estudio para enfocarlo en la siguiente parte del diseño. El análisis se repite hasta que se haya estudiado toda la planta .

El objetivo del análisis es el de identificar todas las posibles desviaciones de la forma como se espera que el diseño funcione y todos los riesgos que están asociados con esas desviaciones . Además, algunos de los riesgos se pueden prevenir. Las decisiones se pueden tomar en el acto y el diseño se puede modificar inmediatamente, si la solución es obvia no existe la posibilidad de que cause efectos adversos en las otras partes del diseño. Esto no siempre es posible, pues puede que sea necesario obtener más información. De esa manera, el resultado de los análisis consiste normalmente en una mezcla de decisiones y de preguntas que deben ser contestadas en reuniones posteriores.

Aunque el enfoque como se describe pueda que parezca generar muchas desviaciones hipotéticas en forma mecánica, el éxito o el fracaso depende de 4 aspectos, a saber:

1. La exactitud de los dibujos y demás información utilizados como base para el estudio.
2. Las habilidades técnicas y el conocimiento del proceso que tenga el grupo.
3. La habilidad del grupo para utilizar el enfoque como una ayuda para su imaginación en la visualización de las desviaciones, causas y consecuencias.

4. La habilidad del grupo para mantener un sentido de proporción, particularmente cuando valoran la serenidad de los riesgos que se identifican.

Como el análisis es tan sistemático y sumamente estructurado, es necesario que quienes participen utilicen ciertos términos de una manera precisa y disciplinada.

Existen dos variaciones de este método: una que se encarga de las "desviaciones" y otra de las "perturbaciones".

Las "desviaciones" son causadas por un mal funcionamiento o mala operación de un sistema específico de producción.

Las "perturbaciones" incluyen problemas causados por influencias externas al sistema, incluyendo otras actividades y el medio ambiente.

La primera variación del HAZOP y probablemente la más conocida y amplia apunta a las desviaciones y es llamada Guide Word (palabras guía). Cada elemento del proceso es evaluado separadamente. El propósito del elemento es especificar y anotar las desviaciones que se generan de la asociación de este elemento con las distintas palabras o frases guía.

Para cada desviación anotada se debe hacer una determinación de todas las posibles consecuencias. Si es posible, también determinar las condiciones en las cuales esa situación puede ocurrir y la gama de parámetros que se identifiquen como tales. Las palabras guía no sólo son aplicadas al equipo, también a los procesos de operación. Todas las frases de operación deben de ser incluidas. Como puede ser esperado, este acercamiento repercutirá en el tiempo consumido ya que podrán existir variaciones desde diversos días para una producción baja como para una gran producción.

La segunda variación de HAZOP es llamada "Lista de Verificación", esta variación ha sido desarrollada como un complemento para las palabras guía, ya que cubre las "perturbaciones" (contiene palabras clave tales como fuego, explosión, toxicidad, corrosión, polvos y aromas). La lista es inicialmente aplicada a todo material que este presente, materia prima, intermedia y productos finales); ésta tiene un valor particular en dos situaciones que serían: la posibilidad de que se haga un estudio de operabilidad en etapas muy tempranas en el diseño del proceso; incluso antes del diseño de detalle necesario para el estudio por las palabras guía; y, cubrir peligros que pueden ser causados por interacciones entre unidades que pueden estar perfectamente a salvo si se encuentran aisladas.

El establecimiento cualitativo de cualquier peligro existente provee una base de datos cuantitativa con la intensidad numérica de los diferentes eventos.

Esta segunda variación continúa con la asociación de la misma lista en cada punto del equipo.

Los materiales presentes en cada equipo junto con los inventarios son conocidos como "materiales peligrosos".

Mientras más se continúa con el análisis, el potencial de los peligros; incluyendo interacciones entre unidades o la unidad y el medio ambiente; debe ser bien identificado, ya que el flujo de peligro puede ir en ambas direcciones.

Si los comités de planes de emergencia no conocen las necesidades del sistema para planear las posibles soluciones, el concepto de analizar las desviaciones de la durabilidad normal puede ser la mejor forma de analizar los elementos más peligrosos.

#### UNA PEQUEÑA EXPLICACION DE LAS TERMINOLOGIAS GENERALES USADAS EN ESTE METODO SON:

**Intención.** La intención define de qué manera se espera que la parte funcione. Esto puede tomar un número de formas que pueden ser descriptivas o esquemáticas en muchos casos habrá un diagrama de flujo o diagrama de líneas.

**Desviaciones.** Son alejamientos de la intención o propósitos que se descubren al aplicar sistemáticamente las palabras guías.

**Causas.** Estas son las razones por las cuales podrían ocurrir desviaciones. Una desviación se puede tratar como significativa una vez que se haya demostrado que tiene una causa posible o realista .

**Consecuencias.** Estas son los resultados de las desviaciones, en caso de que se presenten.

**Riesgos .** Estos son la consecuencias que pueden motivar daños, perjuicios o pérdidas.

**Palabras Guía.** Son palabras sencillas que se utilizan para calificar la intención con el fin de guiar y estimular el proceso creativo de pensamiento y descubrir de esa manera las desviaciones.

PALABRA GUIA	SIGNIFICADO	COMENTARIOS
NO	- La negación total - de estas intencio- - nes.	- No se logra ninguna parte - de las intenciones pero - - no sucede nada más.
MAS	- Incremento o dis- - minución cuanti- - tativa.	- Esto se refiere a canti- - dades más propiedades - - como velocidades de flu- - jo y temperaturas así -
MENOS	- - - -	- como también actividades - como "CALOR" y "REACCIO- - NAR".
ASI COMO TAMBIEN	- Un incremento cua- - litativo.	- Todas las intenciones de - de diseño y de operacio- - nes se logran juntas con - alguna actividad adicio- - nal.
PARTE DE	- Una dismunución - cualitativa.	- Si se logran algunas de - las intenciones, otras no - se logran .
INVERSO	- Lo opuesto lógico - de la intención.	- Esto se aplica la mayoría - de las veces a las activi- - dades, por ejem. flujo en - reverso o reacciones quí- - micas. También se puede - - aplicar a sustancias como - "VENENO" en vez de "ANTI- - DOTO" o isómeros ópticos- - "D" en vez de "L".
ADEMAS DE	- Sustitución com- - pleta.	- No se logra ninguna parte - de la intención original. - Un fenómeno diferente se - produce.

## SIGNIFICADO DE LAS PALABRAS GUIA

Las tres primeras palabras guía, son por lo regular directas y producen desviaciones que son fáciles de comprender. Las restantes cuatro palabras guía no son tan fáciles de aplicar y requieren de cierta información adicional.

Su valor y utilidad dependen de las intenciones para las cuales se aplican y de los posibles modos de desviación de esas intenciones, cuando se utilizan en intenciones que se manifiestan ampliamente, todas son apropiadas.

También pueden aplicarse al nivel detallado de palabras o frases descriptivas. Sin embargo, puede que algunas modificaciones se encuentren necesarias cuando se las aplique a las intenciones que se expresan en una forma detallada

Cuando se aplican a una actividad tal como REACCIONAR o TRANSFERIR, es común descubrir que todas las palabras guía generan desviaciones imaginarias inteligibles. Algunas veces una palabra guía genera más de una desviación.

Cuando las palabras guía se aplican a aspectos relacionados con tiempo, MAS y MENOS pueden significar duración más larga y más corta o unas frecuencias más altas y mas bajas. Sin embargo, cuando se está trabajando con secuencia o tiempo absoluto, las palabras guía adicionales, más pronto o más tarde, dan una mejor visión del problema que OTRA COSA QUE. De igual manera, cuando se tarbaje con posición, orígenes o destino, DONDE MAS es más útil que OTRA COSA QUE. De nuevo, MAS ALTO y MAS BAJO dan más significado que MAS y MENOS para las desviaciones de elevación.

Cuando se trabaja con una intención de diseño que incluya una especificación compleja de temperaturas, velocidades, composiciones, presiones, etc., puede que sea mejor aplicarle toda la secuencia de palabras guía a cada elemeto individualmente, en lugar de aplicar cada plabra guía a una oración, puede ser más útil aplicarle la secuencia de palabras guía a cada palabra o frase por separado, comenzando con la palabra clave que describía la actividad.

## ANALISIS DE RIESGO SISTEMATICO

El primer paso en la administración de riesgos es el establecer el nivel de riesgo de una actividad, después de lo cual se pueden realizar las actividades siguientes:

- Aceptar el nivel de riesgo.
- Realizar más estudios para reducir la incertidumbre.
- proponer cambios que faciliten la operación.

Para decidir el nivel de riesgo aceptable se requiere de un juicio profesional, consideraciones de costo beneficio, comparación con valores obtenidos de la experiencia, etc.

Este análisis se desarrolla al encontrar y estudiar todas las actividades que contribuyen al riesgo.

La metodología general establece la formulación de tres cuestiones principales:

Qué puede salir mal?

Qué tan probable es esto?

Cuáles son las consecuencias?

Las respuestas pueden agruparse en juegos de tres variables: L, F y D. Donde L es para el escenario o lugar, F es la frecuencia o probabilidad y D es la consecuencia potencial o estado de daños.

Algunos de los inconvenientes puede ser la falta de información y el nivel de confianza de la misma.

Bajo este nombre se encuentran dos técnicas semejantes complementarias. El árbol de Fallas y el árbol de Eventos.

De la comparación de ambos métodos se puede destacar, que en árbol de Fallas, se define un evento máximo y se encuentran todas las secuencias lógicas que pueden llevar a éste evento, identificándolas y representándolas en un diagrama. En el árbol de Eventos el peligro potencial de las consecuencias resultantes de un evento inicial se determinan. Las probabilidades de éxito o falla son calculadas para cada punto de ramificación del árbol.

## ARBOL DE FALLAS

Debido a la necesidad de analizar la confiabilidad de los sistemas de control y seguridad surgió el árbol de fallas, el cual se empezó a utilizar por la NASA cuando el programa de proyectiles se enfrentó con un evento de pérdida tan tremendo que no podía ser permitida aún una primera ocurrencia, posteriormente la técnica fué utilizada por Monsanto Co.

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

Para que haya cero pérdidas, debe haber cero capacidad de pérdida y esto se traduce en cero capacidad de producción y utilidades. Prevención de pérdidas es realmente CONTROL, sin comprometer la producción y las utilidades.

La aplicación del árbol de Fallas nos permite evaluar la probabilidad de pérdida y compararla con la magnitud de la pérdida, acciones que por tradición se han venido haciendo intuitivamente en la industria, sin la cuantificación de las probabilidades, de tal manera que difícilmente se toma una decisión con el pleno conocimiento de falta.

Un incidente de pérdida o accidente, que llamaremos "T", tiene siempre una o más "causas", 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 "T", entonces la probabilidad de "T" es igual a la probabilidad de que ocurra este evento o condición. Si se requieren de dos o más elementos y éstos son independientes entre sí, entonces la probabilidad de "T" será igual al producto de las probabilidades de ese evento.

Probabilidad es la posibilidad matemática de que un evento ocurra y se expresa en fracciones entre cero y uno. La absoluta imposibilidad es cero y la absoluta certeza es uno.

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

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

El propósito de esta técnica es identificar combinaciones de fallas de componentes que pueden provocar un accidente.

Su aplicación contempla las fases de diseño y operación. En diseño puede usarse para descubrir modos de falla ocultos, resultantes de combinaciones de fallas de componentes individuales. En operación permite incluir características de procedimientos y fallas de operadores que combinadas pueden provocar un accidente.

Los resultados que se obtienen forman un listado de combinaciones de fallas que pueden repercutir en un accidente específico. Estos resultados son de tipo cualitativo, con potencial cuantitativo. Los árboles de Fallas pueden ser evaluados cuantitativamente si se dispone de datos de probabilidades de falla (árbol de Eventos).

El árbol de Fallas es una representación gráfica de las relaciones entre causas básicas que pueden resultar en accidentes no deseables del sistema. Es desarrollado a través del uso de deducciones.

Las principales compuertas lógicas usadas son la "O" y la "Y" y estas compuertas conectan el evento principal a los eventos intermedios, los cuales a su vez se conectan con las causas básicas.

La sensibilidad del sistema a las fallas por causas básicas puede ser semicuantitativamente especificada a través de la determinación de los conjuntos mínimos, los cuales son la colección de las causas básicas que son necesarias y suficientes para causar el evento principal indeseable.

Sin embargo, mucho del valor del árbol de Fallas radica en el hecho de que la frecuencia del evento principal puede ser evaluada cuantitativamente asignando rangos de fallas, tiempos de reparación y probabilidades de las causas básicas. Existen muchas técnicas para la evaluación cuantitativa de los árboles de Fallas, que van desde métodos de cálculo manuales hasta sofisticados programas por computadora.



## Metodología del árbol de Fallas.

1. Definir el sistema, fijando los límites físicos y de operación.
2. Definir el evento indeseable, que debe ser máximo, es decir, la más seria o catastrófica falla resultante en el sistema.
3. Construcción del árbol. Relacionar todas las posibles combinaciones de eventos que puedan ocasionar el evento máximo, usando la simbología del método. Para cada evento se deberán ir identificando las combinaciones de sub-eventos y causas que los pueden originar. Cuando se llegue a una causa primaria de falla, se proponen medidas preventivas.
4. Analizar el árbol cuantitativamente y asignar probabilidades de falla para determinar la ocurrencia del evento máximo.

De los pasos descritos anteriormente el que posiblemente sea de mayor importancia debido a su contemplación las fases de diseño y operación. En diseño puede usarse para descubrir modos de falla ocultos, resultantes de combinaciones de fallas de componentes individuales. En operación permite incluir características de procedimientos y fallas de operadores que combinadas pueden provocar un accidente.

Los resultados que se obtienen forman un listado de combinaciones de fallas que pueden repercutir en un accidente específico. Estos resultados son de tipo cualitativo, con potencial cuantitativo. Los árboles de "T" tienen como consecuencia la ocurrencia de "T".

La puerta "Y" simbolizada por un punto indica que para que el evento "T" ocurra, se tienen que cumplir todos los eventos de entrada. (ver figura 1).

Cuando se aplica la puerta "Y" la probabilidad del evento "T" es igual al producto de las probabilidades de los eventos de entrada.

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

El análisis de Fallas continúa bajando por el árbol y rompe cada uno de los sub-eventos en sus componentes de similar manera; por ejemplo: el sub-evento A puede dividirse en A.1, A.2, etc.

El análisis continúa hasta que cada sub-evento prácticamente no puede subdividirse. La determinación de este punto se deja a juicio del experto.

Tanto como el número de sub-eventos crezca, el sistema igualmente se complica.

La puerta "O", simbolizada por un signo "más"; indica que para que el evento "T" ocurra sólo basta con que satisfaga una de los eventos de entrada. (ver figura 2).

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

Cuando el evento de entrada significa la falla de un componente o equipo de un sistema se denomina "Falla Funcional" y acepta tres clases de eventos causantes, a través de una puerta "O". (ver figura 3).

Estas Fallas Funcionales son:

1. Primaria.
2. Secundaria.
3. De mando.

#### **Fallas primarias.**

Son aquellos en las que el componente es o se convierte en incapaz de desempeñar su función de diseño y bajo condiciones normales de operación. Esto podría ser ocasionado por diseño inadecuado, por defecto o por deterioro durante su servicio. Su símbolo es un círculo.

#### **Fallas secundarias.**

Son aquellas causadas por fuerzas o efectos ajenos al sistema como terremotos, inundaciones, huracanes. Su símbolo es un diamante que generalmente es una terminación ya que lo producen otros elementos que no son estudiados. Su probabilidad se evalúa de acuerdo con las condiciones ambientales y humanas del área donde se localiza la planta.

### Fallas de mando.

Son aquellas que ocurren cuando el componente falla por condiciones de proceso excesivas o fuera de control; cargas mecánicas, energía liberada, falsas señales, etc.

A partir de esto el árbol de Fallas se continuará describiendo hacia abajo, indicando los eventos necesarios y suficientes para producir cada evento de entrada, utilizando las puertas "y" y "O" según se requiera.

Una vez terminados todos los eventos en cadena, se iniciará el trabajo de anotar las posibilidades de ocurrencia de cada uno de los eventos, empezando en los eventos terminales del árbol, estimando su probabilidad y calculando matemáticamente las probabilidades de los eventos subsecuentes de acuerdo a las puertas de entrada descritas, hasta encontrar la probabilidad del evento "T".

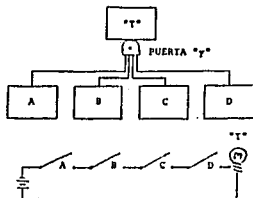
El criterio utilizado para evaluar la probabilidad de ocurrencia es:

Probabilidad	Frecuencia Probable.
$10^{(-0)}$	Inminentemente (puede ocurrir en cualquier momento)
$10^{(-1)}$	Muy probable (ha ocurrido o puede ocurrir varias veces al 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.

Ejemplo :

Cuando se aplica la puerta 'y' la probabilidad del evento 'T' es igual al producto de las probabilidades de los eventos de entrada.

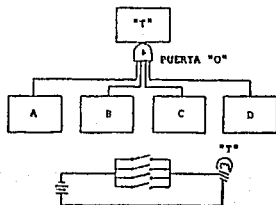
Fig. 1



La puerta 'o' (or), simbolizada por un signo 'mas' en la Fig. 2, indica que para que el evento 'T' ocurra sólo basta con que satisfaga uno de los eventos de entrada 'A', 'B', 'C' o 'D'. En la analogía del circuito eléctrico, los interruptores están conectados en paralelo y en éste la lámpara 'T' se encenderá si cualquiera de los interruptores se cierra.

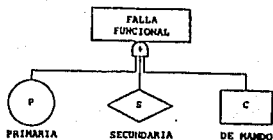
Cuando se aplica la puerta 'o' la probabilidad de 'T' es igual a la suma de probabilidades de los eventos de entrada.

Fig. 2



Cuando el evento de entrada significa la falla de un componente o equipo de un sistema se denomina 'Falla Funcional' y acepta tres clases de eventos causantes, a través de una puerta 'o' (Fig. 3):

Fig. 3



La bomba P-2 de alimentación de difil, se mantiene enfriada por agua, cuya temperatura es controlada por un indicador de temperatura con alarma.

La bomba P-4 se utiliza para mantener el nivel de difil del tanque de expansión T-1, tomando difil del tanque T-2.

El riesgo significativo de este sistema (T) es la explosión destructiva de la caldera por rotura de un flux, debido a sobrecalentamiento de difil en su interior.

El cálculo de la pérdida máxima probable asciende a \$ 4,000,000 US Dols (pérdidas directas e interrupción de operaciones) que equivale a un potencial de pérdidas de  $10^{-6}$ .

La Fig. 5 muestra el Arbol de Fallas en el que los módulos primario y secundario tienen menores probabilidades ( $10^{-7}$  y  $10^{-8}$ ) que la falla destructiva de mando ( $10^{-6}$ ) rotura de flux, que ocurre debido a:

- 1.- Sobrecalentamiento por bajo nivel de difil en el tanque de expansión T-1, en conjunto con los fallos de los controles TIC-6, TI-7, TIC-11 y las válvulas SV-3 y SV-4.
- 2.- Sobrecalentamiento por bajo flujo de difil en conjunto con los fallos de TIC-6, TI-7, TIC-11 y las válvulas SV-3 y 4.
- 3.- Por ascenso de temperatura excesivamente rápida en el arranque de la caldera, por error de operación.

Comparando la probabilidad de 'T', que se evalúa de  $10^{-6}$ , con el Potencial de Pérdida, de  $10^{-6}$ , vemos que está en equilibrio, ya que la probabilidad de 'T' no es mayor que el Potencial de Pérdida.

Fig. 4. SISTEMA DE CALDERA DE DIFIL

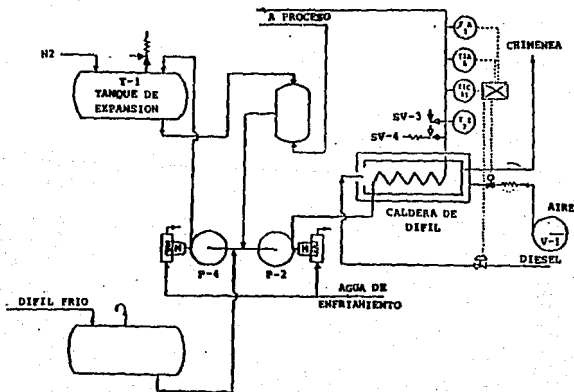
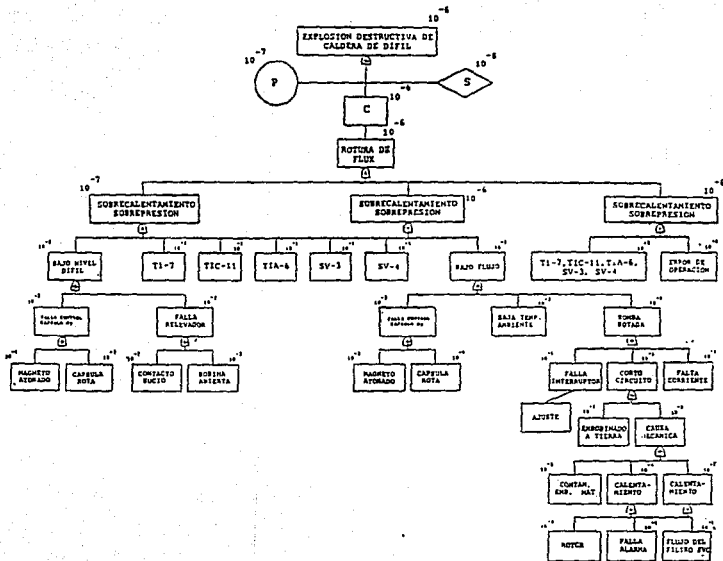


FIG. 5 ANAL. DE FALLAS  
CALDERA DE DIFIL



Caso No. 2

La subestación principal recibe energía eléctrica de 115 KV de CFE y la distribuye a 4160 V a diversas subestaciones internas que la envían al proceso y servicio a 440,220 y 110 V. En el cuarto de control de la subestación principal existe un dispositivo de protección de corto circuito, accionado por un banco de baterías que a su vez está tomando carga permanentemente de un convertidor de AC a CD que se alimenta del circuito de 110 V de alumbrado del área. El interruptor de este convertidor se encuentra en la misma caja de interruptores del alumbrado. Fig. 6.

El riesgo significativo de este sistema es el incendio y explosión destructiva de la subestación principal, debidos a corto circuito proveniente de una de las subestaciones internas que causa daños en conductores e aislamientos y que produce el corte de CFE. Al Restablecer CFE se ocasiona el incidente 'I'.

La pérdida máxima probable se calcula en \$ 1 MIL US Dls. (pérdidas directas e interrupción de operaciones), que represente un potencial de pérdida de 10 a la -6.

La Fig. 7 muestra el Arbol de Fallos del Sistema de la Subestación Principal, en el que la falla de Mando tiene una mayor probabilidad, de 10 a la -3, de ocasionar el incidente 'I' por corto circuito y fallo del dispositivo de protección por falta de corriente para dispararlo.

La Probabilidad de 'I' (10 a la -3) es mayor que el Potencial de Pérdida (10 a la -6) por lo que hay que disminuir las probabilidades de los eventos que causan 'I'.

En el siguiente nivel el de Mando, conviene mejorar el control y mantenimiento eléctrico de las subestaciones internas para reducir la probabilidad de corto circuito, que actualmente es de 10 a la -1.

La probabilidad de fallo del dispositivo de protección se podrá reducir disminuyendo la posibilidad de error humano al abrir el interruptor 1A-5 al apagar el alumbrado, esperando y bloqueando el interruptor, así como mejorando el procedimiento de inspección rutinario, y probablemente, agregando otro dispositivo de protección de corto circuito en una puerta 'y'.

FIG. 6 SUBESTACION ELECTRICA PRINCIPAL.

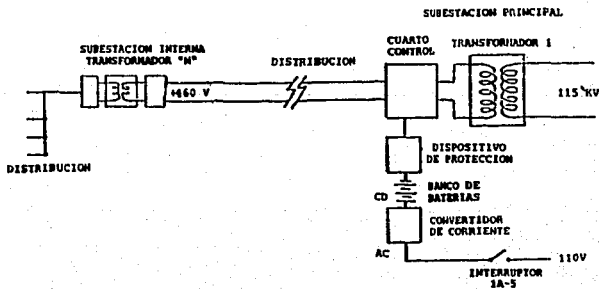
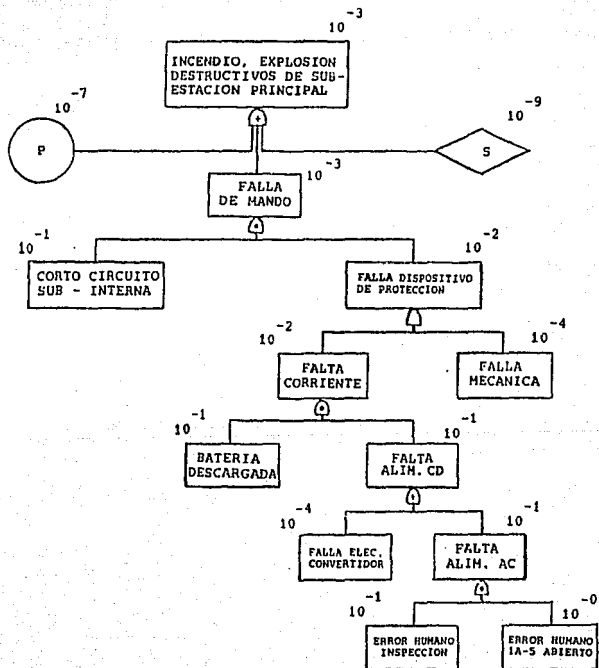


FIG. 7





### Diagramas de Flujo.

Para obtener un árbol de Fallas adecuado es necesario contar con un diagrama de flujo que muestre todos los equipos involucrados, líneas de flujo, conexiones de arranque y auxiliares, elementos primarios de instrumentación, válvulas de bloqueo, etc.

Ya que el árbol de Fallas es un análisis del sistema, es necesario que el sistema esté presentado completa y claramente.

### Determinación del Potencial Razonable de Pérdida.

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

Para resultados uniformes, es necesario que esto se haga por un método uniforme. "El método de pérdida máxima probable" es bueno, ya que no nos dará ni una pérdida demasiado pequeña a una realidad probable, ni una pérdida máxima concebible, lo cual es poco probable.

En todos los casos 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.

Una vez obtenida la pérdida probable total, se le dará un valor de potencial de pérdida, de acuerdo con la siguiente tabla:

Potencial de Pérdida	Pérdida Probable Total (\$ US Dlls)
1	Hasta 10
$10^{-1}$	10 a 100
$10^{-2}$	100 a 1000
$10^{-3}$	1000 a 10000
$10^{-4}$	10000 a 100000
$10^{-5}$	100000 a 1000000
$10^{-6}$	1000000 a 10000000
$10^{-7}$	10000000 a 100000000
$10^{-8}$	más de 100000000

Para que una probabilidad de "T" sea aceptable deberá estar en equilibrio con el potencial de pérdida, es decir, la probabilidad "T" nunca deberá ser mayor al potencial de pérdida.

#### ARBOL DE ANALISIS DE EVENTOS.

Este análisis es una aproximación sistemática de los focos primarios de una cadena de eventos u ocurrencias. Mientras la posibilidad de que se de algún evento puede ser intuitiva, la compleja situación puede ser rota en una serie de eventos secuenciales.

Los pasos en el análisis son:

- 1) Identificar la causa en una emergencia.
- 2) Identificar las condiciones presentes.
- 3) El camino que seguirían las causas en las condiciones actuales.
- 4) Visualizar los efectos de las actividades en los resultados del evento.

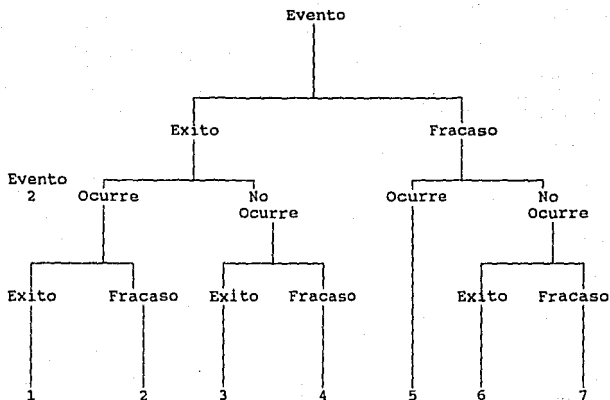
El tercer paso en éste análisis visualiza la secuencia del acto. Cada evento es separado y ubicado en una secuencia lógica en la que se haga posible una intervención rápida. De esta manera la aplicación del análisis del árbol de eventos provee un entendimiento detallado de la mecánica, química, e interacciones térmicas que afectan el comportamiento de las causas en una emergencia.

Cuatro factores generales afectan el comportamiento de materiales peligrosos en una emergencia son:

- 1) Las propiedades inherentes y cuantitativas del material.
- 2) Explicar las características integrales del contenedor.
- 3) Las leyes naturales de la física y química.
- 4) El medio ambiente, incluyendo los alrededores físicos y las condiciones.

Estos factores y sus interrelaciones pueden proveer una base de visualización de lo que pasaría en una emergencia que los involucrase.

### Evento 1



### SEVERIDAD DE DAÑOS

- 1.- No libera, facilidad de peligro solamente al combinar los eventos 1 y 2.
- 2.- Liberación parcial, algún peligro a la comunidad de la combinación de eventos 1 y 2.
- 3.- No libera, facilidad de daño solamente del evento 1.
- 4.- Liberación parcial, algún daño a la comunidad del evento 1.
- 5.- Liberación total de los eventos 1 y 2 , peligro máximo.
- 6.- No libera, facilidad de daño solamente del evento 1.
- 7.- Liberación parcial, algún daño a la comunidad del evento 1.

## **NUBES EXPLOSIVAS.**

Durante muchos años se consideró que sólo era posible la generación de presión por combustión de vapores o gases inflamables, en una reacción de combustión confinada.

Consecuentemente la fuga de gases inflamables o de líquidos calientes inflamables se tomaba en cuenta sólo como un problema de incendio. No se consideró el potencial explosivo de nubes de gases o vapores inflamables en espacios abiertos hasta que ocurrieron diversas y potentes explosiones desde el año de 1948.

Hace algunos años el International Risk Institute 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 tal motivo se ha desarrollado un método de cálculo para determinar el potencial explosivo aproximado de una nube de inflamables y los daños que puede llegar a ocasionar.

## **SUPOSICIONES.**

En los últimos años se han hecho diversos estudios, basados en las experiencias sufridas, que han definido clara y detalladamente el potencial explosivo de una nube de gases y que proponen métodos de análisis de las pérdidas ocurridas después de ocurridos los desastres. Estos métodos incluyen datos como velocidad de la fuga, velocidad y dirección del viento, así como otras condiciones atmosféricas. Sin embargo, en la predicción de un desastre potencial, estas variables son desconocidas y debe determinarse una aproximación conservadora y práctica que reduzca sus efectos al mínimo para el cálculo de una nube. Por tal motivo se harán 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 transportando material desde instalaciones alejadas.
2. El material fugado se vaporiza instantáneamente y la nube se forma inmediatamente, de acuerdo a las condiciones físicas y químicas del gas o líquido inflamable 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 explosividad del material.

5. Se tomará el calor de combustión del TNT (2000 Btu/lb) para convertir el calor de combustión del material a un equivalente en peso de TNT.

6. La temperatura ambiente es constante: 70°F o 21.1°C.

Está reconocido que una explosión de una mezcla confinada vapor-aire dentro de un edificio tendrá una fuerza explosiva mayor que una explosión en espacio abierto del mismo volumen de vapor; sin embargo en la generalidad de los casos el volumen que ocupa una nube de vapor explosivo, productos de fugas factibles, será mucho mayor que el volumen de la mayoría de los edificios industriales. Por tal motivo, se supondrá que una fuga originada en el interior de un edificio, formará una nube de las mismas dimensiones que una originada en el exterior.

#### **Factores que determinan la formación de nubes explosivas.**

Para propósitos de este procedimiento se consideran sólo los siguientes materiales como posibles formadores de nubes explosivas:

1. Gases en estado líquido por enfriamiento.
2. Gases en estado líquido para efecto de alta 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 en estado líquido por efecto de presión (excepto materiales con una viscosidad mayor que  $1 * 10^6$  centipoises o puntos de fusión sobre 212°F.)

## Uso de la guía de cálculo.

El análisis de una nube explosiva debe ser hecho sólo por personal familiarizado con la planta y el proceso. Por este método se calcula el Daño Máximo Probable (DM) y el Daño Catastrófico Probable (DC). Se debe utilizar para todas y cada una de las unidades de proceso o plantas con mayor potencial de formación de nubes explosivas. Debe considerarse que el potencial explosivo de una nube será el más peligroso de una planta, en la mayoría de los casos, aunque pueden existir otro tipo de riesgos que deben ser tomados en cuenta. Por ejemplo, una planta con sólo un pequeño potencial de fuga de inflamables, puede tener un potencial peligroso de explosión en el interior de equipos que cause un daño grave que sobrepase el potencial de una nube explosiva.

Los resultados de este análisis, además de determinar los daños máximo y catastrófico probables, permitirán evaluar la exposición al riesgo de ampliaciones de la planta, así como el proyecto y lay-out de nuevas plantas.

De esta manera debe considerarse el espaciamiento entre plantas utilizando este método, siguiendo el criterio de todos los puntos siguientes:

- a) Una nube explosiva originada en una área no deberá cubrir ninguna parte de los edificios mayores o procesos de una área vecina.
- b) Todos los edificios y equipos mayores de una 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.
- c) Todos los edificios y equipos mayores afectados por ondas expansivas entre 1 y 3 psi de presión deberán estar diseñados para resistir una onda explosiva de 2 psi, considerando un factor de explosividad  $f=0.02$ . Las áreas alcanzadas solo por la circunferencia de una onda explosiva de 1 psi pueden considerarse como separadas del área peligrosa.

## Método de cálculo.

A) Determinación de la fuga probable.

1. Daño máximo probable (DM).

Para efectos del cálculo de DM en una planta con riesgo de formación de nubes explosivas se usará el siguiente criterio para estimar las dimensiones de una fuga:

a) El tamaño de una fuga estará determinado por el contenido del mayor recipiente de proceso o serie de recipientes de proceso conectados entre sí sin estar aislados uno del otro. Si existen válvulas automáticas o a control remoto que separen esos recipientes al originarse una fuga, se considerará reducida ésta, de manera que siempre se considere que la mínima fuga se tomará como el contenido del mayor recipiente.

b) La existencia de fuentes de ignición en las cercanías de una posible fuga no se considerará como limitante de la formación de una nube. La experiencia de explosiones por nubes de vapores ha demostrado la posibilidad de formación de grandes nubes en las cercanías de fuentes de ignición, por efecto de corrientes de aire y difusividad del gas.

## 2. Daño catastrófico probable (DC).

Para efecto de la estimación del DC, se utilizará el siguiente criterio para la estimación del tamaño de una fuga:

a) El tamaño de la fuga dependerá del contenido del mayor recipiente del proceso o serie de recipientes conectados entre sí. No se considerará la existencia de válvulas automáticas.

b) Deberá considerarse la destrucción o daño grave de tanques mayores de almacenamiento como formadores de nubes explosivas catastróficas.

c) Se considera también fugas en tuberías de gran capacidad, alimentadas desde instalaciones remotas, propias o exteriores, suponiendo que la tubería es dañada seriamente y que el material fugará por 30 minutos.

d) Tampoco se considerará la posibilidad de limitación de la formación de una nube por fuentes de ignición cercanas.

e) Se tomarán en cuenta gases o líquidos usados como combustibles.

## 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 del gas se calculará por:

$$W_G = 0.002785 \text{ MV}_G \dots\dots\dots (1)$$

donde  $W_G$  = peso del gas descargado (lb)

$M$  = peso molecular del gas

$V_G$  = volumen del gas corregido a condiciones normales (273 ° K y 1 atm) ( $\text{ft}^3$ ), debe tomarse en cuenta el factor de compresibilidad del gas.

2. Líquidos.- Si el material en el sistema se encuentra en estado líquido, se usará:

$$W_L = 8.35 * R_o * V_L \dots\dots\dots (2)$$

donde  $W_L$  = peso del líquido fugado (lb)

$R_o$  = densidad del material a la temperatura del proceso:  $T_1$  (g/ml)

$V_L$  = volumen del líquido contenido (gal)

C) Cálculo de la cantidad vaporizada (W).

1. Para líquidos o gases licuados con puntos de ebullición menor a 70 °F (21.1 °C), se supone que el 100 % se vaporizará, por lo que:

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

2. Para líquidos con punto de ebullición sobre 70 °F, la cantidad vaporizada será:

$$W = W_L * C_p * [(T_1/H_v) - T_2] \dots\dots\dots (3)$$

donde  $W$  = peso del material vaporizado (lb)

$C_p$  = media geométrica de los calores específicos a diferentes temperaturas entre  $T_1$  y  $T_2$  (cal/g °C)

$T_1$  = temperatura del líquido en el proceso (°C)

$T_2$  = Punto de ebullición (°C)

$H_v$  = Calor de Vaporización a  $T_2$  (cal/g)



#### D) Cálculo de la magnitud de la nube.

Para efectos de este método se considerarán únicamente gases o vapores que sean más pesados que el aire, los cuales constituyen la inmensa mayoría de los potenciales formadores de nubes explosivas.

La experiencia ha demostrado que una nube explosiva alcanza una altura hasta 10 pies, por lo que es conveniente considerar ésta como la altura general de una nube. Debe tenerse mucho cuidado de considerar una altura mayor para gases ligeros, ya que podrían resultar en un error en el diámetro de la nube que iría en una subestimación de su potencial.

El diámetro de la nube se calcula con:

$$D = 22.19 ( W/(h+M*V) )^{0.5} \dots\dots\dots (4)$$

donde D= diámetro de la nube (ft)  
h= altura de la nube (ft)  
M= peso molecular  
V= fracción de la nube representada por vapor o gas si la nube entera se encuentra en la concentración explosiva media, calculada por:

$$V = \frac{LEL (\%) + VEL (\%)}{2 * 100 (\%)} \dots\dots\dots (5)$$

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

$$D = 7.017 * (W/(M*V))^{0.5} \dots\dots\dots (6)$$

#### E) Cálculo de la energía desprendida.

La energía desprendida por una nube explosiva estará expresada por su equivalente en toneladas de TNT y esta dada por:

$$W_e = \frac{W * \Delta H_c * f}{4 * 10^6} \dots\dots\dots (7)$$

donde  $W_e$  = peso de TNT que produce una fuerza equivalente a la explosividad de la nube (Ton TNT)  
 $\Delta H_c$  = Calor de combustión del material (Btu/lb)  
f = factor de explosividad.

El factor de explosividad (f) de materiales varía de 0.01 a 0.1 (adimensional) y depende de la capacidad del material a detonar. El valor calculado del factor de explosividad es 0.1 para propelentes de cohetes con oxígeno líquido.

Las nubes explosivas varían de 0.01 a 0.05 o más en caso de catástrofes.

Para fines de cálculo de DM y DC se considera un factor de explosividad de  $F=0.02$ .

#### F) Cálculo del diámetro de las ondas explosivas.

Determinadas con base en la Ley de escalación, utilizando la fórmula:

$$d = d_1 * (W_e)^{(1/3)}$$

donde  $d$  = distancia desde el punto de explosión.

$d_1$  = distancia desde el punto de explosión de una carga de 1 Kilotón.

$W_e$  = Peso equivalente de TNT (kilotones)

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 abarcan una circunferencia de diámetro mayor.

La determinación de los diámetros de estas circunferencias de onda expansiva se lleva a cabo por medio de la figura 1. Se determinan los diámetros para los valores de  $W_e$  obtenidos tanto para DM como DC.

#### G) Determinación del Daño.

Para determinar la extensión del daño del producto por una nube explosiva se usan las tablas I y II basadas en los efectos de las diversas presiones de onda expansiva, aunque a estos deben adicionarse los posibles incendios y/o explosiones subsecuentes. Este riesgo es importante ya que dentro de la circunferencia de onda expansiva de 5 psi existe

la certeza de destrucción de tuberías y si existe riesgo de incendio por esta causa, puede considerarse un daño total (desastre) dentro de esta circunferencia. Entre las circunferencias de 3 y 5 psi existe menor riesgo de rotura de líneas, aunque esta probabilidad es definitiva.

En la determinación del DM pueden tomarse en cuenta para considerar reducido el daño probable factores como tuberías soldadas, de rociadores, válvulas y tuberías protegidas, sistemas de agua contra incendio asegurados, etc.; sin embargo, para el cálculo de DC, estos factores no deben tomarse en cuenta.

El análisis de los daños estimados va a mostrar perfiles de % de daño a diversas áreas de la Planta.

TABLA I.

NUBES EXPLOSIVAS EN REFINERIAS.

1. Cuartos de control: construcción de concreto y estructuras de fierro. Onda Explosiva.
  - 0.5 psi - rotura 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 y 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 lumbreras de asbesto corrugado  
3.5 psi - derrumbe de la torre
13. Tuberías: soportadas por estructura de acero.  
3.5 psi - deformación de la estructura.  
6.0 psi - derrumbe de la estructura y rompimiento 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 rompimiento de líneas
15. Tanques de almacenamiento: techo cónico y techo flotante.  
1.5 psi - levantamiento de tanques vacíos  
3.5 psi a 6 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

EFFECTOS DESTRUCTIVOS DE LA SOBREPRESION EN COMPONENTES VULNERABLES DE PLANTAS

EQUIPO	SOBREPRESION Psi																							
	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	3.9	4.0	4.5	5.0	6.3	8.0	8.5	7.0	7.8	8.0	8.5	9.0	9.3	10	12	14	16	20	20
CUARTO DE CONTROL (Techo metálico)	d	c	d			n																		
CUARTO DE CONTROL (Techo plástico)	d	e	d			n																		
TORRE DE ENFRIAMIENTO			e			d																		
TANQUE TECTO CONICO			d		e																			
CUBO DE INSTRUMENTOS						f	m																	
CALENTADOR A FUEGO																								
REACTOR QUIMICO																								
FILTRO																								
REGISTRADOR																								
TANQUE TECTO FLOTANTE																								
REACTOR CRAGING																								
SOPORTES DE TUBERIA																								
SERVICOR (Medidor de Gas)																								
TRANSFORMADOR ELECTRICO																								
MOTOR ELECTRICO																								
BLOWER																								
COLUMNA FRACCIONADORA																								
RECIPIENTE HORIZONTAL A PRESION																								
REGULADOR DE GAS																								
COLUMNA DE EXTRACCION																								
TURBINA DE VAPOR																								
CAMBIADOR DE CALOR																								
TANQUE (Estero)																								
RECIPIENTE VERTICAL A PRESION																								
BOMBA																								

a) Rotura de ventosas y medidores  
 b) Falta de manoplas de 0.3 e 0.6 psi  
 c) Colectoras dañadas por colapso del techo  
 d) Colapso del techo  
 e) Instrumentos dañados  
 f) Líneas interiores dañadas

g) Lubricantes rotos  
 h) Daño por proyección de partículas  
 i) El equipo se mueve y la tubería se rasga  
 j) Falta de abrazaderas y soportes  
 k) El equipo se levanta (50% lleno)  
 l) Líneas de fuerza dañadas

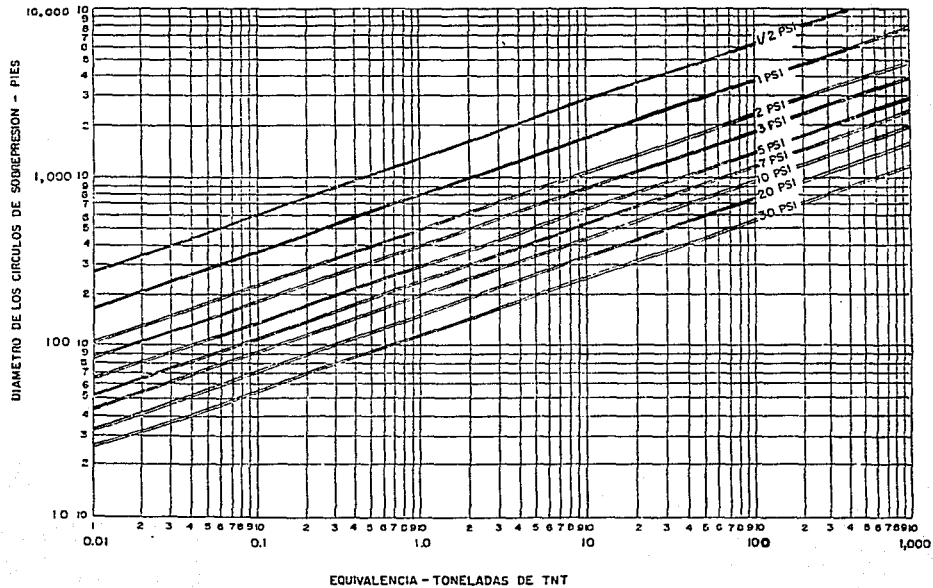
m) Controlas dañadas  
 n) Falta de pernos de concreto  
 o) Marcos colapsados  
 p) Marcos deformados  
 q) Carcasas y cajas dañadas  
 r) Marcos rotos

s) Tubería rota  
 t) Unidad destruida  
 u) Equipo invertido (50% lleno)  
 v) Unidad se mueve de sus cimientos

SISTEMA DE ANALISIS DE SEGURIDAD EN PROCESOS (ASP)

GUIA DE CALCULO DE NUBES EXPLORIVAS

PLANTA:				AREA/DEPTO.				FECHA:			
EQUIPO INVOLUCRADO:						MATERIAL:					
CAPACIDAD CALORIFICA				PESO MOLECULAR				M			
TEMP	Cp	TEMP	Cp	PRESION DEL SISTEMA				P			
T1				PRESION VAPOR @ T1				Pv			
				TEMPERATURA DE PROCESO				T1			
				PUNTO DE EBULLICION 1 atm				T2			
				DENSIDAD @ T1				$\rho$			
				VOL. A COND. NORMALES (GASES)				VG			
		T2		VOL. EN PROCESO (LIQUIDOS)				VL			
$C_{pm} = \sqrt[n]{C_{p1} \cdot C_{p2} \cdot \dots \cdot C_{pn}}$				CALOR VAPORIZACION LIQ. @ T2				$\Delta H_v$			
				LIM. INFERIOR DE EXPLOSIVIDAD				LIE			
				LIM. SUPERIOR DE EXPLOSIVIDAD				LSE			
Cpm =				cal/g °C				CALOR DE COMBUSTION			
				$\Delta H_c$				BTU/lb			
CALCULO DEL PESO DEL MATERIAL EN EL SISTEMA											
GASES				$W = 0.002785 M VG$				WG			
LIQUIDOS				$W = 8.35 \rho VL$				WL			
SI T2 < 21.1 C				$W = WG = WL$							
SI T2 > 21.1 C				$W = WL \frac{C_{pm} (T1 - T2)}{\Delta H_v}$				W			
CALCULO DE LA MAGNITUD DE LA NUBE											
FRACCION DEL NAT. EN LA NUBE				$v = \frac{LIE + LSE}{200}$				v			
DIAMETRO DE LA NUBE				$D_c = 7.017 \sqrt{\frac{W}{h \Delta H_v}}$				Dc			
SI h > 10 ft				$D_c = 22.19 \sqrt{\frac{W}{h \Delta H_v}}$				Dc			
CALCULO DEL DAÑO PROBABLE											
ENERGIA DESPRENDIDA				$W_e = \frac{W \Delta H_c}{2 \cdot 10}$				ton TNT			
								DM ( ) DC ( )			
ENERGIA DESPRENDIDA											
URIDAD	30 psi	20 psi	10 psi	7 psi	5 psi	3 psi	2 psi	1 psi	0.5 psi		
FE											
h											



## INDICE DOW DE FUEGO Y EXPLOSION

El programa de análisis de riesgos de fuego y explosión consiste en una evaluación paso a paso, por objetivos de un fuego o explosión reales y del potencial reactivo de equipo de proceso y su contenido. La medida cuantitativa usada en el análisis está basada en el record de pérdidas de la empresa, la energía potencial del material bajo estudio y se extiende hasta las practicas usuales para la prevención de pérdidas.

El proposito del índice Dow de fuego y explosión (F& EI) es:

- 1) **Cuantificar** el daño esperado del fuego potencial y los incidentes de explosión en términos reales.
- 2) **Identificar** el equipo que en un momento determinado podría contribuir a la producción o creación de un incidente.
- 3) **Comunicar** la importancia del índice Dow de fuego y explosión a la gerencia y altos directivos de la Compañía.

Entre todos los números, gráficas y figuras que forman parte de este método se encuentra el objetivo principal del F & EI que es el de - **prevenir las pérdidas potenciales del área de proceso en estudio** - para ayudarnos a identificar las posibles alternativas que nos permiten aminorar las pérdidas monetarias resultantes de un incidente potencial , así como su severidad en una forma cuantitativa , efectiva y eficiente.

La evaluación típica de las compañías de seguros se basa en el peor accidente imaginable, que por lo general raramente sucede, y que no es lo mismo que el máximo eventeo creible; por ejemplo una compañía de seguros imagina con este tipo de evaluación que el contenido completo de un reactor se podría vaporizar instantáneamente y encenderse; y en base a este hecho estima la pérdida, que desde un punto de vista real es extremadamente grande y además este tipo de situación raramente ocurre si es que acaso ocurre.

El método Dow (F & EI) se enfoca a la determinación de la pérdida máxima creible en una planta de proceso; una pérdida que en realidad puede ser experimentada durante las condiciones más adversas de operación y los cálculos se basan en datos cuantificables , velocidades de flujo finitas de un derrame, temperatura de proceso en relación con el punto de ignición y ebullición del material, y composición química son



solamente algunos de los pocos componentes de un probable incidente, que se pueden estudiar y evaluar por éste método.

Aunque el F & EI está principalmente diseñado para una operación en la cual materiales inflamables, combustibles o reactivos son manejados, almacenados o procesados, también puede ser usado para analizar las pérdidas potenciales que se pueden tener en un sistema de distribución, tuberías, rectificadores, hervidores, cañerías y evidentemente fuentes generadoras de calor de las plantas. El sistema se usa también para una evaluación de riesgos de procesos pequeños que cuentan con un número limitado de materiales potencialmente peligrosos: su aplicación en plantas piloto es altamente recomendable.

Durante el uso de éste sistema se deben hacer cálculos en los que además de los conocimientos deben intervenir el buen juicio y el sentido común para una correcta interpretación de los resultados. Procesos peligrosos que contribuyen a la magnitud de las pérdidas han sido identificados como "fallas" las cuales proveen un factor usado en computación, pero no todas las "fallas" pueden ser usadas o aplicadas a una situación específica y algunas tienen que ser modificadas para un caso en particular.

Los cálculos para el método F&EI son usados como herramientas para determinar las áreas potenciales de mayor daño o pérdida. También son útiles para predecir el daño físico que podría ocurrir en el caso de un accidente y la pérdida que se espera al interrumpirse el curso normal del proceso o negocio.

Para emplear de una manera efectiva los cálculos del F & EI, se debe seguir primero un procedimiento lógico y eficiente para determinar que unidades de la planta deben ser estudiadas.

Para propósitos y como guía de éste método, una **unidad de proceso** se define como cualquier punto primario del equipo de proceso.

Es bastante claro que que la mayoría de las plantas tienen muchas **unidades de proceso**. Para calcular el índice de fuego y explosión **do** solamente se deben evaluar las **unidades de proceso** que tienen un impacto sobresaliente en la prevención de pérdidas del sistema, éstas se conocen con el nombre de **unidades de proceso pertinentes**.

Entre los factores que debemos de tomar en cuenta para seleccionar las unidades de proceso pertinentes se incluyen:

- a) Energía química potencial (factor dependiente del tipo de material),
- b) Cantidad de material en la unidad de proceso,
- c) Densidad de capital (dólares por pie cuadrado),
- d) Temperatura y presión del proceso,
- e) La bitácora o historial de los problemas que pueden conducirnos a un incidente de fuego y explosión.

En general, entre mayor sea la magnitud de cualquiera de éstos factores, mayor será la probabilidad de que la unidad de proceso necesite ser evaluada.

La destrucción en un incidente crítico es raro en una misma clase de equipo o cerca de una unidad de proceso y puede producir muchos días de paro en la producción. Aún con los mínimos daños de fuego y explosión, se pueden crear grandes pérdidas debidas a la interrupción del proceso o negocio. Otro criterio válido para seleccionar la unidad de proceso pertinente sería la pérdida crítica de tal equipo.

No existen reglas rápidas ni formales que rijan o establezcan un criterio para la selección de una unidad de proceso .

#### REQUERIMIENTOS PARA APLICAR EL INDICE DOW

- a) Plano de localización de la planta (preciso).
- b) Conocimiento profundo del flujo y condiciones del proceso.
- c) Diagrama de flujo detallado.
- d) Formato de trabajo índice dow.
- e) Guía de cálculo índice dow.
- f) Calculadora y compás.
- g) Relación de costos del equipo instalado en la planta.
- h) Procedimientos de operación y seguridad de la unidad.

## SECUENCIA DE CALCULO

Se inicia identificando, en el plano de localización aquellas unidades o secciones de proceso que se consideren como las de mayor impacto o que contribuyan más al riesgo de fuego o explosión.

Se determina el factor material para cada unidad o sección. Se evalúa la contribución de cada factor de riesgo para determinar el factor de riesgo de la unidad y el factor de daño, que presenta el grado de exposición a pérdidas.

Se calcula el índice dow de fuego y explosión (IFE) y el área de Explosión alrededor de la unidad o sección analizada.

Se determina el valor en dólares, del equipo dentro del área de explosión, 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 corregida. (esto también se logra relocalizando el equipo fuera del área de exposición).

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 pueda 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.

## UNIDADES DE PROCESO

Para el estudio dow, es necesario dividir el proceso en unidades o secciones, como pueden ser:

- Unidad de alimentación, almacenamiento, precalentamiento, reacción absorción, adsorción, purificación, mezclado, destilación, etc., o considerar equipos específicos como bombas, tanques, reactor, evaporador, columna de destilación, etc.

En determinados casos, como los de una bodega, la unidad de proceso se considera como el material almacenado.

El índice dow debe aplicarse en aquellas unidades de proceso donde exista un gran impacto en el riesgo de incendio o explosión de acuerdo al material existente, reacciones o proceso peligroso.

El objetivo del análisis será encontrar el área más grande de exposición en la planta y determinar los costos y días perdidos máximos que se podrían originar, así como las medidas necesarias para prevenir los riesgos que se encuentren.

#### FACTOR MATERIAL (FM)

El FM 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 y/o explosión.

El FM se determina considerando los riesgos de inflamabilidad y reactividad del material, y es un número entre 1 y 40, algunos se representan posteriormente, y los materiales no listados se calculan de la siguiente manera:

##### 1) Gases, líquidos o sólidos

a) Use el NFPA 49 y 325M y encuentre el Nf (riesgo de inflamabilidad) y Nr (riesgo de reactividad).

b) Use las propiedades termodinámicas del material.

Inflamabilidad (Nf): se deriva del punto de flama (Flash point) y del punto de ebullición cuando el punto de flama es menor a 100 °F.

Reactividad (Nr): se deriva de los cálculos de reactividad química por cualquiera de los siguientes métodos:

- Usando la temperatura adiabática de descomposición (Td), que es la temperatura teórica alcanzada por el proceso de descomposición completa del material inicialmente a 25 °C, sin considerar la presencia de trazas de impurezas, efectos catalíticos, atmosféricos, etc.

- Utilizando un calorímetro con rango de aceleración, o similar, para materiales con Td mayor a 1000 °K.

2) POLVOS: El FM se basa en la máxima velocidad de incremento de presión que alcanza, definida como la velocidad de aumento

de presión de explosión para el intervalo de tiempo de ése aumento.

3) Mezcla de compuestos: El FM se obtiene de los datos de la mezcla (punto de flama, Td, etc.): Otra manera es considerando el FM promedio de acuerdo al porciento en peso de los componentes, si los componentes no reaccionan entre sí.

#### GUIA PARA DETERMINAR FM

No. Comb.	NFPA 325	Nr=0	Nr=1	Nr=2	Nr=3	Nr=4
	Nf=0	1	14	24	29	40
PF>140 °F	Nf=1	4	14	24	29	40
140 F<PE<100°F	Nf=2	10	14	24	29	40
PF<100°F PE>100°F	Nf=3	16	16	24	29	40
PF<100°F PE<100°F	Nf=4	21	21	24	29	40
	POLVOS O NIEBLAS COMBUSTIBLES					
ST 1<7300 psi/seg		16	16	24	29	40
ST 2>7300<22000 psi/seg		21	21	24	29	40
ST 3>22000 psi/seg		24	24	24	29	40
	SOLIDOS COMBUSTIBLES					
Denso>40mm grueso 3		4	14	24	29	40
Abierto<40mm grueso 4		10	14	24	29	40
Celda de espuma cerrada 5		16				
Celda de espuma abierta		21				

1.- No enciende el aire cuando se expone a 1500 °F durante 5 minutos.

2.- Sume 100 a Td para peróxidos.

3.- Incluye madera, magnesio en lingotes o estacas sólidas.

4.- Incluye materiales como pellets plásticos, almacenamientos, rollos de papel.

5.- Incluye materiales de hule, como llantas, botas, etc.

#### RIESGOS GENERALES DEL PROCESO

Los puntos contenidos en esta sección incrementan la magnitud de un probable incidente, por lo que deben ser revisados en relación a la unidad de proceso analizada y evaluar los factores adecuados.

#### A. Reacciones Exotérmicas

1) El siguiente tipo de reacciones tiene un factor de 0.3: Hidrogenación, hidrólisis, isomerización, sulfonación y neutralización. La hidrólisis con epíclorohidrina tiene un factor de 0.5.

2) Las reacciones de alquilación, esterificación, oxidación, polimerización y condensación, tienen un factor de 0.5. La oxidación con oxidantes fuertes como cloratos,  $\text{HNO}_3$ , ácidos hipoclorosos, tienen un factor de 1.0.

3) La reacción de halogenación tiene un factor de 1.0.

4) La reacción de nitración tiene un factor de 1.25.

#### B. Reacciones Endotérmicas

Todas las reacciones endotérmicas tienen un factor de 0.2, excepto aquellas cuya fuente de calor, para sostener la reacción, sea proporcionada por combustión directa de combustible sólido, líquido o gaseoso, las cuales tienen un factor de 0.4.

#### C. Manejo y Transferencia de Materiales

Se consideran actividades relativas a mezclado, carga y descarga, almacenaje y empaquetado.

1) En la carga y descarga de líquidos inflamables Clase I ( $\text{PF} < 100^\circ\text{F}$ ) o gas LP considerando actividades de conexión y desconexión de líneas de transferencia desde pipas, carros-tanque, barcos o tanques se aplica un factor de 0.50.

2) El uso de centrifugas, reacciones batch, o mezclado en batch en recipientes semiabiertos, tiene un factor de 0.50.

3) Bodegas y patios de almacenamiento.

a) Líquidos inflamables Clase I o gas LP o gases inflamables, factor de 0.85.

b) Sólidos combustibles abiertos o de cara abierta (espesor  $< 40$  mm.), factor de 0.65.

c) Sólidos combustibles densos o de celda cerrada (espesor >40 mm.), factor de 0.4.

d) Líquidos combustibles Clase II, factor de 0.25.

Los factores se aplican de acuerdo a la cantidad presente.

#### D. Unidades de Proceso Cerradas

1) Si existen colectores o filtros para polvos explosivos, factor de 0.5.

2) Si contiene líquidos inflamables calentados arriba del punto de flama, pero abajo del punto de ebullición, factor de 0.3.

3) Líquidos inflamables o gas LP calentados arriba del punto de ebullición, factor de 0.6.

4) Más de 10 M Lb de material de los puntos 2 ó 3, el factor se multiplica por 1.5.

#### E. Acceso con Equipo de Emergencia al Area de Proceso

Se debe poder llegar a la unidad de proceso con equipo de emergencia y combate de incendios por al menos dos caminos distintos. Si el acceso es inadecuado, el factor será de 0.35.

#### F. Drenaje

Un drenaje inadecuado incrementa las pérdidas por fuego cuando se produce un derrame de inflamables. Para la evaluación de este punto se asume que el 75% del líquido inflamable contenido en la unidad se derrama, si queda líquido rodeando la unidad se aplica un factor de 0.5, si el drenaje es directo a un contenedor, se aplica un factor de 0.25.

### RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO

#### A. Temperatura del proceso

1) Si la temperatura del proceso o de las condiciones de manejo es o está sobre el punto de flama del material, se usa un factor de 0.3.

2) Si la temperatura del proceso o de las condiciones de manejo es o está sobre el punto de ebullición el factor es de 0.6.

3) Para materiales con baja temperatura de autoignición o pirofóricos como es el CS<sub>2</sub> o el hexano, se usa un factor de 0.75.

#### B. Baja presión (Subatmosférica)

Se aplica a cualquier proceso donde la entrada de aire al sistema pueda ser un riesgo. El factor aplicable a cualquier equipo de proceso que opere a presión subatmosférica, aún momentaneamente, es de 0.5.

#### C. Operación en o Cerca del Rango Inflamable

1) Tanque de almacenamiento de líquidos inflamables Clase I donde puede entrar aire durante el bombeo, factor de 0.5.

2) Procesos u operaciones donde se pueda caer en el rango inflamable o cerca de él, sólo en caso de falla de instrumentos o falla de purga, factor de 0.3.

3) Procesos u operaciones donde se opere cerca o en el rango inflamable ya sea porque no se pueda purgar, por el proceso en sí, o por diseño, tiene un factor de 0.8.

4) La descarga de pipas o carros tanque que involucren un relleno, tiene un factor de 0.4.

#### D. Polvos Explosivos

Tamaños de Partícula (micras)	Mesh de malla Tyler	Factor
más de 175	60 a 80	0.25
150-175	80 a 100	0.5
100-150	100 a 150	0.75
75-100	150 a 200	1.25
menos de 75	más de 200	2.00



Si se transporta o maneja con gas inerte, el factor será la mitad del señalado.

#### E. Presión

Esta sección se refiere a las unidades de proceso que operan a alta presión y que tienen dispositivos de alivio, tales como discos de ruptura, válvulas de alivio, etc.

En la figura 2 se indica el valor del factor en función de la presión de calibración del dispositivo de alivio. El factor se modificará de acuerdo a los siguientes puntos:

- 1) Si se manejan materiales altamente viscosos, se multiplica por 0.7.
- 2) Si son gases comprimidos, se multiplica por 1.2.
- 3) Si son gases licuados inflamables o materiales con presión de vapor de 40 psig, o más, se multiplica por 1.3.

Este apartado no se aplica a procesos de extrusión o moldeado.

#### F. Baja Temperatura

Esta sección estima los posibles daños que ocurren en el acero al carbón en o abajo de su temperatura de transición, sin considerar si el equipo no opera a temperaturas abajo de la transición del material con el que está construido.

- 1) Para equipos de acero al carbón operando entre 10 y menos  $29^{\circ}\text{C}$  ( $50$  y  $-20^{\circ}\text{F}$ ), factor de 0.3.
- 2) Si el acero al carbón se usa abajo de menos  $29^{\circ}\text{C}$  ( $-20^{\circ}\text{F}$ ), factor de 0.5.
- 3) Para otros materiales en o abajo de su temperatura de transición, factor de 0.2.

#### G. Cantidad de Material Inflamable

1) Líquidos inflamables o combustibles, gases licuados o gases a varias etapas de proceso, se obtienen los  $\text{BTU} \cdot 10^{-9}$  totales, multiplicando las libras del material por  $\Delta H_c$ ; con este dato en la figura No.3 se determina el valor del factor.

Los líquidos combustibles con punto de flama arriba de 140 ° F, sólo se consideran si la temperatura del proceso es mayor al punto de flama del material.

En los materiales inestables se determina el valor del factor utilizando seis veces el valor del calor de descomposición en BTU/lb ( $Hd = (Td - 300) * 0.70$ )).

2) Líquidos o gases en almacenamiento: En este punto se analiza el riesgo que representan los líquidos inflamables o combustibles, los gases licuados o gases en almacenamiento, aplicándose el proceso en tambores, tanques y en tanques portátiles.

El factor se basa en los BTU totales de un sólo recipiente de almacenamiento, excepto en el caso de tambores donde se utiliza la cantidad total almacenada en tambores.

Los materiales inestables se evalúan en función del calor de descomposición. El factor se evalúa por medio de la figura No.4 en la curva que corresponda. Cuando hay más de un recipiente en un área de tanques con un dique común, y no hay drenaje hacia un contenedor seguro, se evaluarán los BTU de todos los tanques para obtener el factor.

3) Sólidos combustibles en almacenamiento. El factor se evalúa considerando las libras totales de sólidos combustibles almacenados en un área aislada de otras, utilizando la figura número 5, de acuerdo a la densidad del material.

#### N. Corrosión y Erosión.

Esta sección considera tanto corrosión externa como interna.

- 1) Velocidad de corrosión menor a 0.5 mm/año factor de 0.10.
- 2) Velocidad de corrosión de 0.5 mm/año a menos de 1.0 mm/año, factor de 0.20.
- 3) Velocidad de corrosión mayor a 1.0 mm/año, factor de 0.50.
- 4) Riesgo de que la corrosión desarrolle esfuerzos de ruptura, factor de 0.75.

### I. Fugas-Juntas y Empaques.

- 1) Bomba y prensaestopas sellados de manera que sólo puedan dar fugas menores, factor de 0.10.
- 2) Si se sabe que se tendrán problemas regulares de fugas en bombas, compresores y juntas, factor de 0.30.
- 3) Si la naturaleza del fluido puede causar problemas continuos en los sellos, el factor es de 0.40.
- 4) Las juntas de expansión, tubos o juntas flexibles y mirillas de vidrio, tienen un factor de 1.50.

### J. Equipo Calentado con Fuego Directo.

La localización de los equipos calentados con fuego directo (hornos, calderas, etc.) en una unidad de proceso, aumenta la exposición a un incendio o explosión cuando hay un alivio de vapores inflamables. Si el líquido inflamable se derrama, podrá formar una mezcla vapor-aire inicial de algún grado de peligrosidad. La cantidad de fuga, las condiciones ambientales, la dirección y velocidad del viento y la distancia del equipo al punto de fuga, determina la probabilidad de ignición, la cuál aumenta si el líquido que se fuga está calentado arriba de su punto de ebullición.

El factor se evalua en la figura número 6 utilizando la curva que representa la temperatura del proceso y la distancia al fuego cuando opera arriba de su punto de flama. Los equipos operados con quemador de presión, aplican sólo la mitad del valor del factor.

### K. Intercambio de Calor con Aceite.

Los sistemas que utilizan aceites combustibles como medio de intercambio de calor, presentan una exposición adicional al fuego cuando opera arriba de su punto de flama. El valor del factor depende de la cantidad utilizada y de la temperatura de operación sin considerar las partes del sistema usadas como almacenamiento o que no tiene alimentación automática, excepto si es la unidad estudiada.

Cantidad de aceite (Gal)	T/punto de flama	T/punto de ebullición
< 5 M	0.15	0.25
5 M a 10 M	0.30	0.45
10 M a 25 M	0.50	0.75
> 25 M	0.75	1.15

## L. Equipo Rotatorio-Bombas y Compresores.

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. tienen un factor de 0.50.

### DETERMINACION DEL FACTOR DE RIESGO DE LA UNIDAD (F3).

El factor de riesgo de la unidad es el producto del factor de riesgos generales del proceso (F1) y el factor de riesgos especiales del proceso (F2), siendo cada uno la suma de los factores considerados más de 1.00 que es la base del factor. El factor de riesgo de la unidad (F3), es la medida de la magnitud del daño probable relativo a la exposición o a la combinación de los factores utilizados en el análisis y es un valor de 1 a 8.

El factor de daño es la magnitud de daño probable y esta en función del factor de riesgo de la unidad y del factor material como se muestra en la figura número 7.

### DETERMINACION DEL INDICE DOW DE FUEGO Y EXPLOSION (IFE)

El IFE es la probabilidad de daño de un fuego o explosión al área determinada por el radio de exposición y se calcula multiplicando el factor material por el factor de riesgo de la unidad.

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, posición del equipo, drenajes, etc., para poder calcular el área de exposición se considera circular, como la necesaria para retener un derrame de líquido inflamable de 8 cm. de profundidad, y los radios de sobrepesión de varias mezclas vapor-aire. Estos dos tipos de exposición se han relacionado con el IFE para determinar el radio de exposición como se muestra en la figura número 8.

## CLASIFICACION DE RIESGO

I F E	TIPO DE RIESGO
1-60	Ligero
61-96	Moderado
97-127	Intermedio
128-158	Grave
más de 158	Severo

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

El DMPP base, se obtiene del valor de remplazo del equipo dentro del área de exposición.

Valor de reposición=costo original \* 0.82 \* factor de escalación.  
(US. DLS)

0.82 es la corrección estadística por partes no sujetas a reemplazos, tales como, preparación de lugar, cimentación, líneas subterráneas, ingeniería, etc.

En el cálculo del DMPP base, debe incluirse el valor de los inventarios de productos, materias primas y materiales considerando el 80 % de capacidad para tanques de almacenamiento, 70 % de capacidad para bodegas y 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.

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

En el diseño y operación de plantas y edificios, se incluyen factores básicos de seguridad que contribuyen a minimizar la exposición de un área donde pueda ocurrir un riesgo o a reducir la probabilidad y magnitud del riesgo. Estos factores se utilizan para reducir el DMPP base a un valor actual y se han dividido en 3 grupos: C1-referente a control de proceso, C2- aislamiento del material y C3-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, (C1, C2 y C3); el producto de los factores de grupo nos da el factor de

corrección global ( $C1 \cdot C2 \cdot C3 = C$ ) y al referirse a la figura número 9, obtenemos el factor de corrección actual o definitivo. El producto del factor de corrección actual por el DMPP base nos da el DMPP actual. En el apéndice B se enlistan algunas medidas y dispositivos importantes de control de pérdidas y daños.

#### C1-Control de Proceso.

1) Energía de emergencia para los servicios esenciales, factor 0.97.

2) Sistema de enfriamiento capaz de mantener un enfriamiento normal durante 10 minutos en una condición anormal, el factor es de 0.98; si es capaz de dar el 150 % de los requerimientos en esos 10 minutos el factor es de 0.95.

3) Control de explosiones: Si hay sistemas de supresión de explosión instalados en los equipos de proceso, el factor es de 0.75; si hay dispositivos de alivio de presión o de venteo de explosiones el factor es de 0.96.

4) Paro de emergencia: Si el sistema es redundante, activado por dos o tres condiciones anormales, el factor es 0.96; si los equipos críticos rotatorios (turbinas, compresores, etc.) tienen detector de vibraciones y sólo alarma, el factor es de 0.98, si se inicia el paro el factor es de 0.94.

5) Control por computadora: si la computadora es sólo una ayuda para los operadores y no controla las operaciones claves directamente o si la planta se opera frecuentemente sin la computadora, aplica un factor de 0.98, si la computadora controla con falla segura lógica y con control directo use 0.95, si se utiliza alguna de las siguientes opciones, aplique un factor de 0.89.

- a) Entrada a campos críticos redundantes.
- b) Capacidad de abortar a salidas críticas.
- c) Capacidad de registro de los sistemas de control.

6) Gas inerte: si los equipos que contiene vapores inflamables están bloqueados con gas inerte, el factor es de 0.94; si la capacidad de gas inerte es tal que permita purgar toda la unidad, el factor es 0.90.

7) Instrucciones de operación: sume 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, 0.50.
- d) Cambio de condición de operaciones, 0.50.
- e) Condiciones de espera de corrida o total recirculación, 0.50.
- f) Condiciones sobre la capacidad de operación 1.0.
- g) Arranque después de paro por mantenimiento, 1.0
- h) Procedimientos de mantenimiento, permisos, entrega, candado, 1.50.
- i) Paro de emergencia, 1.50.
- j) Modificaciones o adiciones a equipo y tubería, 2.0.
- k) Revisión de situaciones anormales de fallas, 3.0.

8) Analisis de reactivos químicos: Si existe programa continuo como parte de la operación, aplica un factor de 0.85; si el análisis es ocasional, aplique un factor de 0.96.

#### C2-Aislamiento del material.

1) Válvulas de control remoto: Si aíslan secciones de transferencia, tanques de almacenamiento de proceso, el factor es 0.91.

2) Descarga a vertederos: Si se cuenta con un vertedero de emergencia donde se reciban los desechos de una fuga de proceso, aplica un factor de 0.96, si el vertedero esta en un área exterior al proceso, use 0.94, si los vapores van a un flare o a un recibidor, el factor es de 0.94.

3) Drenaje: Si el drenaje tiene una pendiente mínima de 2% y la trinchera es capaz de manejar mínimo 95 % del contenido del proceso, aplique 0.85; si cuenta con un vertedero para grandes fugas, pero puede manejar hasta el 30 % de contenidos, el factor es de 0.95. El área de tanques en dique no tiene factor por seguridad, a menos que dentro del dique exista una pendiente que lleve los derrames a un vertedero localizado a mínimo un diámetro de tanque de distancia, el factor es de 0.95.

4) Interlock: el factor es 0.96 si el proceso cuenta con un sistema de interlock que prevenga un flujo de material incorrecto o reacciones no deseadas.

### C3-Protección Contra Incendios.

1) Detección de fugas: Si se cuenta con detectores de vapores que alarman e identifiquen la zona de fuga, aplique 0.97, cuando alarme al 25 % del límite inferior de explosividad y actue el sistema de protección al 75 % el factor es 0.90.

2) Acero estructural: Si esta recubierto a una altura de 3 metros aplique 0.97; si esta recubierto de 3 a 6 metros use 0.95, si el recubrimiento esta a más de 6 metros use un factor de 0.92.

3) Tanques recubiertos: Si el tanque tiene doble envolvente donde el segundo cuerpo pueda contener la carga total, factor de 0.85, si el tanque es recubierto bajo o sobre tierra con un contenedor o paredes de retención con una línea de retorno, el factor es de 0.75.

4) Suministro de agua: Si la presión en el punto de descarga es de 100 psi o más, el factor es 0.90, si es menor a 100 psi, aplique 0.95.

5) Sistemas especiales: Si la unidad cuenta con sistemas de CO<sub>2</sub>, polvo químico seco, detectores de humo, temperatura o ionización el factor es 0.85.

6) Sistema de rociadores: Factor de 0.95 para sistema diluvio, los sistemas seco y húmedo tienen un factor de acuerdo a la densidad de diseño y corregida por el área a proteger.

Densidad (gpm/ft <sup>2</sup> )	Factor
< 0.20	0.80
0.21 a 0.34	0.70
> 0.35	0.60

### Corrección del Factor por el Area Protegida.

Area (ft <sup>2</sup> )	Factor por
> 10000	1.10
> 20000	1.15
> 30000	1.20



7) Cortinas de agua: Si se utilizan cortinas de agua entre la fuente de vapor y la fuente de ignición a menos de 25 metros de la fuente de vapores compuesta de una sola hilera de boquillas, elevadas a máximo 5 metros aplica un factor de 0.97, si se cuenta con una segunda hilera a máximo 2 metros de la primera use un factor de 0.95.

8) Espuma: Si se puede inyectar solución espumante al sistema diluvio desde una estación remota manual, el factor es 0.90, Si el sistema de espumas es automático utilice 0.87, si hay estaciones de espuma en los tanques de techo flotante, el factor es 0.95, si se utilizan dispositivos para la detección del inicio de un fuego use 0.90, si se utilizan cámaras de espuma o sistemas superficiales en tanques de techo cónico, el factor es 0.98, si se cuenta con estaciones de espuma exteriores a los envolventes de tanques de inflamables, el factor es 0.95, si se utilizan monitores o mangueras para aplicar la espuma, el factor es 0.95.

9) Extinguidores portátiles-cañones monitores: Si se utilizan con la cantidad suficiente de extinguidores, se aplica 0.97, si además se cuenta con cañones monitores se utiliza 0.95; si el cañón monitor se puede operar a control remoto, se aplica factor de 0.92.

10) Protección de cables: si se utilizan cables calibre 14 o 16 protegidos por rociadores de agua, el factor es 0.96, si el cableado es subterráneo o en una trinchera rellena seca, se aplica 0.90.

#### DETERMINACION DEL DAÑO MAXIMO PROBABLE A LA PROPIEDAD ACTUAL

El valor del factor de corrección actual de la figura número 9, multiplica al DMPP base para obtener el DMPP actual o definitivo.

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

Los MDPFO, es el tiempo en 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 está en función del DMPP actual indicado en la figura número 10.

Interrupción de negocios =  $\frac{MDPFO}{30} \times \text{valor prod. terminado} \times 0.70$

30

(\$ MM US dls)

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

## RESULTADOS DE ANALISIS.

Se pueden concentrar en forma de reporte los siguientes datos: factor de riesgo, factor material, valor del área expuesta, IFE, factor de daño, DMPP base, Factor de corrección, DMPP actual, DMPFO, e IN y las recomendaciones del grupo que analiza para minimizar los riesgos.

## INDICE MOND DE FUEGO, EXPLOSION Y TOXICIDAD.

## DIVISION DE UNA PLANTA EN SECCIONES

Una "sección" se define como parte de una planta que se puede identificar lógica y fácilmente como una entidad separada. Puede consistir en una porción de la planta que está ( o puede estar) separada del resto, ya sea por una distancia o por barreras contra fuego, dique, etc. La parte de la planta seleccionada como una sección es normalmente el área donde exista un proceso particular y/o un riesgo material, diferente de aquellos presentes en otras secciones cercanas. Los tipos más comunes de secciones son:

- a) Almacenamiento de materias primas.
- b) Sección de alimentación.
- c) Sección de reacción
- d) Destilación de un producto.
- e) Sección de absorción o agotamiento.
- f) Almacenamiento intermedio.
- g) Almacenamiento de productos.
- h) Sección de carga y descarga.
- i) Sección de manejo de catalizadores.
- j) Tratamiento de subproducto.
- k) Tratamiento de efluentes.
- l) Una porción del puente de tuberías que entre al área de la planta.

Estos tipos de unidades no son las únicas, hay otras tales como filtración, secado, procesamiento de sólidos, compresión de gas, etc., que debe usarse para dividir a la planta en secciones adecuadas.

Solamente dividiendo a la planta en un número de secciones de diferentes tipos, pueden establecerse las características de riesgo de las diferentes unidades de la planta; de otra manera, toda la planta o una gran parte de ella se caracterizaría por la sección más peligrosa. También permite considerar límites para que los incidentes no se

extiendan a otras unidades de alta inversión de capital desde la sección más peligrosa de una planta.

Evaluando las áreas de almacenamiento, una unidad comprenderá generalmente un dique y todos los tanques y equipos contenidos.

Otras áreas cercadas separadamente se consideran como secciones diferentes para identificar correctamente los peligros relativos de gases licuados, líquidos altamente inflamables, líquidos combustibles y materiales que tengan riesgos especiales, como riesgos de polimerización espontánea, formación potencial de peróxido o propiedades de explosión de la fase condensada, etc. Los puentes de tuberías más grandes que están dentro de del área de la planta se estudian como secciones separadas de los procesos de la planta y de las unidades de almacenamiento. Una sección adecuada para considerar los riesgos de un puente de tuberías es el largo del puente de tuberías entre los polos de soporte principal y el almacén completo con la tubería colocada encima.

Los tubos que corren a nivel del piso se consideran como una sección. Se sugiere una longitud de 25 metros como definición adecuada de una sección ( trincheras completas o tuberías individuales) para estudio, a menos que las condiciones locales indiquen otra alternativa de longitud.

En el caso de edificios de muchos pisos donde se efectúan diferentes operaciones de proceso separados en diferentes pisos y en diferentes partes del edificio, se puede dividir en secciones apropiadas tanto en direcciones vertical como horizontal, TENIENDO CUIDADO de que ninguna operación de proceso ( como columnas de destilación) pase a través de los límites entre las diferentes secciones verticales u horizontales. Una vez que los límites de las secciones se definan, se analiza cada una en forma separada.

#### **LISTADO DE MATERIALES PARA UNA SECCION DE LA PLANTA.**

Los materiales, catalizadores, intermedios, sub-productos y solventes se identifican y listan para la sección junto con las reacciones u operaciones normalmente efectuadas dentro de ella. A continuación se selecciona uno de estos materiales ( o mezcla de los mismos) que represente el mayor riesgo en la unidad. Esto se basa generalmente en el grado de inflamabilidad combinado con la cantidad de material entre los listados individualmente en la sección, pero en algunos casos la combinación de cantidad y energía potencial explosiva PUEDE considerarse como el mayor riesgo.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Para que un material se seleccione como un material clave, debe estar presente en tal magnitud que sea peligroso. Si un material que tiene riesgo excepcional (como acetileno) esta sólo presente en pequeñas cantidades en relación con una mayor cantidad de un material como el propano, éste último se selecciona como el material clave. Sin embargo, si un material tal como el acetileno está presente en pequeñas cantidades relativas a un material inerte como el nitrógeno, el acetileno se seleccionará como el material clave.

Si una sección de la planta tiene más de un material apropiado, se deben hacer apreciaciones separadas basadas en cada material clave y establecerse como final el más severo, seleccionandolo como representando los riesgos de la sección. También se puede usar una mezcla como material clave si la mezcla permanece constante y representa la reacción o el potencial dominante de fuego, reactividad, explosión o toxicidad en la sección.

#### METODO DE APLICACION

##### 1. DETERMINACION DEL FACTOR DE MATERIAL (B).

El primer punto para la aplicación de la técnica es el cálculo de factor de Material del material clave (o mezcla de materiales) previamente identificado al listar los materiales, reacciones y operaciones incluidas en la sección.

El factor de material se define como una medida del fuego, explosión o energía potencial liberada por el material clave a una temperatura de 25 °C y a presión atmosférica (gas, líquido o sólido). En el formato de trabajo el factor material se designa con la letra "B".

a) El Factor de Material para materiales normalmente inflamables se define como el calor neto de combustión en aire a 25 °C del material clave en su estado normal a 25 °C y a presión atmosférica. El Factor de Material se calcula como sigue:

$$B = \frac{\Delta H_c}{1000} \quad \text{donde } \Delta H_c \text{ se expresa en BTU/lb de material clave o } \dots\dots\dots$$

$$B = \frac{\Delta H_c^1 * 1.8}{1000} \quad \text{donde } \Delta H_c^1 \text{ se expresa en calorías/gramo de material clave.}$$

b) Materiales Poco Inflamables.

El Factor de Material para materiales clave que tengan poca inflamabilidad o que se consideren como combustibles en situaciones de transporte, no debe tomarse como CERO, debido a que se puede calcular un calor neto de combustión equivalente. Esto se hace con referencia a los calores de formación del material clave y sus productos de combustión (en estado gaseoso) o en la forma convencional. El Factor de Material a partir del calor neto de combustión equivalente se determina como sigue:

$$B = \frac{\Delta H_r \cdot 1.8}{M}$$

donde  $\Delta H_r$  = calor equivalente de combustión en kcal/grmol "de combustible"  
M = peso molecular del "combustible".

Ejemplo de materiales poco inflamables:

Tricloroetileno 1.1.1 ; Tricloroetano; Percloroetileno;  
Cloruro de metileno; Cloroformo.

c) Materiales No Combustibles.

Algunas veces el material clave puede ser de los que no dan calor neto de combustión con oxígeno. Ejemplos: agua, arena, nitrógeno, helio, tetracloruro de carbono, dióxido de carbono, hexacloroetano. Para este grupo de materiales, que estrictamente no tienen Factor de Material, debe usarse un valor de 0.1 a fin de permitir que el método sea efectivo.

d) Mezclas de Materiales Inflamables con Diluyentes.

En casos de mezclas de materiales, se usa el Factor Material del componente más combustible o explosivo, A MENOS que siempre esté una proporción fija de diluyente. En este caso se puede tomar el Factor de Material para el componente combustible y ajustarlo en base al peso y tomando FM= 1.0 para un diluyente inerte ( o un valor más alto para materiales poco inflamables).

e) Sólidos y Polvos Combustibles.

Muchos materiales sólidos tienen valores de calor de combustión que no son apropiados para usarse en el Índice Mond. Por ejemplo, cuando sólidos metálicos voluminosos u otros como materiales orgánicos como madera en gran volumen (otros que no sean granulados o más pequeños), se seleccionan como material clave. En estos casos se aplica un valor de FM=0.1, a menos que el sólido combustible esté en forma

separada, granular o en polvo, lo que se reconoce como más peligroso que usando el mismo material en forma masiva. En estos casos de mayor riesgo, se calcula el Factor de Material basado en el calor de combustión del material.

f) Materiales de Composición no Especificada.

Algunos materiales tales como gases combustibles, materiales patentados vendidos para aplicaciones especializadas, polvos mezclados (productos farmacéuticos), algunos polvos, (harina, carbón, etc.) pueden presentar dificultad para obtener el valor de calor de combustión (a menos que se cuente con datos de bomba calorimétrica). En algunas situaciones se puede disponer de datos en la forma de presión de explosión de recipientes cerrados, que pueden convertirse en Factor de Material por la siguiente relación:

$$B = \frac{P * T}{288 * 6.2}$$

donde P = presión de explosión máxima en psig partiendo inicialmente de presión atmosférica.  
T = temperatura inicial °K

g) Combinaciones de Materiales que Pueden Reaccionar.

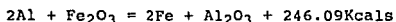
Esto se refiere a combinaciones de materiales donde la cantidad de calor que se puede liberar excede del valor del calor de combustión para el material clave. Estas combinaciones surgen cuando se pueden mezclar en la planta cantidades de materiales oxidantes y reductores, y como ejemplo estan las reacciones de tipo "termita", reacciones de metales finamente divididos con solventes de hidrocarburos halogenados, reacciones de nitración o sulfonación.

Bajo estas condiciones, se calcula el calor de reacción de la combinación y se determina el Factor de Material como sigue:

$$B = \frac{\Delta H_R^1 * 1.8}{M^1}$$

donde:  $\Delta H_R^1$  = calor de reacción en kcal/grmol de un componente,  
 $M^1$  = peso molecular del componente usado para calcular HR + el peso molecular equivalente del otro componente basado en el mecanismo de reacción.

Ejemplo de reacción "termita" de aluminio con óxido férrico:



$$B = \frac{246.09 * 1.8}{53.96 + 159.69} = 2.07$$

h) Materiales que Tienen potencial de Explosión o Descomposición de la Fase Condensada.

Se considera bajo esta categoría la situación en la que cantidades apreciables de materiales tienen ALGUNAS propiedades de comportamiento de este tipo. Por ejemplo: nitrometano, dinitrobenceno, acetileno, nitrato propílico, peróxido de hidrógeno concentrado, peróxidos orgánicos, tetrafluoretileno, etc. En estos casos es necesario establecer si el calor neto de combustión es mayor o menor que el calor neto liberado durante la explosión o descomposición. El valor de liberación de calor que sea mayor se usa para determinar el Factor de Material.

En el caso en el que el material clave pueda formar una mezcla o producto que tiene potencial de explosión o descomposición en la fase condensada al exponerse al aire u otras condiciones, no se considera este hecho en el cálculo del Factor de Material, ya que el material modificado no representa el volúmen total del material presente durante la operación de la unidad.

#### CONSIDERACION DE MEDIDAS PREVENTIVAS POTENCIALES.

Al considerar muchos aspectos de los Riesgos Especiales de Procesos, surgen problemas para fijar el valor correcto de los factores cuando se sabe por anticipado que se tomarán medidas preventivas para neutralizar algún Riesgo Especial del Proceso en particular. Obviamente, si no se hace ninguna concesión para el sistema más simple de control de la unidad o estandar de diseño, resultará un riesgo alto fuera de la realidad. Por otra parte, si se supone que todos los sistemas de seguridad y control operan correctamente todo el tiempo, esto dará una estimación muy baja de riesgos porque no se toman en cuenta las fallas de los operadores ni del equipo.

La directriz que debe seguirse en el Estudio de Riesgos Especiales de Proceso ( y cualesquiera otros comparables ) es suponer que la planta cuenta con sistemas de control (si se operan correctamente) apropiados para mantener la operación

del proceso (aunque con algunas desviaciones). Este es el sistema de control básico sin considerar los sistemas complejos que normalmente se instalan para mejorar la eficiencia o por razones de control de seguridad. Por lo mismo, se considera que la unidad contará con equipo eléctrico de acuerdo con los materiales presentes normalmente y con la guía de clasificación eléctrica de áreas.

Los sistemas especiales de interlock, equipo de supresión de explosión, sistemas de venteo o desecho, sensores de gas combustible o analizadores de gas continuo, sistemas fijos de inerte, válvulas de exceso de flujo u operadas a distancia y muchos otros aspectos similares de seguridad, no deben tomarse en cuenta para el estudio inicial de la sección de proceso.

El objetivo del estudio inicial es asegurar que el resultado represente el nivel de riesgo potencial si todos los sistemas de seguridad especiales no operan. El tamaño y la naturaleza de este incidente potencial se puede revisar junto con los sistemas especiales que existan en la sección o los que se consideren por la vía de otros estudios de riesgos. La técnica de la Estimación del índice de Fuego, Explosión y Toxicidad Mond tiene como uno de sus objetivos la identificación de algunas, pero no necesariamente todas las áreas que requieren estudio más detallado de riesgo.

En una etapa posterior, los valores de factores de riesgo seleccionados inicialmente se revisan y se asignan factores para medidas preventivas.

## 2. RIESGOS ESPECIALES DEL MATERIAL (M).

Los aspectos a revisar para determinar los Riesgos Especiales del Material tienen por objeto tomar en cuenta las propiedades específicas del material clave o cuando se mezcle con otros materiales tales como catalizadores. Los factores de riesgo se asignan en función de las circunstancias de uso del material clave en la sección que se estudia y no se define por las propiedades del material clave aislado.

### A) Materiales Oxidantes:

Se aplica cuando el material es capaz de liberar oxígeno bajo condiciones de fuego y a cualquier material que se clasifique como una sustancia oxidante en los reglamentos de transporte. El factor usado debe estar entre 0 y 20 y debe relacionarse con la cantidad de material oxidante respecto al material clave y a su poder oxidante. Ejemplos: oxígeno líquido, cloratos, nitratos, percloratos, peróxidos.



No se aplica un factor cuando el material oxidante se haya incluido como parte de una combinación especialmente reactiva en la determinación del Factor Material. No se debe aplicar en los casos de reacciones de oxidación controlada o cloración, donde el abastecimiento de material oxidante o de cloración se controla de manera que no se libere ninguna cantidad bajo condiciones de fuego.

#### B) Materiales que Reaccionan con Agua Para Producir Gas Combustible.

Se consideran aquellos materiales que en estado normal o bajo condiciones de fuego reaccionan con agua para liberar gas combustible. Si la cantidad de material reactivo es lo suficientemente pequeña como para producir sólo un fuego pequeño o un aumento insignificante del incendio, aplique un factor hasta de 5. Si el material reactivo es inflamable, no se aplica ningún factor. En los casos en los que la contribución al fuego de la reacción del material con agua es apreciable, se selecciona un factor hasta de 30. Ejemplos: carburos, sodio, magnesio, amidas metálicas alcalinas, hidruros, etc.

#### C) Características de Mezclado y Dispersión (m).

El grado de riesgo del material clave está en función de si se trata de un gas denso o ligero, líquido inflamable, gas licuado inflamable, material viscoso, etc., aunque el factor de material sea sensiblemente constante. Se selecciona un factor  $m$  para los aspectos de riesgo de mezclado y dispersión por fugas y derrames como sigue:

##### 1. Gases Inflamables de Baja Densidad.

A menos que estos estén a temperaturas bajo cero, se dispersan rápidamente y su contribución a los riesgos de fuego y explosión es menor que la de los gases con densidad igual a la del aire.

Hidrógeno - use un factor de -60 (menos 60)  
Metano y Amoniaco - use un factor de -20 (menos 20)  
Mezclas con otros materiales - use un factor proporcional basado en los valores arriba anotados y un factor CERO a la densidad del aire.

##### 2. Gases Licuados Inflamables.

Un gas licuado inflamable se define como un material inflamable con una temperatura crítica arriba de  $-10^{\circ}\text{C}$  y un punto normal de ebullición menor de  $30^{\circ}\text{C}$ . Para estos gases se usará un factor de 30.

### 3. Líquidos Criogénicos Inflamables.

El material criogénico se define como un líquido que se almacena a, o cerca de la presión atmosférica y a temperaturas de  $-73^{\circ}\text{C}$  o menor.

En los casos en que sean inflamables (como el hidrógeno líquido) se aplica un factor de 60.

### 4. Materiales Viscosos.

Si el material clave es altamente viscoso a temperaturas relevantes de la sección, se debe seleccionar un factor de 20 (menos 20); por ejemplo: alquitrán, betún, aceites lubricantes pesados, resinas, asfaltos, materiales toxitrópicos, etc.

#### D) Sujetos a Calentamiento o Combustión Espontánea.

A los materiales que pueden desarrollar efectos de calentamiento durante el almacenamiento o uso, se les asigna un factor de 30; ejemplos: algunos peróxidos orgánicos y almacenamiento en silos de carbón, materiales orgánicos como paja y pasto, nitrato de amonio, etc.

A los sólidos pirofóricos (como sulfuro de hierro, metales reactivos, fósforo, etc.) se les asigna un valor de 50 a 250. El valor del factor seleccionado debe referirse a la tendencia al fuego que surja de las partículas de sólido pirofórico y si hay impurezas inertes que reduzcan el grado de piroforicidad.

A los líquidos pirofóricos se les asigna un factor de 100.

#### E) Polimerización Espontánea.

Para materiales que se puedan polimerizar espontáneamente con rápida generación de calor, cuando se sobrecalientan por fuego o contaminación bajo condiciones normales de almacenamiento, use un factor de 75.

#### F) Sensibilidad a la Ignición.

Se refiere a la sensibilidad a la ignición en general del material clave con AIRE como oxidante. No se incluye la piroforicidad.

La guía para seleccionar factores de sensibilidad a la ignición se basa en estándares de clasificación eléctrica para equipo de gas y de vapor, con cambios específicos en los casos en que el trabajo de estudio de riesgo requiera el reconocimiento de diferentes niveles de riesgo como se muestra en la Tabla I.

En la Tabla I se notarán variaciones entre los diferentes códigos de clasificación relacionados con sensibilidad a la ignición, y a menos que aparezca una guía específica en la tabla mencionada, se debe usar el factor más alto para sensibilidad a la ignición.

#### G) Sujetos a Descomposición Explosiva.

Una descomposición explosiva se define como una reacción acompañada por la liberación de grandes cantidades de gases calientes que ocurre con suficiente rapidez para proporcionar una rápida reacción o una explosión visible a un observador.

El factor 125 se asigna para el caso de etileno de alta presión, peróxidos concentrados vaporizados, vapor de óxido de etileno, acetileno a presiones abajo de una presión parcial de 20 psig, vapor de nitrato propílico, etc. Dicho factor también se debe aplicar al acetileno almacenado en cilindros conteniendo absorbente poroso inerte aprobado. No se debe aplicar ningún factor bajo este encabezado a materiales explosivos en fase condensada (ver I) ó a materiales sujetos a detonaciones gaseosas (ver H).

#### H) Sujetos a Detonación Gaseosa.

Ciertos materiales pueden dar lugar a detonación gaseosa bajo condiciones normales de proceso o con el equipo específico involucrado o cuando es necesario depender de la instrumentación para conservar el material fuera de los rangos especificados de temperatura, presión, etc, para evitar detonaciones.

A estos materiales se les debe dar el factor de 150; ejemplos: acetileno con una presión parcial de más de 20 psig; tetrafluoroetileno bajo presión, peróxido de hidrógeno concentrado, etc. Este factor no debe aplicarse a combustibles que detonen cuando se mezclan con aire u otro soporte.

#### I) Propiedades Explosivas de la Fase Condensada.

Bajo este encabezado se consideran las propiedades propulsoras y detonantes explosivas de la fase condensada del material clave o de la mezcla. Cuando el material tiene propiedades deflagrantes o de propulsión, se le asigna un factor entre 200 y 400.

Cuando el material puede detonar, se le asigna un factor entre 500 y 1000.

Cuando el material sea tal que una explosión de gas o de fase vapor inicie una explosión de fase condensada, adicione 500.

Debe tomarse en cuenta que el comportamiento de la fase condensada de un material es una función de la cantidad de material presente, la presencia de contaminentes y de inertes.

Si el comportamiento es dudoso, debe consultarse con el área de Seguridad Industrial para definir el factor a asignar.

#### J) Otro Comportamiento Extraño.

Un ejemplo de riesgos especiales que pueden producir fuego espontáneo o explosión, es el hexano mezclado con 20 % o más de alquil aluminio, que provoca fuego espontáneo cuando se pone en contacto con el aire.

Para estos casos peligrosos debe asignarse un valor entre 0 y 150. Cuando se presente este Riesgo de Material Especial se recomienda consultar el área de Seguridad Industrial.

### 3. RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (P).

#### A) Sólo Manejo y Cambio Físico.

El almacenamiento de materiales inflamables que cuente con protección adecuada (dique o equivalente) y esté separado de las operaciones de carga y descarga se le asigna un factor de 10.

Cuando un material que está siendo almacenado está caliente y tiene una fase acuosa separada, y/o el recipiente de almacenamiento está calentado con vapor, se usa un factor de 50.

Las operaciones de proceso que incluyen manejo y cambio físico solamente y se llevan a cabo en sistemas cerrados con tubería permanentemente instalada (como destilación, absorción, evaporación, etc.) deben ser calificadas con un factor de 10.

Los procesos con centrifugado, mezclado batch, filtración, etc., requieren un factor de 30.

#### B) Reacciones Continuas Simples.

Para reacciones endotérmicas y aquellas exotérmicas que se efectúen en soluciones diluidas de manera que el solvente pueda absorber todo el calor que se genere en la reacción sin crear una situación peligrosa, se aplica un factor de 25; ejemplos: reacciones de separación (cracking) e isomerización y también producción de clorohidrina cuando la sección del reactor contenga más de 90 % de agua.

El factor de 50 se asigna a otras reacciones exotérmicas como polimerización, cloración, etc.

A los procesos que incluyen materiales sólidos como pulverización, mezclado, transportación neumática, tolvas, filtración de polvos, secado de sólidos, etc. se les asigna un factor de 50.

#### C) Reacciones Batch Simples.

El factor a aplicar se basa en el inciso B para reacciones continuas, más un factor adicional entre 10 y 60 para tomar en cuenta un posible error del operador. El factor escogido debe ser mayor cuando la reacción batch sea rápida (menos de 1 hora) o lenta (más de 1 día). Las reacciones de velocidad media entre estos valores deben tener un factor bajo.

#### D) Reacciones Múltiples o Diferentes Operaciones de Proceso Efectuados en el Mismo Equipo.

Se debe incluir otro factor extra por el riesgo de contaminación de una u otra reacción o por bloqueo de sólidos. El procedimiento es considerar las reacciones individuales u operaciones bajo los incisos A), B) o C) (el que aplique) y seleccionar el factor más alto para la reacción u operación individual.

Se debe aplicar un factor de contaminación cuando las reacciones u operaciones difieran considerablemente una de otra o cuando se use el reactor para hacer otro tipo de producto en el que la contaminación afecte a la reacción. Aplique un factor hasta de 50 de acuerdo con el grado de contaminación.

Donde haya una alteración en el orden de tiempo o de admisión de reactivos en una situación multi-reacción, que pueda conducir a reacciones inesperadas, aplique un factor hasta de 75.

Si por la multiplicidad de reacciones u operaciones se tiene un riesgo de bloqueo debido a las reacciones de sub-productos, use un factor de 25.

#### E) Transferencia de Materiales.

En este inciso se consideran los riesgos adicionales asociados con métodos específicos de llenado, vaciado o transferencia de materiales.

- 1) Sólomente donde haya tubería permanente instalada, completamente cerrada, aplique un factor de CERO.
- 2) Donde haya tubería flexible o donde la operación requiera la conexión o desconexión de tubería use un factor de 25.
- 3) Donde las operaciones de llenado o de vaciado se efectúen a través de compuertas u otras tapas o salidas inferiores (por ejemplo reactores batch, mezcladores, centrífugas, filtros) use un factor de 50.
- 4) Cuando en una operación de transporte se esté usando tubería flexible o que se pueda quitar y que también requiera el uso de conexiones para venteo simultáneo o purga de gas inerte, aplique un factor adicional de 50.

#### F) Recipientes Transportables.

Si los tambores, tanques desmontables, pipas y carros-tanque estan bien cerrados (excepto cuando se llenan o se vacían), las consecuencias de choques, fuego externo y otros incidentes pueden ser mayores que en las unidades fijas de las plantas, debido a que el venteo disponible es mínimo. Este inciso considera los riesgos adicionales causados por esta razón; también se ha tomado en cuenta el caso de tambores llenos de vapor y otros recipientes.

- 1) Cuando se trate de tambores llenos (que no estén en vehículos de transporte) use un factor de 25.
- 2) Cuando se trate de tambores llenos en vehículos de transporte, use un factor de 40.
- 3) Cuando se trate de tambores vacíos (en o fuera de vehículos) use un factor de 10.
- 4) Cuando se trate de pipas o trailers, use un factor de 100.
- 5) Cuando se trate de carros-tanque, use un factor de 75.

#### 4. RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO(S).

En esta sección los factores se asignan con respecto a las características de operación del proceso, almacenamiento, transporte, etc., que intensifiquen el riesgo total sobre la clasificación determinada por las características del material clave y del proceso u operación básica de que se

trate, siendo de la mayor importancia hacer una estimación correcta de las medidas de control y de protección con que se cuente.

#### A) Baja Presión.

Cuando los procesos operan a presión atmosférica o al vacío (condiciones subatmosféricas), el aire o contaminantes pueden entrar al sistema de proceso. Cuando el aire u otro contaminante ( por ejemplo vapor de agua) no represente un riesgo, no se necesita aplicar un factor; ejemplo: unidades que contienen "freón" o "arctón", unidades de compresión de cloro, sistemas de condensación de agua, etc. Si el aire o los contaminantes que entren al sistema reaccionan con materiales presentes para producir una condición riesgosa, aplique un factor de 50; por ejemplo: el manejo de diolefinas (dioxano) donde hay el peligro de formación de peróxido y polimerización catalítica subsecuente; y el manejo de materiales pirofóricos.

Los procesos que operan casi a presión atmosférica (definida como +/- 0.5 psig ó +/- 0.35 bar) o al vacío (hasta un diferencial de 600 mm Hg) con matriales inflamables, presentan un gran peligro por el riesgo de explosión originado por la entrada de aire al sistema. En tales casos se aplica un factor de 100. Ejemplos: sistemas colectores de hidrógeno, destilación a vacío parcial de líquidos inflamables.

Los procesos que operan a alto vacío (diferencial superior a 600 mmHg) con materiales inflamables, presentan un riesgo menor y se aplica un factor de 75.

#### B) Alta Presión (p).

Donde se opera una unidad de planta y una presión más alta que la atmosférica, se requiere un factor para compensar la intensidad de riesgos de fuego y de explosión interna. Los riesgos de fuegos aumentan si se aumenta la presión de la sección y por lo tanto el riesgo de una explosión interna. Se aplica un factor p para representar el peligro de alta presión, el cual se determina por medio de la Figura 1. El rango 0-900 psig (0-62.1 bars man.) se grafica como la curva principal, con una segunda curva para el rango 1000-10,000 psig (69 a 690 bars manométricos).

Los sistemas que operan a más de 3000 psig (207 bars manométricos), involucran un riesgo considerable de un escape grande de fluido descargado a la atmósfera (excepto donde se trate de semi-sólidos como es en las operaciones de moldeo por extrusión o inyección), por lo que la curva de la Figura 1. aumenta más rápidamente arriba de 3000 psig ( 207 bars

manométricos) debe aumentarse el factor p en 10 por cada 2500 psig adicionales (172.4 bars).

#### C) Baja Temperatura.

Donde los equipos instalados son de acero al carbón normal y las temperaturas normales de operación oscilen entre  $10^{\circ}\text{C}$  ( $50^{\circ}\text{F}$ ) y  $-10^{\circ}\text{C}$  ( $14^{\circ}\text{F}$ ), asigne un factor de 15.

Cuando se use acero al carbón normal a temperaturas normales de operación entre  $-10^{\circ}\text{C}$  ( $14^{\circ}\text{F}$ ) y  $-25^{\circ}\text{C}$  ( $-13^{\circ}\text{F}$ ) sin posibilidad de alcanzar temperaturas menores a  $-25^{\circ}\text{C}$  bajo cualquier condición, asigne un factor de 30.

Donde se use acero al carbón normal a temperaturas normales de operación abajo de  $-25^{\circ}\text{C}$  ( $-13^{\circ}\text{F}$ ) o donde haya posibilidad de alcanzar temperaturas menores a  $-25^{\circ}\text{C}$  bajo condiciones anormales, asigne un factor de 100.

El propósito de esta sección es tomar en cuenta la posible fragilización de unidades de acero al carbón al ser operadas a una temperatura igual o menor a la de transición. Sin embargo si las pruebas muestran que el acero al carbón se encontrara siempre sobre su temperatura de transición, no se aplica ningún factor.

Cuando se usan grados de acero para bajas temperaturas, aleaciones de acero u otras aleaciones resistentes a la corrosión, se aplicará un factor entre 0 y 30, pero ocasionalmente hasta 100, cuando la temperatura normal de operación difiera en menos de  $10^{\circ}\text{C}$  de la temperatura de transición (tomando la temperatura normal de transición del acero al carbón como cero grados centígrados). Se debe buscar la guía de los especialistas en diseño de recipientes a presión y de metalurgistas para los valores de la temperatura de transición de aleación de aceros etc., y para los efectos que se pueden anticipar al usar contracciones de paredes gruesas.

#### D) Alta Temperatura.

La operación a alta temperatura presenta un efecto doble: primero aumenta los riesgos inherentes al manejo de material inflamable, y segundo, la resistencia del equipo de planta se puede ver afectada negativamente.

1. Los efectos de la alta temperatura en los riesgos del material dominante presente son mayores cuando el material es un líquido inflamable, pero también son significativos con gases y vapores inflamables.

Cuando la unidad contenga el material dominante en fase líquida o sólida, asigne el factor de inflamabilidad por alta temperatura como sigue:



1.1 Cuando un líquido o sólido inflamable este arriba de su flash point de copa cerrada, use un factor de 20.

1.2 Si el líquido o sólido esta por arriba del flash point de copa abierta, use un factor de 25.

1.3 Si el material dominante esta en fase líquida a una temperatura arriba de su punto de ebullición a 760 mmHg. Use un factor de 25. Esto también se aplica en el caso de gases licuados inflamables presentes en la sección como un líquido.

1.4 Si el material es un sólido a temperatura normal, pero se presenta en la unidad en fase líquida, use un factor de 10.

1.5 Si el material (ya sea en su estado normal gas, líquido o sólido) se maneja arriba de su temperatura normal de auto ignición, use un factor de 35.

Cuando algún material cae bajo varios de estos criterios se usa el factor más grande, o donde los factores sean iguales se debe usar un factor de 1.1 veces el factor individual.

2. Se debe asignar un factor adicional, cuando aplique para el efecto de la temperatura sobre la resistencia del equipo de la planta, como sigue:

2.1 Si la temperatura es tal que el material (metales, plásticos, plomo, etc.) usado para construir los equipos de la planta se opera bajo condiciones de esfuerzo longitudinal o progresivo, aplique un factor de 25.

2.2 Si la temperatura de operación está en el rango donde la resistencia permisible del material de construcción se reduce en un 25 % o más por un aumento en la temperatura de 50 °C, aplique un factor de 10.

3. Anote la temperatura del proceso en grados kelvin como el valor de t.

E) Riesgos de Corrosión y Erosión.

1.Velocidad de corrosión menor que 0.1 mm/año, factor de CERO.

2.Velocidad de corrosión menor que 0.5 mm/año con algún riesgo de perforación o erosión local, factor de 10.

3.Velocidad de corrosión cercana a 1 mm/año o sin efectos de erosión, factor de 20.

4.Velocidad de corrosión mayor que 1mm/año sin efectos de erosión o hinchazón de plásticos, factor de 50.

5.Velocidad de corrosión mayor que 1mm/año acompañada de efectos de erosión, factor de 100.

por la selección de un diseño diferente de juntas o empaques y a menudo, al reducir su número en la unidad. Igualmente, se pueden hacer cambios en los materiales de construcción y reducir la influencia de los puntos mecánicos débiles (tales como fuelles de expansión).

Quando se trata de sistemas de almacenaje, contenedores de transporte, tuberías de transferencia o sistemas de alta velocidad de reacción a presión, el principio básico para mejorar los sistemas de contención es adoptar un estándar de diseño superior al común y una mejor técnica de fabricación/inspección que la usual. Como la mayoría de estos sistemas tendrán grandes inventarios, la disminución de riesgo potencial es considerable con estos cambios y tiene que ser compensada adecuadamente antes de que estén disponibles las clasificaciones reales de riesgo para aprobación de riesgo del arreglo general de la planta.

#### a) Recipientes a Presión.

Si un recipiente esta de acuerdo con el ASME PRESSURE VESSEL CODE SECTION 8, DIV. 1 O 2, se utiliza un factor de Disminución de 0.9. Si no se cuenta con la información sobre el código que se utilizó en su construcción o el recipiente esta deteriorado, se utiliza un Factor de 1.0.

#### b) Tanques de Almacenamiento Atmosféricos Verticales.

Los tanques de almacenamiento atmosféricos verticales se usan para almacenar líquidos y gases licuados a presiones que van de 6 mbar de vacío interno a una presión de vapor interna máxima de 130 mbar (más el peso del contenido) y se diseñan de acuerdo con los estándares de ingeniería aprobados. No es posible en un tanque atmosférico de almacenamiento vertical hacer una prueba de presión al grado que normalmente se hacen con un recipiente a presión. El esfuerzo adicional que se tiene en un tanque de almacenamiento vertical por efecto de la corrosión, es menor en los tanques de diámetro grande (igual que en el caso de los recipientes a presión ) en los tanques de almacenamiento pequeños.

Por estas razones, un tanque de almacenamiento vertical de gran diámetro no garantiza un factor de disminución aún cuando se estipule en los Códigos de Diseño el uso de una pequeña cantidad de pruebas no-destrutivas. Esto NO implica que el estándar de construcción sea inferior, sino que la ausencia de pruebas de rendimiento más la verificación mínima de soldadura es tal, que el potencial de riesgo no es igual a la indicada en el ASME. Se aplica un factor de disminución de

0.9 ( o excepcionalmente 0.8) para tanques de diámetro pequeño (hasta 10 m de diámetro), o cuando en casos especiales se adoptan estándares extensivos de prueba no-destructivas y otras pruebas que las normales.

### c) Tuberías de Transferencia.

Las tuberías que se usan para transportar cantidades de materiales peligrosos entre unidades de una planta o entre complejos de plantas en un sitio dado, o entre fábricas a través del campo o a terceras partes, frecuentemente se diseñan con estándares superiores a los normales para tuberías de proceso. El potencial total de fuga de estas tuberías de transferencia puede ser grande, debido a los inventarios considerables de material en la tubería y a los sistemas de recipientes de recepción/alimentación .

En el American National Standard for Gas Transmission and Distribution Piping Systems (Sistemas de Tubería para Transmisión y Distribución de Gas de EUA), se menciona en la cláusula 841.151 cuatro tipos de construcción de tubos de acero, donde las tensiones de diseño permitidas se reducen progresivamente dependiendo de la localización a fin de controlar el riesgo a un nivel razonable de exposición a comunidades.

El grado de reducción global de riesgo logrado por estándares de diseño superiores también se refiere a eliminar conexiones bridadas hasta donde sea posible, así como al uso de diseños óptimos donde las bridas sean necesarias y el uso de modelos de válvulas, bombas, etc., en los que las fugas de los empaques se reduzcan al mínimo por arreglos especiales de doble sello, diseños de rotor canned, sellos de fuelle, etc.

Para uso de procesos, la tubería debe sujetarse a una prueba hidrostática después de su fabricación y también a una prueba apropiada al ser instalada. No es aceptable la limitación del número de bridas normales ni de bridas de traslape. Las condiciones de diseño se proporcionan en la American National Standard for Chemical Plant and Petroleum Refinery Piping para servicio de fluidos no incluidos en las categorías D o M.

Esto se considera como el diseño standard "normal" respecto al cual se asignan los factores de disminución por mejoras en la tubería de transferencia de fluido (dentro de una planta).

Los factores de disminución para tuberías de transporte de fluidos diseñada de acuerdo con el ANSI B31.8: 1975 se asigna de la siguiente manera:

6. Alto riesgo de desarrollo de tensión y agrietamiento, factor de 150.
7. Cuando un tubo soldado en forma espiral se usa en lugar de un tubo soldado longitudinal o fundido, se usa un factor de 100 A MENOS que la calidad del tubo y su uso se controle de manera que su comportamiento no este por abajo del tubo logitudinal soldado.

Estos factores deben asignarse tanto con respecto a la corrosión INTERNA como a la EXTERNA. Cuando la planta se construye con revestimientos resistentes (plásticos, ladrillos, hule, metales recubiertos, etc.) los efectos del desquebrajamiento en los agujeros para espigas, uniones con cemento, soldaduras contaminadas, etc., se deben tomar en cuenta en TODOS los problemas de corrosión. Igualmente se deben de revisar los efectos de corrosión de subproductos normalmente producidos cuando la reacción deseada se inhibe o modifica.

#### F) Riesgos de Juntas y Empaques.

Estas partes pueden causar problemas, particularmente donde se tienen ciclos de temperaturas y de presión. Se selecciona un factor de acuerdo con el diseño y los materiales escogidos para estas partes.

1. Construcción soldada para la mayoría de las uniones, más uniones con bridas diseñadas para no causar problemas, cuellos de bombas y válvulas bien sellados (posiblemente con fuelles o doble sellos mecánicos), factor de cero.
  2. Uniones bridadas que llegaran a tener fugas regulares de menor cuantía, factor de 30.
  3. Sellos de las bombas que podrían tener fugas de menor cuantía, factor de 20.
  4. Problemas mayores de sello en el proceso, (fluído del proceso que penetra, lodos abrasivos, etc.) factor de 60.
- G) Riesgos de Vibración y de Fatiga por Carga Cíclica y Fallas de Cimentación y Soportería.

Algunos tipos de operaciones, tales como unidades de compresión, introducen vibración en equipos asociados y tuberías. Efectos similares en un periodo más largo de tiempo se pueden producir en un equipo donde las condiciones de temperatura y presión varían ciclicamente dentro de un rango razonable. Ambas situaciones introducen riesgos de fatiga en el equipo que intensifican el riesgo de sección. En estos casos aplique un factor hasta de 50, de acuerdo con el grado de riesgo (esto se puede reducir con un diseño apropiado del equipo involucrado).

Otros tipos de operación (operaciones de llenado de pipas, carros-tanque, estructuras elevadas, etc.) pueden introducir riesgos si los cimientos u otros soportes de estructuras fijas, tales como puentes de tuberías, se debilitan por corrosión, abrasión, mal diseño de la cimentación, refuerzos de luz inadecuados, etc. Donde estas son fuentes potenciales de riesgos de la unidad, se asigna un factor hasta de 30 de acuerdo con las consecuencias que ocasione la falla.

Cuando un recipiente se coloca sobre celdas de carga o estructura similar de tal manera que los movimientos laterales pueden causar inestabilidad al recipiente, use un factor de 50.

#### H) Procesos o Reacciones Difíciles de Controlar.

Cuando se llevan a cabo reacciones exotérmicas o en casos en los que se debe evitar una reacción lateral exotérmica, hay una gran posibilidad de que la reacción quede fuera de control. Ejemplo: nitraciones, algunas polimerizaciones y reacciones de Friedel-Crafts.

A la operación de un proceso a la temperatura normal dentro de 20 °C del límite de temperatura especificado por seguridad para dicho proceso (definido con respecto a la capacidad real de operación y materiales de construcción) se le asigna un factor de 100.

Se asignan factores en el rango entre 20 y 300 para otros aspectos de difícil control, dependiendo de la dimensión del factor, de la influencia de impurezas y cantidad de catalizador, de la sensibilidad general de la reacción a condiciones súbitas fuera de control sin cambios de avance detectables, etc.

Para determinar el valor del factor a aplicar, se debe considerar el efecto de inercia a cambios del material en una unidad. Con reacciones líquido-líquido y líquido-gas hay una cantidad amortiguadora que actúa como un agente buffer en los riesgos introducidos por un cambio en el flujo de un material. En estas situaciones, se considera un valor en el rango de 20 a 75. En el caso de sistemas de gas o fase de vapor, el tiempo de residencia es mucho más corto y los efectos de un cambio en velocidad de un material son más pronunciados, por lo que se seleccionan factores en el rango de 100 a 300, de acuerdo con el rango de dificultad de control esperado.

#### I) Operación en/o cerca del rango Inflamable.

No se aplica a las unidades de proceso que operan a baja presión. Los límites de inflamabilidad considerados bajo este apartado son aquellos reportados en el NFPA 325M.

En el caso de almacenamiento de líquidos inflamables dentro de recipientes cerrados que no tienen venteo atmosférico, se usa un factor de 25 si el espacio de vapor puede caer dentro del rango inflamable por venteo accidental.

Se asigna un factor de 150 a los tambores vacíos u otros recipientes que hayan contenido materiales inflamables y no hayan sido descontaminados o purgados totalmente.

Donde se almacenen líquidos inflamables de manera que el espacio de vapor esté (bajo condiciones normales o de equilibrio) fuera del rango inflamable, pero que puedan entrar en el rango inflamable durante el llenado o vaciado, o en otras situaciones infrecuentes pero normales, se usa un factor de 50. Por ejemplo: tanques de almacenamiento de gasolina y crudo (normalmente ricos en combustibles) que pueden producir una atmósfera inflamable si se vacían rápidamente.

Igualmente un líquido inflamable almacenado a una temperatura por abajo de su flash point de copa cerrada puede producir un espacio de vapor inflamable por la entrada de líquido caliente, formación de neblina y donde se tiene un llenado de golpe ( sin evitar salpicaduras) se usa un factor de 50.

Las reacciones de proceso y otras operaciones que se efectúen cerca del rango inflamable donde se debe tener confianza en la instrumentación para permanecer fuera de los límites de inflamabilidad, se aplica un factor de 100. Un ejemplo es la oxidación de tolueno a ácido benzóico con aire.

Se les asigna un factor de 150 a los procesos que siempre operen dentro del rango inflamable. Un ejemplo es la destilación y/o vaporización del óxido de etileno.

#### J) Riesgo de Explosión Mayor que el Promedio.

Para los procesos que usen líquidos inflamables o gases licuados inflamables a temperaturas y presiones tales que una fuga resulte en rápida vaporización y formación probable de concentración inflamable en una gran parte del edificio o atmósfera circundante, se aplica un factor de 40.

A los procesos con riesgo de explosión de vapor se les asigna un factor de 60; por ejemplo: procesos donde el agua de enfriamiento se usa en conjunto con circuitos de sal fundida.

A los procesos susceptibles de acumular contaminantes que puedan causar una explosión, se les asigna un factor de 100; por ejemplo: plantas de separación de aire, almacenamiento de óxido de etileno, etc.

Para cualquier proceso donde por la experiencia que se tiene se sospeche que la escalación en tamaño pueda afectar la reactividad y aumentar la naturaleza peligrosa de la operación; aplica un factor de por lo menos 60; ejemplos: el uso a gran escala de químicos sensibles tales como el etileno, acetileno, óxido de etileno, presurizados o el cambio de un proceso de reactores de serpentín a reactores kettle, etc.

Donde los subproductos, productos corrosivos o residuos puedan acumularse en la unidad y producir la descomposición de los materiales que están siendo procesados, se aplica por lo menos un factor de 50.

Donde se almacenen gases licuados inflamables bajo refrigeración y en los casos de almacenamiento criogénico de líquidos inflamables u oxidantes, aplique un factor de 80.

#### K) Riesgo de Explosión por Polvo o Neblina.

Se aplica un factor para este riesgo cuando bajo condiciones normales o ligeramente anormales se pueda desarrollar un potencial de explosión por polvo o neblina.

Si se sabe que un proceso bajo condiciones y variaciones definidas no origina un riesgo por polvos, no se necesita ningún factor; por ejemplo: el manejo y transporte controlado de pellets de polietileno, donde no exista peligro de polvo.

Para procesos donde los materiales se manejen de manera que los riesgos de explosión por polvo o neblina dentro o fuera del equipo puedan producirse únicamente por ruptura o falla del equipo use un factor de 30. Ejemplo: aceite hidráulico de alta presión, óxido de difenilo, sistemas de azufre o naftaleno fundido.

Si en el proceso o la operación se manejan líquidos a una temperatura que sea susceptible de ignición o explosión de manera que pueda haber formación de neblina adentro del equipo, aplique un factor de 50. Por ejemplo: sistemas Dowtherm de transferencia de calor y el bombeo de aceites hidráulicos calientes, aceites minerales, aceites fluidizantes, etc.

En los procesos en los que el riesgo de formación de polvo o neblina casi siempre está presente, se les asigna un factor de 50 a 70. El manejo de polvos finos que se clasifican como explosivos es ejemplo de lo anterior y el valor del factor debe relacionarse con el grado de riesgo

presentado por el polvo. La neblina se considera de igual manera.

L) Procesos que usan Oxidantes Gaseosos muy Fuertes.

La liberación de energía potencial de procesos que usan oxígeno, mezclas de aire-oxígeno, óxidos de nitrógeno y cloro, es un riesgo mayor que en los procesos de oxidación con aire a la misma temperatura y presión. Se debe hacer una consideración basada en la concentración máxima del soporte en la corriente del proceso de la planta bajo la base del combustible.

1) Donde el oxígeno se use como oxidante, use un factor de 300  
2) En el caso de aire enriquecido por oxígeno, aplique un factor calculado de acuerdo con el x% de oxígeno disponible en el aire enriquecido.

$$\text{factor} = (x - 21) \frac{300}{79}$$

3) Donde se use cloro sin dilución, aplica un factor de 125.  
4) Si el cloro se diluye con un inerte hasta una concentración de y%  $\text{Cl}_2$ , en una base libre de combustible, use un factor dado por:

$$\text{factor} = (y - 39) \frac{125}{61}$$

5) Donde  $\text{N}_2\text{O}$  o  $\text{NO}_2$  se usan sin ser diluidos, el aumento en la liberación de energía potencial es similar al del oxígeno. Por lo tanto se usa un factor de 300.

6) La dilución de  $\text{N}_2\text{O}$  o  $\text{NO}_2$  se trata igual que la del oxígeno diluido (inciso 2).

7) Si el óxido nítrico sin dilución es el oxidante se usa un factor de 230.

8) En lo que se refiere al óxido nítrico diluido, se calcula el factor basado en la composición z% del óxido como sigue:

$$\text{factor} = (z - 26) \frac{230}{74}$$

9) En el caso de oxidantes mezclados, recurra a tablas especializadas.

No se deben dar factores negativos para las condiciones en las que el soporte se diluye abajo del equivalente de aire, ya que el aire puede entrar al equipo de la planta durante una operación normal.

M) Sensibilidad a la Ignición.



Al igual que los efectos anteriores sobre la liberación de energía potencial, se debe introducir un factor separado para ajustar una mayor sensibilidad a la ignición de algunas mezclas comparada con el mismo material en el aire.

Este factor se usa para tomar en cuenta la posible formación de subproductos pirofóricos, peróxidos inestables, etc. que pueden actuar como fuentes de ignición.

El factor se selecciona como sigue:

- 1) Si el  $O_2$ ,  $N_2O$  o  $NO$  es el oxidante, use 50.
- 2) Donde  $Cl_2$  concentrado a  $NO_2$  es el oxidante, use 75.
- 3) Donde el oxidante se diluye use un factor linealmente proporcional, de manera que de un factor cero a 21 %  $O_2$ , 21%  $N_2O$ , 26%  $NO$ , 21%  $NO_2$  y 39 % de  $Cl_2$ .
- 4) Donde es probable que el proceso produzca materiales pirofóricos que puedan provocar ignición en espacios de vapor o donde es probable que se formen pequeñas cantidades de materiales inestables (como peróxidos), use un factor de 25.

#### N) Riesgos Electroestáticos.

Los riesgos electrostáticos se pueden crear cuando una unidad contiene:

- a) Polvos y materiales granulados en movimiento.
- b) Líquidos puros de gran resistividad.
- c) Líquidos que contienen dos fases.
- d) Descargas de gas que contienen dos fases.
- e) Cuando el equipo en estudio está hecho de materiales aislantes o tiene recubrimientos aislantes. Ejemplos: plástico y hule.

El comportamiento de POLVOS y MATERIALES GRANULADOS de alta resistividad (ejemplo: materiales en polvo o forma granular a partir de los que se elaboran los aislantes eléctricos) puede generar cargas electrostáticas cuando fluyen dentro de equipos de la planta, ductos, silos, etc. El riesgo se aumenta cuando se trata de volúmenes considerables de material, ya que la carga en las partículas sólo puede pasar a tierra lentamente.

Si el equipo esta recubierto con materiales aislantes, el riesgo es mayor.

Para este riesgo se aplica un factor de entre 25 y 75 más un factor adicional de 50 si el equipo es de material aislante o tiene recubrimientos aislantes (incluyendo recubrimientos de polietileno, no fijos para tambores).

Los LIQUIDOS ORGANICOS de alta resistividad también pueden generar cargas electrostáticas cuando son bombeados a

aislante o tiene recubrimientos aislantes (incluyendo recubrimientos de polietileno, no fijos para tambores).

Los LIQUIDOS ORGANICOS de alta resistividad también pueden generar cargas electrostáticas cuando son bombeados a altas velocidades o caen libremente en superficies líquidas dentro de los recipientes o pasan a través de filtros y unidades similares. Cuando se trata de líquidos substancialmente puros (no contaminados por una segunda fase de material como agua u otro material en partículas) el potencial de generación de cargas electrostáticas peligrosas durante las operaciones la transferencia puede relacionarse con la resistividad eléctrica del líquido puro. Si la resistividad eléctrica del líquido puro es menor de 10 E11 ohms-cm, se considera que el manejo del LIQUIDO PURO presenta riesgos mínimos de generación de carga electrostática. Si el líquido se va a manejar en estado contaminado o si la pureza en la operación puede ser tal que se espere un vapor de resistividad más alto, se recomienda que los riesgos se consideren mínimos si la resistencia es menor de 10 E10 ohms-cm. Los combustibles que generalmente se encuentran en esta categoría de riesgo son: gasolina, nafta, benceno, tolueno, parafinas, xileno. Alcoholes, cetonas, aldehidos y ésteres generalmente tienen baja resistividad.

Los sistemas acuosos tienen resistividad que son más bajas (10<sup>7</sup> ohms-cm o menos) y en general no presentan ningún potencial de generación de carga, ya que cualquier carga formada, rápidamente se descarga a tierra. Al otro extremo de la escala un hidrocarburo puro es esencialmente no conductor y tiene una resistividad muy alta. Como resultado, los valores de resistividad del líquido están en función del nivel de pureza y de la naturaleza de las impurezas. La lista de los valores de resistividad no siempre se encuentran en los documentos de referencia sobre propiedades de líquidos. PARA EL LIQUIDO EN CUESTION, ESTE DATO DEBE SOLICITARSE EN ESTADO SIMILAR AL PREVISTO EN LA UNIDAD. Se aplica un factor entre 10 y 100 cuando se prevén riesgos de carga electrostática en líquidos. Se debe buscar la guía de un experto en esta materia cuando estén presentes dos fases (partículas o un segundo líquido inmiscible) y seleccionar un factor del 50 al 200. Algunos GASES, cuando se descargan a gran velocidad, también pueden generar cargas electrostáticas; por ejemplo dióxido de carbono gaseoso, vapor húmedo, gases conteniendo partículas sólidas. Esto también es un asunto para que un experto decida un factor en el rango de 10 a 50.

##### 5. RIESGOS DE CANTIDAD (Q)

En este punto se asigna un factor para los riesgos relacionados con el uso de grandes cantidades de

combustibles, inflamables, explosivos o materiales que puedan descomponerse.

Debe calcularse la cantidad total de material en la "sección" estudiada (incluyendo tubería, tanques de alimentación, columnas, así como recipientes de reacción), por medio de volumen y densidad o directamente como peso de material. Haciendo referencia a: gases, sólidos, líquidos y mezclas, con base al peso, se logra una comparación lógica de riesgo.

La cantidad de material se registra como cantidad total en peso.

Se asignan el factor de cantidad por medio de 3 gráficas (figuras 2, 3 y 4), relacionándolo con el peso de material en toneladas. Se debe usar el valor mínimo de 1 para una cantidad menor o igual a los 100 Kg. El factor de cantidad ha sido extrapolado hasta 100,000 Ton.

#### 6. RIESGOS POR EL ARREGLO DEL EQUIPO (L).

Un aspecto importante es la altura a la que se encuentra en cantidades considerables el material inflamable. Para considerar aspectos relacionados con el arreglo de equipo en la sección, es necesario especificar las principales dimensiones de ésta. La ALTURA de una sección se define como la altura arriba del piso terminado de la UNIDAD DE PROCESO o de la TUBERÍA DE TRANSFERENCIA DE MATERIALES más alta. La tubería de venteo y las estructuras para levantar vigas no se usan para determinar la altura, pero la posición de las tuberías principales de salida de la columna de reacción o destilación, los condensadores de producto del domo, recipientes de alimentación elevados, deben tomarse en cuenta. La altura en metros se identifica como H para el cálculo de índices.

El área normal de trabajo de una unidad de proceso se define como el área plana de la estructura asociada con la unidad, agrandada cuanto sea necesario, para incluir bombas o tubería y equipos que no estén dentro del área de la estructura. Se debe considerar como el área rodeada por una cerca de longitud mínima colocada alrededor de la estructura de la unidad y equipos auxiliares. El área normal de trabajo en metros cuadrados se identifica como N.

El área normal de trabajo en una sección de un rack de tubería se define como el área cubierta por el ancho máximo del rack multiplicado por la distancia entre centros de polos de soportes o refuerzos.

En el caso de un tanque (o tanques) de almacenamiento con dique alrededor, tomado como una sección, el área de

trabajo se define como el área plana del tanque, más el área local ocupada por cualquier bomba y tubería asociada cuando estas se incluyen en la sección de la planta que está siendo estudiada. El total del área rodeada NO se debe usar como área normal de trabajo.

En el caso de tanques de almacenamiento enterrados, el área normal de trabajo se define por la posición de los contornos del tanque cuando estos no estén más de 10 metros por abajo del nivel del piso. Para almacenamientos subterráneos localizados a profundidades más grandes, el área normal de trabajo se define por la posición en plano de las entradas hombre y conexiones de tubería al nivel del piso o a menos de 10 metros de la superficie.

#### A) Diseño de la Estructura.

Aunque el arreglo del equipo en una cantidad incluye muchos factores que no se pueden prever en un análisis preliminar de riesgo global, hay algunos aspectos clave que pueden identificarse fácilmente y ser tratados como sigue. Se debe aplicar un factor para estructura de acuerdo con las siguientes indicaciones:

- 1) Para estructuras abiertas de proceso sin pisos intermedios sólidos o diques locales y con más de 5 toneladas de material inflamable presentes en un recipiente, cuya base tenga elevación de 7 m sobre el nivel del piso, factor de 50.
- 2) Para estructuras abiertas de proceso, de altura de más de 7 m, conteniendo entre 1 y 5 toneladas de material inflamable arriba de los 7 m, sin pisos intermedios sólidos o diques locales, factor de 30.
- 3) Para estructuras abiertas de proceso, de altura de más de 7 m, donde hayan sido adaptados diques individuales abajo de todos los recipientes elevados que contengan 1 tonelada o más de material inflamable, factor de 15.
- 4) Para estructuras abiertas de proceso sin pisos intermedios sólidos o diques y con una altura menor de 7 m, conteniendo más de 5 toneladas de material inflamable presente en o arriba de una elevación de 3 m sobre el nivel del piso, factor de 25.
- 5) Para estructuras abiertas de proceso, con una altura menor de 7 m, conteniendo menos de 5 toneladas de materiales inflamables con o sin diques locales o con o sin pisos intermedios sólidos, factor de 10.
- 6) Para áreas de proceso cerradas que tengan ventilación menor de 6 cambios por hora y contengan más de 5 toneladas de material inflamable por piso (pisos sólidos) factor de 100.

7) Para áreas de proceso cerradas que tengan ventilación de más de 25 cambios por hora, conteniendo 5 toneladas o más de material inflamable, factor de 20.

8) Para casos de compresor donde se manejen gases inflamables, aplica un factor de 200 si las paredes son continuas hasta el nivel del piso, pero en caso de un cobertizo con ventiladores de caballetes, estilo Dutch, aplica un factor de 40.

9) Si la unidad es un edificio o estructura conteniendo materiales inflamables que tengan una densidad de gas o vapor relativa a la del aire de 3 o más y el patrón de ventilación sea solamente hacia arriba, factor de 100. Si la unidad esta sujeta a ventilación natural solamente, use un factor de 50. Si se cree que el material inflamable va a formar una niebla en el edificio o estructura, trátase como estructura y como si tuviera una densidad de 3 o más. Si la unidad cuenta con extracción de aire por la parte inferior, no se requiere factor de riesgo para los arreglos que incluyen escapes de materiales densos.

#### B) Efecto Dominó.

Cuando unidades de proceso o edificios se localizan juntos, un incidente en una unidad puede involucrar unidades adyacentes por el efecto de dominó. Aquí se considera el debilitamiento de estructuras por fuego, explosión, colapso de los cimientos, etc.; lo principal es asegurarse de que haya suficiente espacio de manera que las unidades que se estén cayendo no lo hagan en las unidades vecinas. Además se debe considerar la propagación a unidades adyacentes por medio de corrientes de líquido en combustión o gas o brasas u otros medios.

Se pueden obtener recomendaciones para evitar efectos Dominó en el arreglo de una planta y asegurar escapes o reducir las pérdidas causadas por fuego y explosión. Debido a que no hay un acuerdo uniforme en estándares sobre espaciamiento y porque las consecuencias de un incidente son diferentes para varias actividades industriales, no hay ninguna base para un arreglo "normal" de un equipo en las plantas. Sin embargo esta claro que las unidades de proceso muy altas tienen más probabilidad de crear un efecto Dominó, especialmente si son unidades con base pequeña.

1) Si la unidad tiene más de 20 m de altura, se aplica un factor de acuerdo con la siguiente escala, EXCEPTO EN LOS CASOS DE UNIDADES DE ALMACENAMIENTO:

altura	factor
De 20 a 30 metros	20
De 30 a 40 metros	40

2) Dependiendo de la proporción de dimensiones entre la altura y la base de la unidad, se requiere un factor adicional cuando la unidad tenga más de 15 metros de alto, como sigue:

Cuando la altura sea entre 3 y 5 veces la dimensión (largo o ancho) del área normal de trabajo más pequeña, factor de 25.

Si la altura es entre 5 y 8 veces la dimensión del área normal de trabajo más pequeña, factor de 50.

Si la altura es entre 8 y 12 veces la dimensión del área normal de trabajo más pequeña, factor de 100.

Si la altura es más de 12 veces la dimensión del área normal de trabajo más pequeña, use un factor de 10 VECES la relación entre la altura y el área normal de trabajo más pequeña.

#### C) Areas Subterráneas.

Si la estructura de la unidad o el edificio de la planta incluye áreas subterráneas, fosas de recolección o separación, fosas de bombeo u otras abajo del nivel del piso, colocadas dentro del área normal de trabajo de la unidad, use un factor de 150. Este factor no se debe aplicar a áreas rodeadas de diques alrededor de tanques de almacenamiento, esferas, etc., que puedan incluir una excavación abajo del nivel de piso terminado.

Tampoco se debe aplicar a unidades de tratamiento o separación de efluentes o fosas, siempre que estén separadas de las áreas de drenaje de la unidad de proceso.

A los tanques encerrados se les da un factor de 0 a 50.

#### D) Drenaje Superficial.

Si la unidad de proceso tiene un área de contención de derrame donde el gradiente y/o drenaje a otra fosa es tal que el derrame de la unidad pueda producir un charco de líquido inflamable de más de 2 pulgadas (50 mm) en el centro del área bajo la estructura o equipo de la unidad de proceso, use un factor de 100.

#### E) Otros Aspectos.

Si cualquier unidad de proceso que ocupe un área neta que exceda de 400 m<sup>2</sup> no se rodea por 3 lados por caminos de acceso de 7 m de ancho como mínimo, use un factor de 75.

Cuando parte de la unidad de proceso corresponde a almacenamiento de materias primas, productos intermedios o finales con una capacidad para más de 12 horas de demanda o producción, use un factor dependiente de la capacidad de almacenamiento involucrada. Determine la más alta capacidad en el proceso para cada material como valor h (hora) y calcule el factor con  $2(h - 12)$ .

Si la unidad de proceso que esta siendo estudiada se localiza a menos de 10 m del cuarto de control principal, cafetería, oficinas o límites de talleres, aplique un factor de 50; sin embargo, si la unidad esta construida sobre o abajo de la casa de control, oficinas, etc., use un factor de 250.

#### 7) RIESGOS DE TOXICIDAD (T).

Los riesgos para la salud pueden variar tanto en el grado como en la forma en que se presentan. Algunos son identificables en condiciones anormales de proceso, como mantenimientos o procesos fuera de control o en incendios, mientras que otros están presentes continuamente como resultado de pequeñas fugas en juntas, empaques, venteos de gases de proceso, etc. Otros riesgos para la salud pueden producirse por asfixiantes como nitrógeno, metano o dióxido de carbono.

La toxicidad en gases, vapores y polvos se clasifica con base en los TLV (Valores límite umbral = Time Weighted Average o threshold limit values) que se basan en 8 horas de trabajo por día y 40 horas de trabajo por semana. La mayoría de los valores listados de TLV pueden ser excedidos para exposición corta ( 15 minutos) considerando que pueden "balancearse" por periodos de concentraciones inferiores a los valores de TLV de manera que el valor promedio en tiempo no exceda del valor de TLV.

Así mismo, en la presencia de fuentes radioactivas y los factores físicos como el calor, se deben considerar como riesgos relacionaos con "toxicidad".

#### A) Valores TLV.

1) Identifique el material más peligroso en la sección como el que se presenta en cantidad apreciable cuando el valor de TLV más bajo o el mayor riesgo tóxico ( por ejemplo, en el caso de absorción por la piel). Este material PUEDE ser diferente al usado como material clave.

2) Para el valor de TLV se asigna un factor como sigue:

TLV de 0.001 ppm o menos	- factor de 300
TLV > 0.001 ppm y hasta 0.01 ppm	- factor de 200
TLV > 0.01 ppm y hasta 0.1 ppm	- factor de 150
TLV > 0.1 ppm y hasta 1.0 ppm	- factor de 100
TLV > 1.0 ppm y hasta 10 ppm	- factor de 75
TLV > 10 ppm y hasta 100 ppm	- factor de 50
TLV > 100 ppm y hasta 1000 ppm	- factor de 30
TLV > 1000 ppm y hasta 1 %	- factor de 10
TLV > 1 % (ejemp. asfixiantes simples)	- factor de cero

B) Forma del Material.

Si el material se presenta en el proceso bajo condiciones NORMALES de operación como un líquido o gas licuado, asigne un factor de 50.

Si el material se almacena como condiciones criogénicas, asigne un factor de 75.

Si el material se presenta en el proceso como partículas sólidas o polvo, asigne un factor de 200.

Si el material se almacena bajo condiciones gaseosas con una densidad relativa de 1.3 con relación al aire, o más asigne un factor de 25.

Si el material no tiene olor y no se puede ver en su nivel tóxico, aplique un factor de 20; de otra manera, cero.

C) Riesgo de Exposición Corta.

El siguiente factor que se debe considerar es el del nivel permisible por un periodo corto (15 min.) relativo al TLV medio en tiempo. Se debe determinar el factor como sigue:

$$\text{factor de excursión} = \frac{\text{STEL}}{\text{TLV}}$$

Cuando el factor de excursión es:

a) de 1.25	- factor de 150
b) > de 1.25 y hasta 2	- factor de 100
c) > de 2 y hasta 5	- factor de 50
d) > de 5 y hasta 15	- factor de 20
e) > de 15 y hasta 100	- factor de cero
f) > de 100	- factor de - 100



El factor de excursión será alto cuando el riesgo de toxicidad sea un riesgo a largo tiempo para la salud y NO produzca en poco tiempo una enfermedad o la muerte. En caso de desconocer el caso del STEL ( por no estar reportado ) considere un factor de excursión de 1.5, con un factor de 100.

D) Absorción por la piel.

Se debe aplicar un factor cuando el material tóxico se pueda absorber por la piel. En el rango de cero a 300 y al menos IGUAL EN EL VALOR al factor para el nivel del TLV.

E) Factores Físicos.

Los factores físicos como el calor más alto promedio, radiaciones ionizantes o ultravioleta, humedad, gran altura y otros, provocan un mayor esfuerzo del cuerpo y aumentan los efectos de una exposición tóxica. Donde se trabaja continuamente a temperaturas superiores a 32 °C y se tiene mucha horas de trabajo (más del 25 % del tiempo extra) aplique un factor de 20. Se deben evaluar otros factores físicos para casos individuales y se debe aplicar un factor de cero a 50 cuando sea apropiado. Si hay partículas molestas; use un factor de 10.

8) CALCULOS DEL INDICE GLOBAL DOW-ICI (D).

$$D=B(1+M/100)(1+P/100)(1+(S+Q+L)/100+T/400)$$

Donde: B = factor material

M = factor por riesgos especiales del material

P = factor por riesgos generales del proceso

S = factor por riesgos especiales del proceso.

Q = factor por riesgo por cantidad

L = factor por riesgos por lay-out

T = factor por riesgos de toxicidad.

Rango del indice global Dow/ICI (D)

Grado de riesgo

0 - 20  
20 - 40

suave  
ligero

40 - 60	moderado
60 - 75	moderadamente-alto
75 - 90	alto
90 - 115	extremo
115 - 150	muy extremo
150 - 200	potencialmente-catastrófico
más de 200	muy catastrófico

### 9) CALCULO DE CARGA DE FUEGO (F).

$$F = \frac{B \cdot K}{N} * 20500 \text{ BTU/lb}$$

Donde: B = factor material  
 K = cantidad de material  
 N = área normal de trabajo.

Se calcula la carga de fuego de la unidad en los casos que de una indicación de la duración del fuego en caso de un incidente. El cálculo se basa en los BTU/ft<sup>2</sup> de área plana, lo que permite efectuar una comparación con valores para otros tipos de edificio.

Cantidad de Fuego F en BTU/ft <sup>2</sup> del Area Normal de Trabajo (valores Efectivos)	Categoría	Rango de Duración Esperada del Fuego-Hora	Comentarios
0-50000	Ligero	0.25 - 0.5	
50000-100000	Bajo	0.5 - 1	Casas
100000-200000	Moderado	1 - 2	Fábricas
200000-400000	Alto	2 - 4	Fábricas
400000-1000000	Muy alto	4 - 10	Máximo para edificios ocupados
1000000-2000000	Intenso	10 - 20	Bodegas de Hule
2000000-5500000	Extremo	20 - 50	
5000000-10000000	Muy extremo	50 - 100	

## 10) CALCULO DE POTENCIAL DE EXPLOSION

$$E = 1 + \frac{m + p + s}{100}$$

$$A = B \cdot \left(1 + \frac{m}{100}\right) \cdot Q \cdot H \cdot E \cdot \frac{t}{300} \cdot \left(\frac{1+p}{1000}\right)$$

donde: m = factor por mezclado y dispersión.  
 H = altura de la unidad  
 t = temperatura del proceso  
 p = factor por alta presión.

Se calcula un índice E de explosión, como una medida del riesgo de explosión interna en la planta. Las categorías asignadas a los valores el índice E son :

Indice de Explosión Interna de la sección E	Categoría
0 - 1	ligero
1 - 2.5	bajo
2.5 - 4	moderado
4 - 6	alto
arriba de 6	muy alto

Esto no representa el único potencial de explosión de la sección. De un estudio de un gran número de escapes de sustancias inflamables que han dado lugar ya sea a explosiones aéreas o a nubes que han causado únicamente fuego por ignición, ha sido posible derivar el índice A de explosión aérea.

Las categorías asignadas a varios valores A son:

Explosión Aérea Indice A	Categoría
0 - 1	ligero
10 - 30	bajo
30 - 100	moderado
100 - 500	alto
arriba de 500	muy alto

11) CALCULO DE RIEGOS DE TOXICIDAD.

$$U = \frac{T.}{100} \cdot \left( 1 + \frac{M+P+S.}{100} \right)$$

Un índice unitario de toxicidad U se calcula de manera que represente la influencia de la toxicidad y consideraciones afines sobre el control y supervisión de la sección de la planta. Las categorías asignadas a los valores del índice unitario de toxicidad U son:

Índice Unitario de Toxicidad U	Categoría
0 - 1	Ligero
1 - 3	Bajo
3 - 6	Moderado
6 - 10	Alto
Arriba de 10	Muy alto

Usando una combinación del índice unitario de toxicidad U y el factor de Cantidad Q se obtiene el índice del Máximo Índice Tóxico C.

SE DEBE ACLARAR QUE SI Q HA SIDO DERIVADO APARTIR DE UNA CANTIDAD DE MATERIAL QUE NO ES EL MATERIAL TOXICO, EN ESTE CASO U SE DEBE DERIVAR DE LA CANTIDAD DE MATERIAL TOXICO PRESENTE EN LA SECCION.

$$C = Q \cdot U$$

Las categorías asignadas a valores del Índice C del Máximo índice Tóxico son:

Índice del Máximo Índice Toxicidad C	Categoría
0 - 20	ligero
20 - 50	bajo
50 - 200	moderado
200 - 500	alto
Arriba de 500	muy alto

## 12) INDICE GLOBAL DE RIESGO (R)

$$R = D * ( 1 + \frac{(FUEA)^{1/2}}{10^J} )$$

Si uno de los factores tiene un valor de cero, se debe considerar un valor mínimo de 1 en esta fórmula. Las categorías para R se aplican como sigue:

Factor Global de Riesgo R	Categoría del Riesgo Global
0 - 20	suave
20 - 100	bajo
100 - 500	moderado
500 - 1100	alto (grupo 1)
1100 - 2500	alto (grupo 2)
2500 - 12500	muy alto
12500 - 65000	extremo
65000	muy extremo

Como diferentes niveles aceptables de riesgo global pueden ser apropiados según las circunstancias, la lista de valores del factor global de riesgo a la mitad del rango se divide en dos conjuntos más pequeños: alto ( grupo 1) y alto (grupo 2 ), ya que uno puede considerarse aceptable y el otro no.

## 13) DISMINUCION EN EL VALOR DE LOS INDICES POR LA ADOPCION DE MEDIDAS ADECUADAS DE SEGURIDAD DURANTE EL DISEÑO.

El valor y la categoría de los índices se pueden aceptar considerables; en caso contrario, se requerirá trabajo posterior para lograr tal objetivo. El primer paso es revisar los factores individuales y asegurarse si se puede hacer una reducción por cualquiera de las siguientes razones:

- Si se ha sobreestimado un riesgo en la evaluación original.
- Alteraciones hechas a tamaños, condiciones de operación, etc, relativas a las unidades que forman parte de la sección.
- Sustitución por diferentes equipos de proceso de aquellos seleccionados originalmente.

d) Adopción de diseños de equipo que involucren menos fallas de riesgos de operación de la unidad o fuga de materiales clave.

En el caso de propuesta para una planta con proceso nuevo, pueden existir pocas posibilidades de efectuar cambios a menos que se efectue una investigación adecuada de las alternativas. Si un cambio particular puede reducir en forma considerable el riesgo, se justifica el trabajo de investigación necesario.

Con plantas en operación, los registros y experiencias de accidentes deben tomarse como guía para mejorar diseños y técnicas de operación. Sin embargo, debe tenerse cuidado al usar las experiencias de operación para disminuir los factores de riesgo en áreas donde se hayan presentado accidentes. Para poderlo hacer se requiere que: a) la planta se haya operado de la misma manera por un período de tiempo determinado; y b) que se hayan presentado un número adecuado estadístico de paros, arranques y otras situaciones anormales.

Si no se cumple con estos requisitos, es fácil concluir que no existe riesgo, y por un incidente posterior, confirmar que el riesgo existía, pero no se había presentado debido a circunstancias fortuitas.

Siempre que los factores de riesgo individual se reduzcan, el nuevo valor debe aparecer en una columna de "Valor Reducido" en las formas y se debe añadir una nota de la razón del cambio. Cuando se han realizado los cambios individuales, los índices se deben recalcular. Estos se identifican por el sufijo i para distinguirlos de los valores calculados anteriormente.

#### **14) CLASIFICACION DE FACTORES DE SEGURIDAD Y MEDIDAS PREVENTIVAS**

Los diversos factores de seguridad y medidas preventivas que se pueden incorporar a una unidad, se dividen en dos clases, que se definen como:

- I) Reducción de Riesgo por Disminución de la Frecuencia.
- II) Reducción de Riesgos por Disminución de la Gravedad Potencial.

La primera clase comprende los factores de seguridad y medidas preventivas tendientes a evitar los accidentes y /o que disminuyen la frecuencia de los mismos. La naturaleza de estos factores se relaciona con el diseño mecánico, la instrumentación de control y seguridad, procedimientos de operación y mantenimientos, entrenamiento de personal enfocado a la seguridad, la buena operación de la planta. Se puede decir de algunos de estos factores que actúan en forma

directa reduciendo el potencial de riesgo; pero otros, como el entrenamiento de personal, juegan un papel importante al asegurar que la eficacia de los factores de diseño no se vea afectada por errores humanos.

La segunda clase de factores de seguridad y medidas preventivas esta constituida por las acciones que se deben de tomar cuando suceda un accidente para minimizar sus consecuencias, además de aquellas como protección contra incendios, sistemas fijos para combatir fuegos, etc., que también sirven para reducir el daño producido por fuegos y explosiones. Estos son muy importantes (a pesar de que la frecuencia de los accidentes se reduzca por otros medios), porque un accidente PUEDE presentarse en cualquier momento SIN IMPORTAR LA FRECUENCIA.

Hay situaciones particulares en las cuales los factores de cambios especificos pueden lograr mejoras EN AMBAS clases al mismo tiempo. Para nuestro propósito se clasificarán de acuerdo al efecto más importante que se intente producir.

No se deben incluir bajo ambas clasificaciones porque esto produciría una disminución excesiva de riesgos.

El efecto combinado de estas dos clases de medidas es disminuir la categoría de riesgos de una unidad, lo que es importante para determinar si el nivel de riesgo es aceptable y para reducir asuntos tales como un arreglo apropiado para la planta.

Los factores seleccionados en cada apartado se multiplican entre sí para obtener los valores de K1 a K6. Cuando algún inciso no aplique, ya sea porque no se cuente con lo que especifique o no sea necesario se le asignará un valor de 1 (uno).

#### **MEDIDAS DE DISMINUCION DE LA FRECUENCIA.**

##### **K1 Sistemas de Contención.**

Referido a la reducción de riesgo como consecuencia de cualquier mejora en el diseño estándar de los recipientes a presión y sistemas de tubería y protección de estos contra daño accidental o efectos de "knock-out", incluyendo los procedimientos de mantenimiento y modificaciones. Los sistemas de detección de pruebas que puedan advertir de un escape de material, si el equipo está protegido adecuadamente contra sobre presión interna y también si el material venteadado o de desecho se envía a lugares seguros.

Las fallas del sistema de contención se indican por fugas del contenido de la atmósfera. Muchas mejoras del sistema de contención (especialmente en unidades que llevan a cabo una operación o reacción específica), se pueden hacer

por la selección de un diseño diferente de juntas o empaques y a menudo, al reducir su número en la unidad. Igualmente, se pueden hacer cambios en los materiales de construcción y reducir la influencia de los puntos mecánicos débiles (tales como fuelles de expansión).

Cuando se trata de sistemas de almacenaje, contenedores de transporte, tuberías de transferencia o sistemas de alta velocidad de reacción a presión, el principio básico para mejorar los sistemas de contención es adoptar un estándar de diseño superior al común y una mejor técnica de fabricación/inspección que la usual. Como la mayoría de estos sistemas tendrán grandes inventarios, la disminución de riesgo potencial es considerable con estos cambios y tiene que ser compensada adecuadamente antes de que estén disponibles las clasificaciones reales de riesgo para aprobación de riesgo del arreglo general de la planta.

#### a) Recipientes a Presión.

Si un recipiente esta de acuerdo con el ASME PRESSURE VESSEL CODE SECTION 8, DIV. 1 O 2, se utiliza un factor de Disminución de 0.9. Si no se cuenta con la información sobre el código que se utilizó en su construcción o el recipiente esta deteriorado, se utiliza un Factor de 1.0.

#### b) Tanques de Almacenamiento Atmosféricos Verticales.

Los tanques de almacenamiento atmosféricos verticales se usan para almacenar líquidos y gases licuados a presiones que van de 6 mbar de vacío interno a una presión de vapor interna máxima de 130 mbar (más el peso del contenido) y se diseñan de acuerdo con los estándares de ingeniería aprobados. No es posible en un tanque atmosférico de almacenamiento vertical hacer una prueba de presión al grado que normalmente se hacen con un recipiente a presión. El esfuerzo adicional que se tiene en un tanque de almacenamiento vertical por efecto de la corrosión, es menor en los tanques de diámetro grande (igual que en el caso de los recipientes a presión ) en los tanques de almacenamiento pequeños.

Por estas razones, un tanque de almacenamiento vertical de gran diámetro no garantiza un fctor de disminución aún cuando se estipule en los Códigos de Diseño el uso de una pequeña cantidad de pruebas no-destrutivs. Esto NO implica que el estándar de construcción sea inferior, sino que la ausencia de pruebas de rendimiento más la verificación mínima de soldadura es tal, que el potencial de riesgo no es igual a la indicada en el ASME. Se aplica un factor de disminución de



0.9 ( o excepcionalmente 0.8) para tanques de diámetro pequeño (hasta 10 m de diámetro), o cuando en casos especiales se adoptan estándares extensivos de prueba no destructivas y otras pruebas que las normales.

### c) Tuberías de Transferencia.

Las tuberías que se usan para transportar cantidades de materiales peligrosos entre unidades de una planta o entre complejos de plantas en un sitio dado, o entre fábricas a través del campo o a terceras partes, frecuentemente se diseñan con estándares superiores a los normales para tuberías de proceso. El potencial total de fuga de estas tuberías de transferencia puede ser grande, debido a los inventarios considerables de material en la tubería y a los sistemas de recipientes de recepción/alimentación .

En el American National Standard for Gas Transmission and Distribution Piping Systems (Sistemas de Tubería para Transmisión y Distribución de Gas de EUA), se menciona en la cláusula 841.151 cuatro tipos de construcción de tubos de acero, donde las tensiones de diseño permitidas se reducen progresivamente dependiendo de la localización a fin de controlar el riesgo a un nivel razonable de exposición a comunidades.

El grado de reducción global de riesgo logrado por estándares de diseño superiores también se refiere a eliminar conexiones bridadas hasta donde sea posible, así como al uso de diseños óptimos donde las bridas sean necesarias y el uso de modelos de válvulas, bombas, etc., en los que las fugas de los empaques se reduzcan al mínimo por arreglos especiales de doble sello, diseños de rotor canned, sellos de fuelle, etc.

Para uso de procesos, la tubería debe sujetarse a una prueba hidrostática después de su fabricación y también a una prueba apropiada al ser instalada. No es aceptable la limitación del número de bridas normales ni de bridas de traslape. Las condiciones de diseño se proporcionan en la American National Standard for Chemical Plant and Petroleum Refinery Piping para servicio de fluidos no incluidos en las categorías D o M.

Esto se considera como el diseño standard "normal" respecto al cual se asignan los factores de disminución por mejoras en la tubería de transferencia de fluido (dentro de una planta).

Los factores de disminución para tuberías de transporte de fluidos diseñada de acuerdo con el ANSI B31.8: 1975 se asigna de la siguiente manera:

1) Cuando la tubería se diseña y construye de acuerdo a las clases de localización 1,2,3 o 4, de conformidad con la Clausula 841.151, use un factor de disminución de 0.90.

2) Si el tipo de diseño y construcción adoptado es una categoría más resistente que el tipo especificado, use un factor disminución de 0.80.

3) Si el tipo de diseño y construcción adoptado es de dos categorías (o su equivalente aunque no esté en el código) más resistente que el especificado use un factor de disminución de 0.70.

4) Si el tipo de diseño y construcción adoptado es 3 categorías (o su equivalente, aunque no esté en el Código) más resistente que el especificado, use un factor de disminución de 0.60.

En adición a los anteriores factores de disminución por diseño y construcción de tubería de acuerdo a diseños más resistentes que los estandar, se debe aplicar un factor de disminución adicional apropiado por medidas relacionadas con fugas en juntas, válvulas, bombas, etc., para dar un factor de disminución total, los factores de disminución de "fugas" se deben asignar como sigue:

1) Por el uso de tubería completamente soldada y 100 % radiografiada sin bridas, excepto en las secciones de válvulas, como se especifica en la Clausula 846.11 de la American Society of Mechanical Engineers "Chemical Plant & Petroleum Refinery Piping". American National Standard ANSI 31.3-1976; use un factor de 0.90.

2) Por el uso de bridas de cuello soldadas en el lugar de bridas de traslape en todas las uniones bridadas, use un factor de 0.95.

3) Para el uso de caras realizadas y juntas restringidas (anillos sólidos en el interior y exterior o diseños de trampa) en todas las uniones bridadas, use un factor de 0.95.

4) Por el uso de rotor de canned, válvulas selladas por fuelles y otros sistemas especiales para sellado de la flecha, use un factor de 0.95.

Se permite usar más de uno de los factores anteriores multiplicandolos entre sí.

Usando ambos grupos de factores de disminución para tubería de transferencia bajo condiciones óptimas, se puede obtener un factor de reducción total hasta de 0.50.

d) Contención Adicional, Chaqueta para Recipientes y Diques.

Una técnica que se puede aplicar para mejorar los estándares de contención de recipientes de almacenamiento y de proceso a presión, así como en recipientes atmosféricos y en las grandes tuberías de transferencia, es proveerlos de una segunda ( y ocasionalmente tercera) cubierta o pared, de manera que más de una "barrera" tenga que fallar antes de que haya un escape incontrolable a la atmósfera. También un dique es medio de mejorar los estándares de contención para que una falla no conduzca a un escape de material que se extienda, sino que asegure la permanencia en un área limitada para combatir incendios, neutralizar o recuperar.

Cuando un recipiente de almacenamiento que contiene líquidos inflamables o tóxicos ( o gas licuado bajo condiciones totales o parciales de refrigeración) se provee con una segunda pared de contención (para presión atmosférica), que se construye a todo lo largo del recipiente, se le asigna un factor de 0.45 si la segunda pared resiste la carga del contenido total después de la falla de la primera pared. En el caso de un recipiente a presión, la provisión de una segunda cubierta fuera de una capa de aislamiento también capaz de contener los contenidos a presión, aplica un factor de 0.50.

Bajo condiciones donde una segunda pared o cubierta esté provista por fuera de un recubrimiento de al menos 150mm de espesor y la pared o la cubierta esté sellada y tiene una resistencia equivalente a 3mm de acero suave, use un factor de 0.75.

En el caso de recipientes transportables que contengan líquidos inflamables o tóxicos (o gases licuados) que están provistos en los extremos con protección contra impacto equivalentes a 12 mm de espesor de acero suave, use un factor de 0.80. Esto se puede aplicar en adición a los factores de la segunda cubierta ya especificados.

Cuando las tuberías de transporte están provistas de una cubierta exterior equivalente a 6 mm de acero suaves, aplique un factor de 0.6.

En casos excepcionales en los que se proporciona una tercera cubierta o pared, multiplique entre sí los factores apropiados para cada una de ellas.

Cuando el área de tanques de almacenamiento está provista de diques según los requerimientos normales para líquidos inflamables, use un factor de 0.95. Si la altura de la pared del dique es igual al 50 % de la altura del tanque más alto que se encuentra dentro del él, o cuando su capacidad de cálculo tomando en cuenta la formación de espuma u otra condición más severa, use un factor de 0.75. Cuando la pared del dique es vertical o inclinada hacia adentro (más

cerca del tanque en su extremo superior que en el inferior), aplique un factor adicional de 0.85.

Si la base del dique es de concreto o se ha aplanado para tener menor superficie de contacto con el material que se escape, aplique un factor adicional de 0.90. Si el dique está sellado por completo de manera que el material que se escape no pueda salir fuera de él NI penetrar en la tierra, use un factor adicional de 0.90.

Si especialmente para equipo de investigación o de planta piloto, las condiciones de diseño del recipiente son capaces de soportar una explosión interna previsible, use un factor de 0.4.

#### e) Sistemas de Detección de Fugas y Respuesta.

Se puede incrementar la eficacia de los sistemas de contención si se tienen aislados en forma permanente sistemas de detección de fugas de gases o vapores en todas las posiciones factibles alrededor de la sección. Este sistema de detección de fugas debe contar con una indicación de la localización del sensor que ha respondido en el cuarto de control, desde donde se puede tomar una acción inmediata para aislar y/o despresurizar el área. SE asignan factores de reducción como sigue:

1) Si el sistema de detección de fugas se ha instalado de manera que sea necesaria una investigación antes de iniciar las actividades de paro, use un factor de 0.95.

2) Si el sistema de detección de fugas permite a los operadores en el cuarto de control la rápida identificación del punto que requiere aislarse y/o despresurizado, use un factor de 0.90.

3) Cuando por detección de la fuga se pueda tener una identificación y respuesta rápida para paro de la planta, por parte de los operadores en el cuarto de control, use un factor de 0.85.

4) Cuando después de la detección de la fuga, los operadores en el cuarto de control puedan lograr el aislamiento y la efectiva despresurización por medio de válvulas accionadas remotamente con un tiempo de respuesta de 10 a 20 segundos para diámetros entre 2" y 4", de 30 segundos a 1 minuto para válvulas con diámetro entre 9" y 18" y así proporcionalmente, use un factor de 0.80.

5) En el caso de líneas de transferencia en las que todas las válvulas de corte puedan operarse remotamente por el personal del cuarto de control, aplique un factor de 0.90.

Los factores anteriores se aplican cuando las unidades de detección operan a una concentración equivalente al 25 % del límite inferior de inflamabilidad: si se ajustan para operar a una concentración menor o igual al 10 % del límite inferior de inflamabilidad, aplique un factor adicional de 0.90.

f) Manejo del Material Relevado, Venteado o de Desecho.

En general se reduce el riesgo si el material que debe ser eliminado de un sistema de contención se maneja de tal manera que se evite la contaminación del ambiente; por lo que se puede aplicar un factor de reducción apropiado por mejoras en el sistema de contención, como sigue:

1) Si todo el material en estado gaseoso o de vapor que se releva se ventea en una emergencia o se desecha, se envía a un quemador elevado o a un recibidor de venteos cerrado, use un factor de 0.90.

2) Si se arregla que el líquido u otro contenido del sistema que se vaya a desechar se envíe a un quemador de campo o a una fosa alejada ( cuando menos 15 metros) de la unidad, use un factor entre 0.95 y 0.90, de acuerdo con la eficiencia que se prevea para el sistema en el enfriamiento o neutralización de reacciones peligrosas.

K2 Control de Procesos.

Referido a alarmas y/o sistemas de paro de seguridad activados por condiciones anormales específicas de proceso, los factores especiales tales como sistemas de enfriamiento de emergencia para el proceso, suministro de energía de emergencia para operaciones vitales (como unidades de refrigeración, agitadores y bombas) y sistemas de gas inerte, están claramente relacionados con el control de procesos bajo condiciones anormales y constituye frecuentemente un factor esencial para cualquier sistema de paro de seguridad.

La instalación de equipo de supresión de explosión, equipo diseñado para resistirlo o equipo de venteo seguro para explosiones internas, también son parte importante del sistema de control de procesos.

La interconexión de arreglos de válvulas en líneas de procesos y la posibilidad para probar la instrumentación y el control de seguridad durante la operación de la unidad, son otros aspectos deseables para un buen sistema de control de procesos.

Los factores anteriores se aplican cuando las unidades de detección operan a una concentración equivalente al 25 % del límite inferior de inflamabilidad: si se ajustan para operar a una concentración menor o igual al 10 % del límite inferior de inflamabilidad, aplique un factor adicional de 0.90.

f) Manejo del Material Relevado, Venteado o de Desecho.

En general se reduce el riesgo si el material que debe ser eliminado de un sistema de contención se maneja de tal manera que se evite la contaminación del ambiente; por lo que se puede aplicar un factor de reducción apropiado por mejoras en el sistema de contención, como sigue:

1) Si todo el material en estado gaseoso o de vapor que se releva se ventea en una emergencia o se desecha, se envía a un quemador elevado o a un receptor de venteos cerrado, use un factor de 0.90.

2) Si se arregla que el líquido u otro contenido del sistema que se vaya a desechar se envíe a un quemador de campo o a una fosa alejada ( cuando menos 15 metros) de la unidad, use un factor entre 0.95 y 0.90, de acuerdo con la eficiencia que se prevea para el sistema en el enfriamiento o neutralización de reacciones peligrosas.

K2 Control de Procesos.

Referido a alarmas y/o sistemas de paro de seguridad activados por condiciones anormales específicas de proceso, los factores especiales tales como sistemas de enfriamiento de emergencia para el proceso, suministro de energía de emergencia para operaciones vitales (como unidades de refrigeración, agitadores y bombas) y sistemas de gas inerte, están claramente relacionados con el control de procesos bajo condiciones anormales y constituye frecuentemente un factor esencial para cualquier sistema de paro de seguridad.

La instalación de equipo de supresión de explosión, equipo diseñado para resistirlo o equipo de venteo seguro para explosiones internas, también son parte importante del sistema de control de procesos.

La interconexión de arreglos de válvulas en líneas de procesos y la posibilidad para probar la instrumentación y el control de seguridad durante la operación de la unidad, son otros aspectos deseables para un buen sistema de control de procesos.

Una mejora en la eficiencia del control de procesos es cuando se efectua por medio de una computadora que también esté ligada al sistema de paro de seguridad.

Un aspecto muy importante del control de procesos son los procedimientos de operación para :

- a) Operación normal
- b) Arranque
- c) Paro
- d) Trabajo de mantenimiento
- e) Prevenir situaciones anormales
- f) Modificaciones a la planta

Así mismo es esencial para el buen funcionamiento del control de procesos el entrenamiento de los operadores, para que sigan estos procedimientos. Se considera como medida de la protección, la inspección frecuente del equipo de la planta para operadores o donde haya un circuito cerrado de televisión adecuado que ayude efectivamente al control de procesos vía instrumentación instalada.

Siempre que se cuente con un sistema automatizado de control de proceso y se tenga confianza en los sistemas de alarma de seguridad y de paro, resulta necesario contar con un suministro adecuado de energía para el control de las principales operaciones durante condiciones anormales. Todos estos aspectos requieren la adopción de factores de reducción de acuerdo con la confianza que se tenga al sistema como fué diseñado.

#### a) Sistemas de Alarmas.

La ayuda más simple para la operación segura de una planta es el proporcionar un sistema de alarma que indique las diversas fallas que se pueden encontrar en operación. Si el sistema requiere de decisiones por parte del operador y acciones de corrección o paro para evitar una situación potencial de riesgo que puede convertirse en un accidente, un factor de 0.95 es apropiado.

Si el sistema de alarma es del tipo en el que las condiciones anormales específicas se indican como situaciones peligrosas omo la retroalimentación de otras indicaciones de alarma, aplique un factor de 0.90

#### d) Suministro de Energía de Defensas.

El contar con suministro de energía de emergencias para servicios esenciales (aire de instrumentos, instrumentación de seguridad y de control clave, agitadores, bombas, ventiladores) donde el cambio de suministro normal al de emergencia se lleva a cabo automáticamente sin necesidad de

rearrancar motores, constituye un aspecto clave en la reducción de riesgos. El número de unidades de energía que se justifica para tener este equipo de servicio, sólo puede determinarse efectuando un estudio detallado de riesgos en la sección. Sin embargo, es posible definir durante la primeras etapas de diseño si se va a contar con un suministro de energía de emergencia con cambio automático; si se toma esta decisión, un factor de 0.90 es apropiado.

c) Sistemas de Enfriamiento de Proceso.

Es frecuente que cuando se presenta una situación anormal en una planta, sea necesario evitar que los sistemas de enfriamiento y refrigeración dejen de funcionar rápidamente. Si los sistemas de enfriamiento de proceso están diseñados con una capacidad para poder continuar trabajando por espacio de 10 minutos al presentarse una situación anormal se usa un factor de 0.95. Si el sistema de enfriamiento es capaz de proporcionar el 150 % de los requerimientos marcados en el diagrama de flujo durante 10 minutos, se aplica un factor de 0.90.

d) Sistemas de Gas Inerte.

Si se cuenta con una cantidad de gas inerte capaz de purgar toda la sección cuando se requiera sin suspender el suministro normal, se aplica un factor de 0.95.

Si los equipos que contienen líquidos inflamables cuentan con un colchón permanente de gas inerte para reducir el nivel de oxígeno por abajo de 1 % V/V ( en base libre de combustible) se aplica un factor de 0.8.

Si se tiene conectada a la sección una tubería permanente de vapor, asigne un factor de 0.90.

e) Estudios de Riesgos.

Solamente puede ser efectivo un sistema de paro de seguridad si se ha hecho un estudio completo de riesgos en la sección, para identificar las fallas que puedan crear condiciones riesgosas y cada una de estas situaciones se ha evaluado para obtener el grado de riesgo resultante. En un sentido amplio, el valor inicial del factor R de riesgo global da una idea de la magnitud potencial del incidente que PUEDE presentarse en una sección, pero no pretende identificar las fallas que lo generan.

Antes de seleccionar los factores de reducción para los sistemas de control de seguridad propuestos ( o existentes), se necesitan factores de reducción equivalentes al grado de detalle con que se ha efectuado ( o se efectuará) el estudio de riesgos. Se aplica un factor entre 1.0 y 0.7, de acuerdo



al tiempo y al personal con experiencia disponible para el estudio de riesgos.

La categoría del riesgo global y su aceptación (junto con los resultados del estudio de riesgos) servirá para definir la eficiencia que debe tener el sistema de paro de seguridad, con lo que se obtiene un factor de reducción. Es obvio que antes de asignar un factor de reducción es importante verificar que se ha efectuado (o se efectuará) un estudio completo de riesgos; de otra manera PUEDE suceder que cualquier sistema de paro de seguridad seleccionado no se diseñe correctamente.

f) Sistemas de Paro de Seguridad.

Se pueden verificar 3 niveles de sistemas de paro, para los que se tienen los siguientes factores de reducción:

1) cuando se usa un sistema de protección altamente integrado, un factor de 0.75 es apropiado. Estos sistemas constan de varias señales de disparo, consideradas por un sistema de votación en el sistema de paro de seguridad antes de que cualquier instrumento (más de 1 por servicio) de paro sea activado.

2) Un nivel intermedio de un sistema de paro es el sistema de redundancia directa; donde se duplican las funciones de disparo de manera que una condición anormal iniciará el paro. Para este tipo de sistema de paro de seguridad se aplica un factor de reducción de 0.85, a menos que se tenga otra opinión por parte de ingenieros de seguridad y control.

3) Para el sistema más simple de paro de seguridad constituido solamente por funciones individuales de disparo o paro u operaciones de venteo, es apropiado un factor de 0.95.

SE debe recalcar que es necesaria la experiencia o la guía de un experto para asignar factores de reducción en un estudio de riesgos y para todo lo relacionado con sistemas de paro, Y QUE LOS VALORES SUGERIDOS CONSTITUYEN UNICAMENTE UNA GUIA BASICA.

Si se puede probar regularmente la instrumentación de control y seguridad con la planta en operación y la frecuencia de las pruebas se define de acuerdo al análisis de confiabilidad de estudios de riesgos, use un factor adicional de 0.80.

Si como parte de la sección se tiene equipo rotatorio importante como compresores, ventiladores, turbinas etc., y cuentan con equipo de detección de vibración, seleccione un factor de 0.90 si unicamente consta de alarmas y de 0.80 si inicia el paro de la sección.

g) Control por Computadora.

Si la planta está controlada por una computadora en línea conectada directamente a los controles y monitores de flujo de proceso, de manera que continuamente se toman acciones correctivas, se logra generalmente una operación más uniforme que con instrumentación o control manual. Esto tiene una influencia sobre el nivel de riesgo de la planta SIEMPRE que ésta sea operada únicamente por control de computadora y que tenga funciones de paro INDEPENDIENTES del sistema de control de paro. Si se tienen estas condiciones, se da un factor de 0.85. Cuando la computadora en línea funciona únicamente como ayuda para los operadores y no controla directamente las operaciones clave o cuando la planta se opera frecuentemente sin la ayuda de la computadora, use un factor de 0.95.

h) Protección contra Explosiones y Reacciones Incorrectas.

Si la planta esta provista de un sistema de interlock para prevenir el flujo incorrecto de material y evitar reacciones indeseables, aplique un factor de 0.95.

Cuando se tiene instalado un equipo de supresión de explosión en una unidad de proceso o almacenamiento, use un factor de 0.80.

Si el equipo de la planta esta provisto de instrumentos de relevo de sobrepresión o de venteo de explosión ( en el caso de riesgo de explosión interna) adecuados para protegerlo de condiciones anormales previsibles, seleccione un factor entre 0.95 y 0.85 de acuerdo a la eficacia de los instrumentos de relevo de sobrepresión en el caso de : gas, vapor, neblina o venteo de reacción interna. Con riesgos de explosión de polvos, debe usarse un rango entre 0.90 y 0.70, seleccionando factores cercanos a 0.90 para los polvos que producen las explosiones más violentas.

En el caso de edificios que manejan polvos y productos similares, se selecciona un factor de 0.85 si se cuenta con relevo de explosión para el edificio diseñado según el NFPA o un código equivalente.

i) Instrucciones de Operación.

Las instrucciones de operación deben cubrir las condiciones normales de operación, pero su valor se aumenta si incluye otros aspectos como:

- 1) Arranque.
- 2) Paro normal.
- 3) Paro de emergencia.
- 4) Arranque después de un paro de poca duración.

5) Procedimientos para el mantenimiento incluyendo permisos de trabajo o sistemas de limpieza, descontaminación para mantenimiento, etc.

6) Arranque después del período de mantenimiento.

7) Situaciones anormales predecibles.

8) Procedimientos de control para modificación de equipo o tubería (necesidad de re-examinar los estudios como resultado de la modificación).

Si se ha efectuado un estudio completo de riesgos para la planta, se espera que las instrucciones de operación cubran gran parte de las condiciones arriba mencionadas.

9) Condiciones normales de operación.

10) Condiciones de operación durante el paro.

11) Condiciones de operación con una capacidad mayor (por arriba de la mencionada en el diagrama de flujo).

12) Condiciones cuando se esta recirculando (recirculación total sin reacción química a temperatura y presión normal).

Para aplicar el factor, determine cuantas condiciones de las doce mencionadas arriba se cubren efectivamente. Si el número de condiciones cubiertas es x, aplique un factor de:

$$\frac{1 - x}{100}$$

Este factor de reducción se encontrará en el rango entre 0.97 y 0.88, dependiendo del grado de explicación que tengan las instrucciones de seguridad.

#### J) Supervisión de la planta.

Si la planta se encuentra normalmente patrullada a todas horas del día y de la noche y se puede tener una buena vigilancia del equipo principal mediante circuito cerrado de televisión, use un factor de 0.95. Si es posible ponerse en contacto con todos los operadores por medio de radio u otro medio equivalente, desde el cuarto de control, use adicionalmente un factor de 0.97 .

#### K3 Actitudes de Seguridad.

La actitud de la Gerencia hacia normas de seguridad contribuye (cuando el énfasis es correcto) significativamente a la reducción de la frecuencia de accidentes. El resultado de fomentar la seguridad se ve en aumento en el nivel de entrenamiento de todo el personal, la adhesión a procedimientos de operación establecidos, buenas normas de mantenimiento, la aplicación correcta de sistemas de aprobación a las modificaciones y permisos de trabajo, verificaciones regulares y eficientes de todos los sistemas de seguridad y control y un informe concienzudo de circunstancias anormales, fallas y accidentes menores. La actitud gerencial hacia seguridad, sólo será plenamente efectiva si es visible y está respaldada por actividades

apropiadas, (inspecciones, exigencia, modelaje, acciones disciplinarias, entre otras).

Aunque la planta este adecuadamente diseñada, construida, provista de instrucciones de operación por escrito, etc., la actitud general en el sitio hacia las normas de seguridad tendrá efectos sobre el grado de alcance y la obtención de una operación segura.

a) Actitud de la gerencia.

Es de esperarse que en toda compañía y sitio bien organizado se tenga la firme resolución de seguir normas

altas de seguridad y el apoyo de todos los gerentes a los procedimientos de seguridad. Si la actitud es tal que no se acepten compromisos entre presiones económicas o de producción y seguridad, se selecciona un factor de 0.95 y 0.90.

b) Entrenamiento en Seguridad.

Si regularmente se lleva a cabo un programa de entrenamiento sobre seguridad que incluya a todos los operadores, personal administrativo, auxiliar o del contratista en planta, use un factor entre 0.80 y 0.95, de acuerdo a la característica del programa.

c) Procedimientos de Mantenimiento y Seguridad.

La observancia estricta de permisos de trabajo o sistemas de certificación de limpieza para mantenimiento y trabajos de modificaciones proporciona un factor entre 0.98 y 0.90, dependiendo del apego a los procedimientos.

En una planta donde se efectuó el mantenimiento preventivo programado, se usa un factor adicional de 0.97.

De acuerdo a la eficacia con la que se efectúen las inspecciones de seguridad y limpieza en la planta, se debe escoger un factor en el rango de 0.97 a 0.90 que depende de la ausencia de basura (particularmente de materiales combustibles e inflamables), de fugas de materiales tóxicos, inflamables, fluidos de servicio, etc.

Cuando se elaboran informes completos de accidentes, condiciones anormales de proceso y fallas (que cubran cuando menos el 50% de dichos eventos) se aplica un factor de 0.97.

En una planta donde se manejen sólidos inflamables, combustibles o tóxicos, el contar con un equipo fijo de limpieza por medio de vacío u otro sistema equivalente que se

usa regularmente y evite la acumulación de polvos FUERA del equipo de proceso, justifica el uso de un factor de 0.80.

#### MEDIDAS DE DISMINUCION DE LA GRAVEDAD POTENCIAL.

##### K4 Protección Contra Fuego.

La medida más importante para reducir el riesgo es asegurarse de que las estructuras y recipientes de la sección estén provistos de protección efectiva contra el fuego, así como contar con cortinas de agua o vapor, paredes resistentes al fuego, arrestadores de flama, pisos sólidos, etc. ,que eviten que se propaguen el fuego y el humo.

Otro aspecto es la protección contra explosión al fuego o agentes corrosivos de los cables de instrumentos, líneas de corriente, cables de potencia, con el fin de que no se interrumpan las funciones de control durante una situación anormal.

La protección contra fuego de las estructuras de la planta ( de acero, pisos, etc.) que soportan el peso del equipo de proceso, debe considerarse de manera diferente a las paredes o barreras contra fuego que unicamente proporcionan una cubierta contra los efectos de la flama y el calor y cuyos requerimientos de carga se limitan a evitar que la pared o barrera se caiga por efectos de su propio peso.

El equipo de la planta requiere protección contra fuego para evitar que se dañe por calor y que se efectúe una transferencia de calor inaceptable hacia el contenido del mismo. La cantidad de calor transferible es una función de las características del contenido y de la presión de operación.

##### a) Protección Contra Fuego de Estructuras.

Referido a estructuras de columnas, unidades de piso o techo, tejados, faldones para soportar recipientes y otros equipos donde las fallas provocarán el desplome de estructuras que involucren al equipo de la planta.

Cuando se tome en cuenta el medio ambiente, otros factores como: duración mecánica de la protección contra fuego, habilidad para retener su eficacia en un ambiente corrosivo y su comportamiento durante el lavado y situaciones de combate de incendios, tienen particular importancia y pueden limitar la capacidad para alcanzar un buen nivel de protección contra fuego. Estos factores no pueden ser considerados aquí, pero deben ser tomados en cuenta al seleccionar el factor de reducción apropiado.

Cuando la estructura que soporta a la unidad esta provista hasta 1/3 de su altura total o como mínimo, 6 metros

a partir de su base, de una protección contra fuego de 2 horas de duración, use un factor de 0.98. Si la protección contra fuego cubre hasta 2/3 de la altura total; use un factor de 0.95 y si toda la estructura protegida, use un factor de 0.90.

Otros factores por protección adicional contra el fuego suponen que TODOS los apoyos de carga cuentan con las 3 horas de protección normal. Cuando se adopta una protección contra fuego con duración de 5 horas, se usan los siguientes factores: 0.95 cuando 1/3 de la altura o como mínimo 6 metros a partir de su base, se encuentra protegida, 0.90 cuando las 2/3 partes de la altura están protegidas y 0.80 si la protección contra fuego cubre toda la unidad.

#### b) Paredes, Barreras y Elementos Equivalentes Contra Fuego.

La eficacia de una pared contra fuego entre secciones depende de la altura de las secciones y de las paredes. Se selecciona un factor de reducción entre 0.80 y 0.95 siempre que la pared cuente con una duración de 4 horas, dependiendo del grado de protección que brinde para evitar la propagación del fuego. Si se usan paredes con duración de 2 horas, el factor se encontrará entre 0.7 y 0.97. Lo anterior supone que no se han instalado puertas que no cierran automáticamente en caso de incendio y que tengan una resistencia contra el fuego equivalente a la de la pared.

Si una estructura de proceso con una altura mayor de 6 metros está provista de pisos sólidos intermedios a intervalos mayores de 6 metros (cada uno con una resistencia contra fuego de 2 horas como mínimo para apoyos sin carga y 3 horas para apoyos con cargas), use un factor de 0.90. Esto por la protección que se tiene contra la propagación del fuego en dirección vertical en comparación con el uso de pisos de rejilla o con la ausencia de pisos.

El uso de cortinas de vapor o de agua para aislar una sección de riesgo significativo debe considerarse efectivo únicamente si rodea por completo la sección y sea adecuada para fugas localizadas hasta una posición equivalente a un 1/3 de la altura de la unidad. Si todo esto se cumple, use un factor de 0.90. Una cortina de agua debe tener una densidad de 0.3 gal/min.\*ft<sup>2</sup> de cortina (0.9 m<sup>3</sup>/h\*m<sup>2</sup>).

#### c) Protección contra fuego para equipo.

Si todos los recipientes de la sección están provistos de aislamientos de protección contra fuego externo SIN cubierta de acero, use un factor de 0.97. Si tienen cubierta exterior de acero aplique un factor de 0.93. Si se tiene sistema fijo de inundación o esparcido con agua con gasto de 0.20 gal.imperiales/min.\*ft<sup>2</sup> (8.15 lpm/m<sup>2</sup>) de superficie de recipiente además del aislamiento térmico SIN cubierta

exterior de acero, use un factor de 0.95. Pero se proporciona el sistema fijo de inundación o espreado ADEMAS del aislamiento cubierto con placa de acero, se usa un factor de 0.85.

Donde se tengan tanques de almacenamiento enterrados con cubierta adecuada que proporcione una protección efectiva contra el fuego, se usa un factor de 0.50.

Cuando todos los cables de los instrumentos, líneas de corriente y cables de energía para mantener las funciones de control de la sección, estan provistos con una protección contra fuego de 3 horas, use un factor de 0.85. Si no se tiene agentes corrosivos o fugas de líquido en estas áreas, use un factor de 0.75 en lugar de 0.85.

Si la sección se localiza detrás de paredes contra fuego, dentro de un cerco que proporcione un medio para confinar el fuego dentro de ella, aplique un factor de 0.80. Cuando el cubículo provea protección para impedir que partículas puedan dañar otras secciones o al personal, use un factor de 0.85. Ambos factores pueden ser aplicados si la sección se encuentra dentro de un cerco resistente al impacto al fuego.

Una técnica utilizada para evitar que la flama entre al equipo es el uso de arrestadores de flama o estranguladores de material. Cuando están colocados pueden prevenir que un incidente se extienda a otra unidad (si se han diseñado correctamente) y este hecho permite el uso de un factor de 0.85.

#### K5 Aislamiento de Materiales.

Muchos incidentes producen fuegos mayores porque no es posible cortar el flujo de material hacia la sección cuando se inicia el suceso. El contar con válvulas de corte operadas a control remoto, válvulas de acceso de flujo, sistemas de desecho o de relevo, drenajes superficiales adecuados que conduzcan el material lejos de la planta con problemas, son medidas que pueden controlar el incidente en su inicio.

##### a) Sistemas de Válvulas.

Si la sección cuenta con válvulas de corte operadas a control remoto y las líneas o cables de control se encuentran protegidas contra fuego de manera que en una emergencia se puedan aislar rápidamente los tanques de almacenamiento, recipientes de proceso y secciones de grandes líneas de transferencia, se aplica un factor de 0.80.

Cuando una unidad cuenta con un tanque para vaciado de emergencia localizado FUERA del área principal, se asigna un

factor de 0.90. De igual manera un sistema de relevo de emergencia garantiza un factor de 0.90.

Cuando la unidad de proceso de instalación de almacenamiento cuenta con drenaje superficial, fosas o quemador de campo de manera que el líquido no se acumule abajo del equipo elevado (y lo caliente desde ABAJO al inflamarse), aplique un factor de 0.85. La pendiente mínima requerida para proporcionar un drenaje adecuado bajo esta categoría es de 1 a 50 (2%). Si la sección de proceso o instalación de almacenamiento cuenta con una fosa, localizada lejos del área de la unidad, capaz de almacenar cuando menos 35% del contenido de la sección, disminuye el factor de 0.65.

Cuando una sección del tipo de sistemas de transferencia cuenta con válvulas automáticas, de exceso de flujo o de retención, asígense un factor de 0.80 si el gasto de operación no es mayor que el 200% del flujo normal.

#### b) Ventilación.

Cuando, en caso de una fuga de material, el sistema de ventilación pueda ser accionado a control remoto para reducir el peligro, aplique un factor de 0.90.

#### K6 Combate Contra Incendios.

Bajo esta categoría se agrupan: los diversos tipos de sistemas de inundación y espreado con agua, suministro adecuado de agua contra incendios disponibilidad de brigadas y equipo, espuma y otros materiales especiales para combatir incendios y sistemas de alarma o comunicación. Se encuentra bien establecido que el ataque concentrado de un fuego en su inicio lo extinguirá sin mucha dificultad y daño, mientras que una respuesta lenta o retrasada no podrá evitar grandes pérdidas o daños.

Ciertamente se alcanza una reducción importante de riesgos por la llamada y rápida respuesta de personal entrenado para combatir incendios ADEMÁS a la disponibilidad dentro de la planta de equipo contra incendio (extintores portátiles, instalaciones fijas, etc.).

#### a) Alarmas de Emergencia.

De acuerdo con esto, el primer factor de reducción corresponde a sistemas de alarmas que cubran toda la sección y que sirven para pedir ayuda. Si están instalados y llaman directamente a brigadas locales o municipales, aplica un factor de 0.90.



b) Extintores Portátiles.

Una planta debe disponer en todo momento de suficientes extintores portátiles adecuados para el tipo de fuego que se pueda presentar. Para esto se aplica un factor de 0.95.

Cuando se requieren tipos especiales de extintores (ejemplo para fuego de metales) y se dispone de una cantidad adecuada de ellos en la sección, asigne un factor de 0.85. Si además se encuentran soportados por varios equipos en carretillas especiales, aplique un factor adicional de 0.90.

c) Suministro de Agua.

Para un combate inmediato y efectivo en caso de fuego, es deseable que la planta cuente con un suministro adecuado de agua contra incendio; éste debe ser capaz de mantenerse a capacidad total por lo menos durante 4 horas a la presión de trabajo de 100-120 psig (7-8 bars manométricos) de los hidrantes.

Si se dispone de un gasto no menor de 10,000 galones imperiales/min. ( $2730 \text{ m}^3/\text{h}$ ) a una presión de 100 psig (7 bars manométricos), use un factor de reducción de 0.85. Si se tienen 15,000 gal. imperiales/min ( $4090 \text{ m}^3/\text{h}$ ) a 120 psig (8 bars manométricos), factor de 0.75.

Si el gasto no es menor a 2,500 gpm, use un factor de 0.95.

d) Instalaciones de Rociadores de Agua o Espreas y Monitores.

Si un edificio cuenta con un sistema normal de protección con rociadores que cubra cada piso, aplique un factor de reducción de 0.90. Si el edificio tiene también rociadores exteriores para protección de explosión al fuego, adicione un factor de 0.95. Cuando se proporcionan sistemas de diluvio para las plantas de acuerdo con el NFPA 15, aplique un factor de 0.90 si el sistema tiene una descarga de  $0.20 \text{ gpm}/\text{ft}^2$  a través de orificios de  $1/4$ " mínimo, para TODOS Y CADA UNO de los niveles. Si el tamaño de los orificios es de  $3/8$ " mínimo y el gasto es de  $0.40 \text{ gpm}/\text{ft}^2$  aplique un factor de 0.80 y para orificios con diámetro de  $7/16$ " y con gasto de  $0.60 \text{ gpm}/\text{ft}^2$ , un factor de 0.70.

Si se instalan unidades de rocío direccional de agua o monitores para combatir incendios con operación remota del control direccional, use un factor de 0.90. Si están instaladas pero requieren ajuste manual de la dirección, use un factor de 0.95.

e) Instalaciones Fijas de Espumas y de Inertes.

Cuando las plantas cuentan con instalaciones fijas de espumas, aplique un factor de 0.90. Cuando se tiene en el sitio un almacenamiento de compuestos para producir espuma ADECUADO para un combate contra incendio de 4 horas, use adicionalmente otro factor de 0.90.

Se puede usar un factor de reducción de 0.75 si la sección cuenta con un sistema fijo de CO<sub>2</sub> para ciertas situaciones, por lo que se usa un factor de 0.70. Se debe buscar la guía de un especialista al asignar factores de reducción para TODO TIPO de instalaciones fijas, ya que algunos riesgos de inflamabilidad requieren de sistemas especiales para un combate efectivo.

f) Brigadas contra Incendio.

Si se tiene una brigada bien preparada y camión, use un factor de 0.95 y disminuya un 0.05 adicional por cada camión extra CON TRIPULACION hasta un máximo total de 5. Si además la brigada municipal puede contribuir con 2 unidades en un lapso de 10 minutos, agregue otro factor de 0.90. Si la brigada municipal puede proporcionar una máquina especial con torre para combatir el incendio en un lapso de 15 minutos y COMO PARTE NORMAL DE SU PRIMERA RESPUESTA, disminuye el factor a 0.70.

Si se cuenta con brigada preparada en todos los turnos, aplique 0.95.

g) Apoyo externo y/o Interno para Combate de Incendios.

Cuando se cuenta SIEMPRE con un almacenamiento adecuado de productos químicos especiales para combatir incendios en el sitio, aplique un factor de 0.85 a menos que hayan sido tomados en cuenta anteriormente en las secciones de exteriores portátiles o de instalaciones de espuma.

Cuando se lleva a cabo un entrenamiento regular para operadores sobre el uso de extintores portátiles, equipo de flujo y colaboración con las brigadas contra incendio, asigne un factor de 0.90.

h) Ventiladores para Humo.

Si se tienen ventiladores para humo colocados en los techos de edificios de almacenamiento, empaque u otros procesos, además de separadores de humo a nivel del techo para evitar que otros edificios se vean afectados, aplique un factor de 0.90.

15) CALCULO DEL EFECTO GLOBAL DE LOS FACTORES DE REDUCCION.

Carga de Fuego  $F1 = FK1 * K4 * K5$

Indice de Explosión  $E1 = EK2 * K3$

Indice de Explosión Aerea =  $A * K1 * K5 * K6$

Indice Global Mond  $R1 = R * K1 * K2 * K3 * K4 * K5 * K6$

Los resultados obtenidos en cada encabezado por el producto de los factores son utilizados para el cálculo de los valores revisados de : La Magnitud de Fuego (F1), el Indice de Explosión (E1), El Indice de Explosión Aerea (A1) y el Indice Global de Riesgos (R1).

Este último valor es importante para determinar si el nivel de riesgo de la sección es aceptable o no y para escoger un arreglo satisfactorio de la planta durante las primeras etapas de diseño.

Finalmente, los elementos principales R a Rf deben anotarse en la hoja para recordar la NECESIDAD DE APEGARSE A ELLOS DURANTE LAS ULTIMAS ETAPAS DEL DISEÑO.

#### 16) CONCLUSIONES.

Los lineamientos dados para los factores de reducción estan basados en la experiencia obtenida por las compañías de seguros y los análisis de accidentes y se consideran razonables para poder asegurar que se ha dado un peso adecuado a los factores que indirectamente disminuyen los riesgos, al efectuar la revisión de los riesgos y definir un arreglo de equipo adecuado . NO se les debe asignar una confiabilidad mayor del + 20% que tiene globalmente el método de Indice Mond para Fuego, Explosión y Toxicidad.

#### SECUENCIA DE CALCULO INDICE MOND.

##### I.- CALCULO DE INDICES SIN CONSIDERAR FACTORES DE SEGURIDAD

1.- Selección del material clave (más riesgoso y en mayor cantidad).

- Listado de materiales, reacciones, características termodinámicas.
- Selección del matetial clave.

##### 2.- Cálculo del factor material B

- Material Inflamable  $B = f(\text{Calor de Combustión}) = \frac{\Delta H_C}{1000}$  (btu/lb)
- Material no Inflamable o no Combustible en Transporte

$$B=f(\text{calor de formación}) = \frac{\Delta H_R * 1.8}{\text{Peso Molecular}} \quad (\text{kcal/gmol})$$

c) Material Combustible  $B = 0.1$

d) Sólidos o Polvos Combustibles  $B = 0.1$  a menos que estén en forma granular.  $B = f$  (Calor de Combustión).

e) Material de composición no conocida  $B = \frac{P T}{288 * 6.2}$

3.- Determinación de Riesgos especiales de material  $M = \text{suma de factores.}$

- a) Material Oxidante
- b) Reacción con agua que produzca gases o vapores combustibles.
- c) Características de mezclado y dispersión = m.
- d) Sujeto a calentamiento espontáneo.
- e) Sujeto a rápida polimerización espontánea.
- f) Sensibilidad a la ignición.
- g) Sujeto a Descomposición explosiva.
- h) Sujeto a detonación en fase gas.
- i) Propiedades de la fase condensada.
- j) Otros riesgos.

4.- Determinación de Riesgos Genrales de proceso  $P = \text{suma de factores.}$

- a) Manejo y cambios físicos solamente.
- b) Reacción única.
- c) Reacción única por etapas.
- d) Múltiples reacciones en un mismo equipo.
- e) Transferencia de Material.
- f) Contenedores transportables.

5.- Determinación de Riesgos Especiales de Proceso  $S = \text{Suma de factores.}$

- a) Baja presión ( < 15 psi).
- b) Alta presión = p
- c) Baja temperatura - Acero al Carbón + 10 C a -10 C
  - Acero al Carbón -10 C
  - Otros materiales
- d) Alta temperatura - Inflamabilidad
  - Materiales de construcción.
- e) Corrosión y erosión.
- f) Fugas en juntas y empaques.
- g) Vibración, ciclos de carga, etc.
- h) Procesamiento o reacciones difíciles de controlar.
- i) Operación cerca o dentro de los límites de inflamabilidad.

j) Proceso con riesgo de explosión mayor que el valor promedio de riesgo.

k) Polvos o mezclas riesgosas.

l) Oxidantes altamente fuertes.

m) Sensibilidad del proceso a la ignición.

n) Riesgos electrostáticos

Temperaturas de proceso  $t = ^\circ K$

6.- Riesgos por cantidad de material total Q

cantidad de toneladas = K

En toda la unidad a estudiar, incluye tuberías y recipientes de Proceso.

7.- Riesgo por distribución de la Unidad L=suma de factores.

Altura en m = H

Area normal de trabajo en  $m^2 = N$

a) Diseño de estructuras.

b) Efecto dominó.

c) Bajo tierra.

d) Drenaje superficial.

e) Otros.

8.- Riesgo por toxicidad T = suma de factores.

a) TLV.

b) Forma del material.

c) Riesgo de explosión corta.

d) Absorción por la piel.

e) Factores físicos.

9.- Cálculo de índices.

a) INDICE GENERAL DE RIESGO

$$D = B * \left( 1 + \frac{M}{100} \right) * \left( 1 + \frac{S + Q + L}{100} + \frac{I}{400} \right) * \left( 1 + \frac{P}{100} \right)$$

D = Factor material (Riesgo Material) (R:G: Proceso) (R:E: Proceso, Cant. Mat., Distribución y Toxicidad)

b) CARGA DE COMBUSTIBLES

$$F = \frac{B \times K}{N} * 20500 \frac{BTU}{ft^2} = \frac{F \cdot \text{Material} \times \text{Ton Material}}{\text{Area de Trabajo}}$$

c) INDICE DE TOXICIDAD

$$U = \frac{T}{100} * \left( 1 + \frac{M + P + S}{100} \right) = \% \text{ R Toxicidad (R Material, G. Proceso, E. Proceso)}$$

- d) INDICE DE MAYOR TOXICIDAD  $C = Q * U = R$  Cant. Material, Indice Toxicidad.
- e) INDICE DE EXPLOSION

$$E = 1 + \frac{M + P + S}{100} = R \text{ material, G. Proceso, E. Proceso}$$

- f) INDICE DE EXPLOSION AEREA

$$A = B * Q * H * E * \left( 1 + \frac{m}{100} \right) * \frac{t}{300} * \left( \frac{1 + D}{1000} \right)$$

A = F. Material, R. Cant. Mat., Altura, Indice Explosión, Carac. Mezclado, Temperatura, Presión Alta.

- g) INDICE TOTAL MOND

$$R = D * \left( 1 + \frac{(F.U.E.A.)^{1/2}}{10^3} \right) = \text{IG Riesgo corregido por Carga de Combustible, Indice Toxicidad, Explosión y Explosión Aérea.}$$

## II.- FACTORES DE SEGURIDAD PARA CORRECCION DE INDICES CALCULADOS EN 1.9

1.- Prevención de Riesgos en almacenamiento  $K1 =$  producto de factores.

- Recipientes a presión.
- Tanques verticales de almacenamiento no a presión.
- Líneas de transferencia - Tensión de diseño  
- Juntas y empaques.
- Contenedores adicionales.
- Detección y respuesta a fugas y derrames.
- Desecho de material derramado.

2.- Control de Proceso  $K2 =$  Producto de factores.

- Sistemas de alarma.
- Suministro de emergencia de energía.
- Sistema de enfriamiento de proceso.
- Sistemas de gas inerte.
- Actividades de estudio de riesgos
- Sistemas de seguridad para paros.
- Control por computadora.
- Protección contra explosión o reacción incorrecta.
- Instrucciones de operación.
- Supervisión de Planta.

3.- Actitud de Seguridad  $K3 =$  Producto de factores.

- a) Involucramiento de la Gerencia.
- b) Entrenamiento en seguridad.
- c) Procedimiento de seguridad y mantenimiento.

4.- Protección contra Incendios  $K4 = \text{Producto de factores.}$

- a) Recubrimiento a estructuras.
- b) Barreras resistentes a fuego.
- c) Equipo de protección contra Incendios.

5.- Aislamiento de corte de material  $K5 = \text{Producto de factores}$

- a) Sistema de válvulas.
- b) Ventilación.

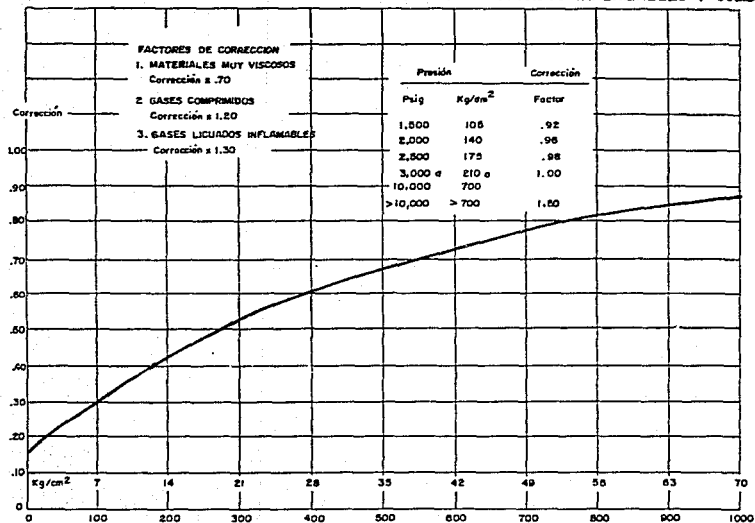
6.- Combate de Incendios  $K6 = \text{Producto de factores.}$

- a) Alarma de Emergencia.
- b) Extinguidores.
- c) Red contra incendios.
- d) Espuma o inertización.
- e) Respuesta de la brigada.
- f) Cooperación con otras plantas.
- g) Extractores de humo.

7.- Cálculo de Índices Finales.

- a) CARGA DE FUEGO  $F2 \text{ o } F1 = K1 * K4 * K5$  Corregido por prevención en almacenamiento, protección contra incendios, aislamiento material.
- b) INDICE DE EXPLOSION  $E2 = E1 * K2 * K3$  Corregido por control de procesos y actitud en Seguridad.
- c) INDICE DE EXPLOSION AEREA  $A1 = A * K1 * K5 * K6$  Corregido por prevención en almacenamiento, aislamiento de material y combate de incendios.
- d) INDICE GLOBAL MOND  $R1 = R * K1 * K2 * K3 * K4 * K5 * K6$

**- PRESION-CALIBRACION PARA VALVULAS DE ALIVIO PARA LIQUIDOS INFLAMABLES Y COMBUSTIBLE**



Presión de Calibración de la Valvula de Alivio (PSIG)



FIGURA 3 - LIQUIDOS O GASES EN EL PROCESO

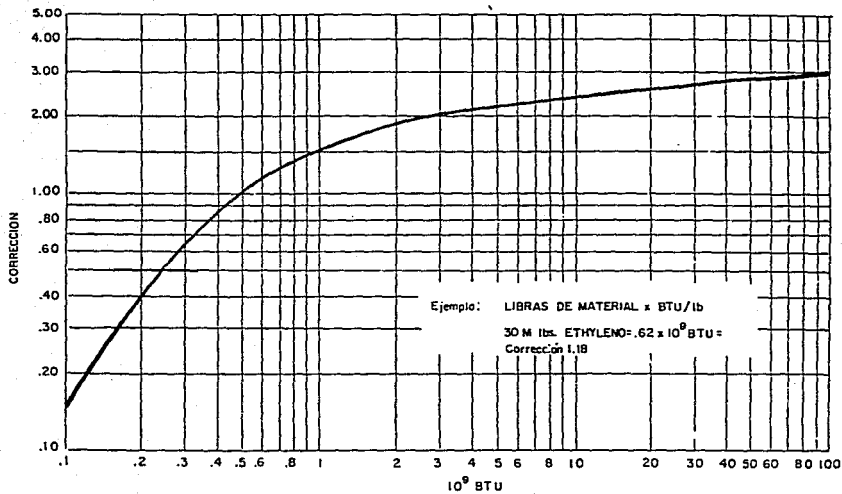


FIG. 4 -- LIQUIDOS O GASES ALMACENADOS

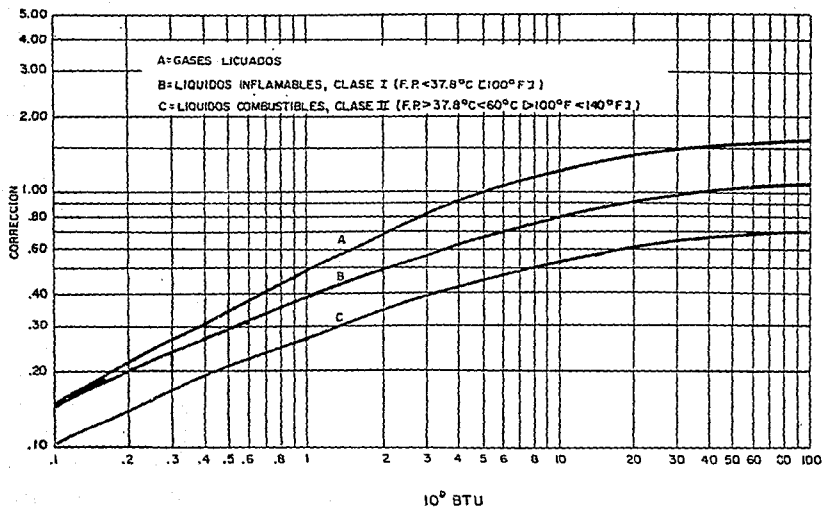


FIG. 5 - SÓLIDOS COMBUSTIBLES ALMACENADOS

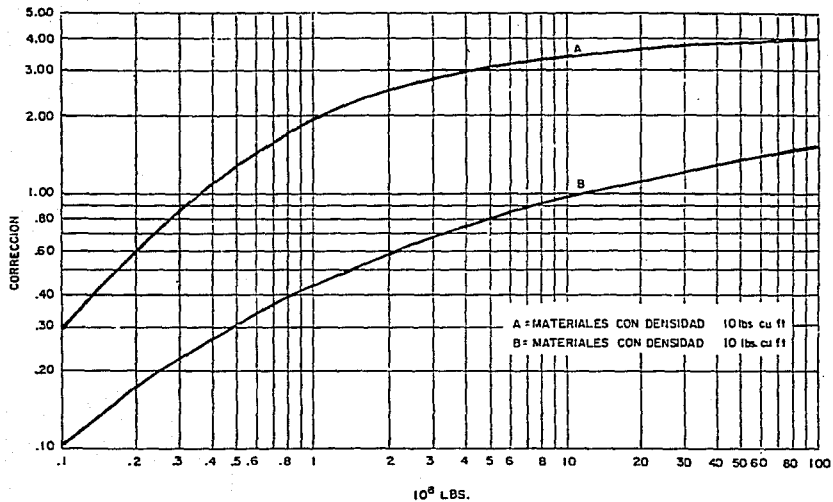


FIG. 6 - FACTOR DE CORRECCION POR EQUIPO VS. INCENDIO (INSTALADO AREA DE PROCESO)

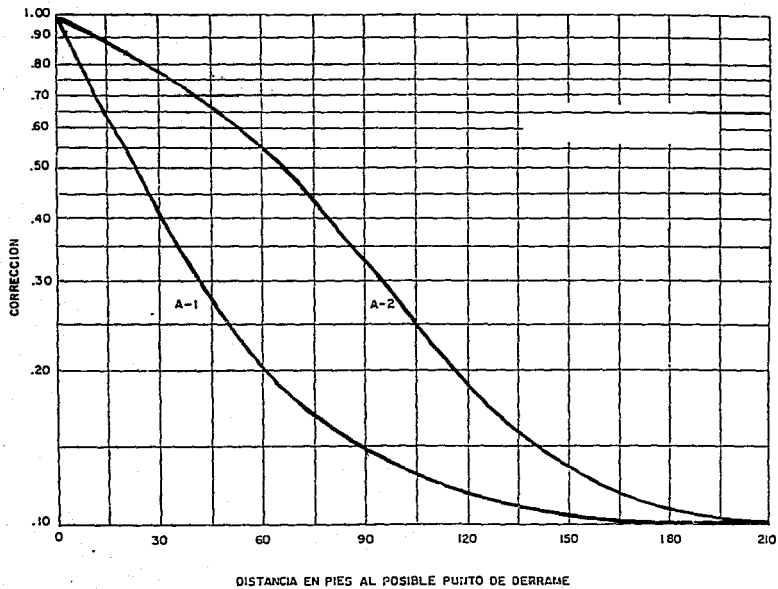


FIGURA 7 — RIESGO DE LA UNIDAD ( $F_3$ )

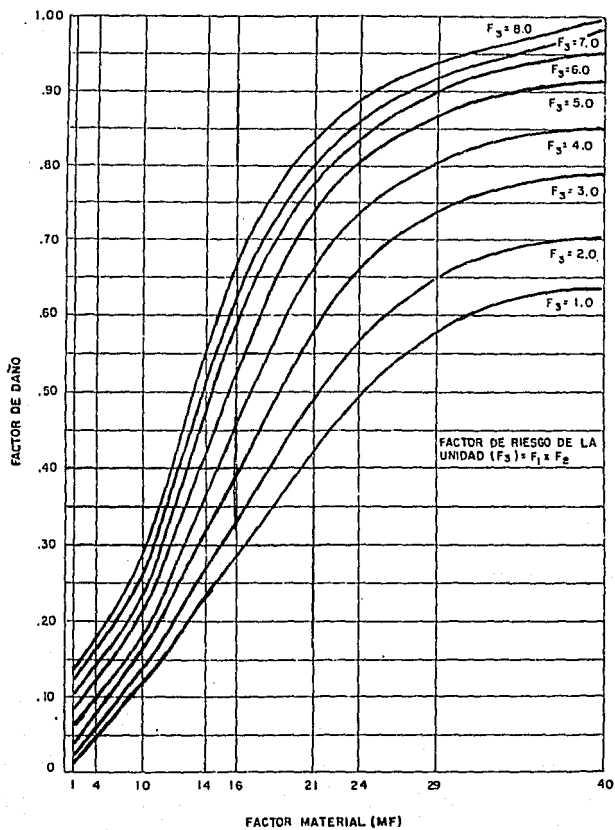


FIGURA 8 - AREA DE EXPOSICION

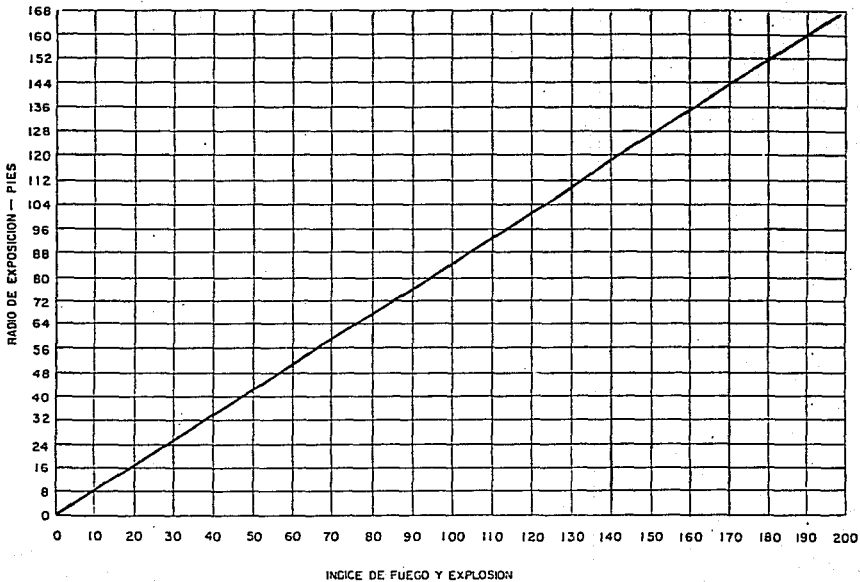
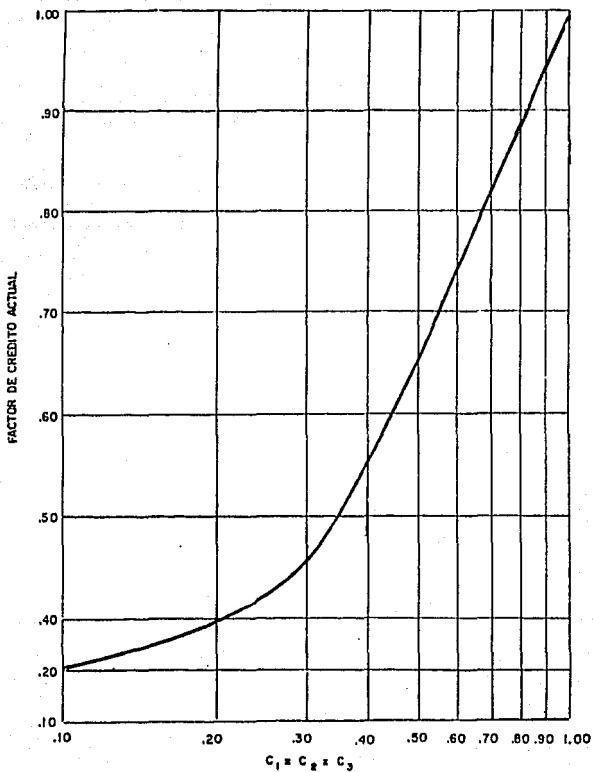
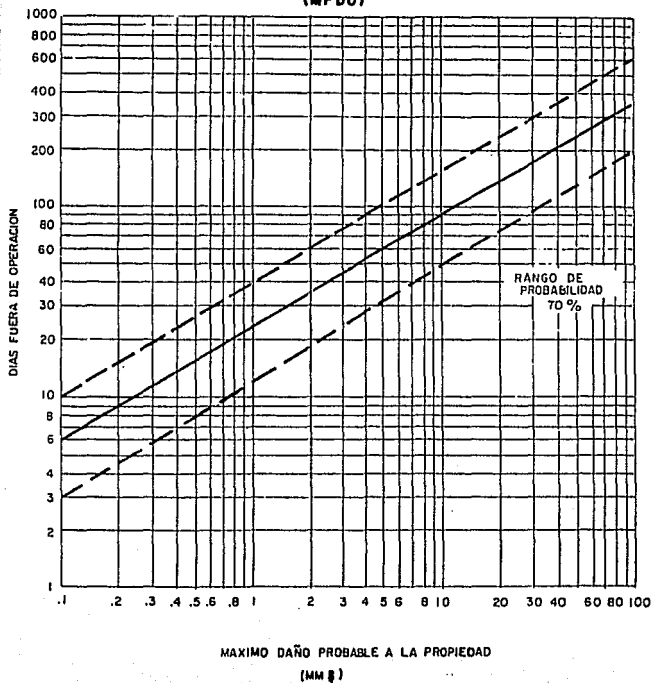


FIGURA 9 - FACTOR DE CREDITO



**FIGURA 10 -- MAXIMOS DIAS PROBABLES FUERA DE OPERACION  
(MPDO)**





MANUAL DE ANALISIS DE SEGURIDAD EN PROCESOS - ASP  
INDICE DON PARA FUEGO Y EXPLOSION

COMPLEJO Y/O PLANTA	DEPARTAMENTO	UNIDAD O SECCION DE PROCESO	FECHA
<b>MATERIALES Y PROCESOS</b>			
MATERIALES		SOLVENTES	
LACTIFICADORES			
FACTOR MATERIAL (TABLA 1)		MATERIAL ELAVE	
1.- RIESGOS GENERALES DEL PROCESO		VALOR	
BASE DEL FACTOR		1.00	
A) PERECION CATERMICA (0.32 a 1.35)		1.- PATIO DE TANQUES DE ALM'D. (0.01)	
B) REACCION ENDOTERMICA (0.20 a 0.40)		2.- CERRAJES Y FALLA DE PURGA (0.30)	
C) MANEJO DE MATERIALES (0.25 a 0.45)		3.- OPERACION DE RANCO (INFLEAMBLE (0.20)	
D) UNIDAD DE PASA DE PROCESO (0.20 a 0.30)		4.- DESCARGA PIPAS Y CARGOS TQS. (0.40)	
E) ACCESO A EQUIPO DE EMERGENCIA (0.35)		C) POLVOS EXPLOSIVOS (0.25 a 2.00)	
F) DERRAJES (0.25 a 0.50)		E) PRESION	
SUMA DE FACTORES POR A.G.P.	$F_1 =$	F) BAJA TEMPERATURA (0.20 a 0.50)	
2.- RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO		G) CANTIDAD DE MATERIAL	
BASE DEL FACTOR		1.00	
A) TEMPERATURA DE PROCESO (SE SOLO HMA)		1.- LIQUIDOS O GASES EN PROCESO	
1.- SOBRE PUNTO DE FLAMA (0.30)		2.- LIQUIDOS O GASES EN ALMACENAMIENTO	
2.- SOBRE PUNTO DE EBULLICION (0.60)		3.- SOLIDOS ALMACENADOS	
3.- SOBRE PUNTO DE AUTOIGNICION (0.75)		H) CORROSION Y EROSION (0.10 a 0.25)	
B) BAJA PRESION (SUBATMOSFERICA) (0.50)		I) FUGAS - JUNTAS Y EMPAQUES (0.10 a 1.50)	
C) OPERACION CERCA O EN RANCO INFLEAMBLE:		J) EQUIPO CALENTADO CON FUEGO DIRECTO	
FACTOR DE RIESGO DE LA UNIDAD $F_2 = F_1 \times F_1'$		K) INTERCAMBIO CON ACEITE CALIENTE (0.15 a 1.15)	
		L) EQUIPO ROTATORIO (0.50)	
		SUMA DE FACTORES POR R.E.P.	
		INDICE DON DE FUEGO Y EXPLOSION $F_M = F_2 \times F_2' \times F_2''$	
<b>CONSECCION DE MEDIDAS DE SEGURIDAD</b>			
1.- CONTROL DE PADRESO		D) INTERLOCK (0.55)	
A) EMERGENCIA DE EMERGENCIA (0.97)		PRODUCTO DE FACTORES POR A.M	
B) ENFRIAMIENTO (0.55 a 0.90)		3.- PROTECCION CONTRA INCENDIOS	
C) CONTROL DE ESPALDONES (0.75 a 0.96)		A) DETECCION DE FUGAS (1.50 a 0.97)	
D) PANO DE EMERGENCIA (0.94 a 0.90)		B) ACCESO ESTRUCTURAL (0.91 a 0.97)	
E) CONTROL POR COMPUTADORA (0.85 a 0.95)		C) TANQUES SUBTERRANEOS (0.75 a 0.85)	
F) GAS INERTE (0.90 a 0.94)		D) SUMINISTRO DE AGUA (0.90 a 0.95)	
G) PROCEDIMIENTOS DE OPERACION (0.85 a 0.95)		E) SISTEMAS ESPECIALES (0.85)	
H) REVISION DE REACTIVOS QUIMICOS (0.85 a 0.94)		F) SISTEMAS DE ADECUADOS (0.40 a 0.94)	
PRODUCTO DE FACTORES POR C.P.		G) CORTINAS DE AGUA (0.95 a 0.97)	
$C_1 =$		H) ESPIUMA (0.87 a 0.98)	
2.- AISLAMIENTO DE MATERIALES		I) ESTINGUIDORES (1.92 a 0.97)	
A) VALVULAS DE CONTROL REMOTO (0.94)		J) PROTECCION A LINEAS ELECTRICAS (0.90 a 0.95)	
B) DESCARGAS A VEREDEROS (0.85 a 0.95)		PRODUCTO DE FACTORES POR P.C.F.	
C) SISTEMAS DE DERRAJES (0.85 a 0.95)		FACTOR DE SEGURIDAD DEFINITIVO $C_2 =$	
PRODUCTO DE FACTORES DE SEGURIDAD $C_2 = C_1 \times C_1' \times C_1''$			
<b>SUMARIO DE ANALISIS DE RIESGOS</b>			
A1) INDICE DON DE FUEGO Y EXPLOSION $F_M = F_2 \times F_2' \times F_2''$		C1) D.M.P.P. BASE (A) (A) B)	
A2) RADIO DE EXPOSICION $M = O \times F_0$		D) FACTOR DE SEGURIDAD DEFINITIVO	
A3) VALOR DEL AREA DE EXPOSICION $S_{M \times S \text{ DLS}} \text{ (E)}$		E1) D.M.P.P. CORREGIDO (C) (B)	
B) FACTOR DE DAÑO $F_3 = P \times F_0$		F) S.P.F.D	
FACTOR DE RIESGO DE LA UNIDAD		FACTOR MATERIAL	

APENDICE A

FACTOR MATERIAL (FM)

COMPUESTO	FM	Td gk	Hc BTU/lb x10 <sup>3</sup>	Clasific. NFPA			Punto de Fus. CC	Punto de Ebullic. °F
				Nh	Nf	Nr		
Acete Lubricante (Lube Oil)	4	(4)	19.0	0	1	0	350/400	
Acete Mineral	4		17.0	0	1	0	380	680
Acetaldehído	24	869	10.5	2	4	2	-36	70
Acetato de t-Amilo	16	705	14.4	1	3	1	77	300
Acetato de Amilo	16	659	14.6	1	3	0	89	249
Acetato de Bencilo	4	817	12.3	1	1	0	216	417
Acetato de Etilo	16	735	10.1	1	3	0	24	171
Acetato de Isopropilo	16	696	11.2	1	3	1	40	194
Acetato de Metilo	16	704	8.5	1	3	0	14	140
Acetato de Propilo	16	625	11.2	1	3	0	58	215
Acetato de Vnilo	16	841	9.7	2	3	1	19	161
Acetato de n-Butilo	16	715	12.2	1	3	0	72	260 (1)
Acetil Etilanilamina	14	770	9.4	1	1	1	355	
Acetil Tributilo Citrato	4	693	10.9		1	0	400	343
Acetileno	40	2894	20.7	1	4	4	Gas	-118
Acetona	16	774	12.3	1	3	0	0	134
Acetona Cyanohidrin	24	833	11.2	4	1	2	165	248
Acetonitrilo	24	975	12.6	3	3	2	42	179
Acido 3,5-Dicloro Salicilico	24	942	5.3	0	1	2		
Acido Acético	10	634	5.6	3	2	0	109	245
Acido Acetilsalicilico (P)		775	8.9	1	1	0		
Acido Acrilico	14	787	7.6	3	2	1	130	207
Acido Benzico	4	763	11.0	2	1	0	250	482 (1)
Acido Cianhidrico	29	2524	10.3	4	4	3	0	79
Acido Esteárico	4	528	15.9	1	1	0	385	726
Acido Fórmico	4	499	3.0	3	1	0	156	213
Acido Metacrilico	24	706	9.3	3	1	2	171	310
Acido Oléico	4	634	16.9	0	1	0	-372	432
Acido Peracético	40	1076	4.8	3	2	4	105	221
Acido Perclórico	29	1003	(2)	3	0	3		397
Acido Sulfúrico	21	305	6.5	3	4	0	Gas	-76
Acilamida	14	752	7.5	2	1	1		257
Acrilato de Butilo	24	775	14.2	2	2	2	120	293
Acrilato de Etilo	16	835	11.0	2	3	1	60	211
Acrilato de Metilo	24	859	18.7	2	3	2	27	176
Acrilonitrilo	40	1553	13.7	4	3	4	32	171
Acroleína	24	947	11.8	4	3	2	-15	125
Alcohol Alílico	16	828	13.7	4	3	1	70	206
Alcohol Benzílico	4	828	13.8	2	1	0	213	403
Alcohol Etilico	16	622	11.5	0	3	0	55	173
Alcohol Isobutilico	16	602	14.2	1	3	0	82	225
Alcohol Isopropilico	16	564	11.1	1	3	0	53	181
Alcohol Propargilico	24	1112	12.6	3	3	2	97	239
Alcohol Propílico	16	615	12.4	1	3	0	77	207
Alanina	16	838	15.4	3	3	1	-20	128
Amniaco	4	Endo	8.0	3	1	0	Gas	-28
Anhidrido Acético	24	793	7.1	4	2	2	129	284
Anhidrido Maléico	14	699	5.9	3	1	1	215	308
Anilina	14	821	15.0	4	1	1	158	384
Azufre	4	302	4.0	2	1	0		
Benceno	16	867	17.3	2	3	1	12	178
Benzaldehído	14	906	13.7	2	1	2	148	355
Benzina (Nafita)	16	(4)	10.0	1	3	0	28/85	212/350 (5)

COMPUESTO	FM	Td gK	Hc BTU/lb x10 3	Classific. NFPA			Punto de Flama GC gF	Punto de Eb. gF
				Nh	Nf	Nr		
Benzato de Etilo	4	800	12.2	1	1	0	204	414
Bifenol A	14	795	14.1	2	1	1	175	428
Bisulfuro de Carbono	16	755	6.1	2	3	0	-22	115 (5)
Borato de Metilo	16			2	3	1	80	156
Bromo	14	300	0.0	4	1	1		
Bromobenceno	14	918	8.1	2	2	1	174	313
Bromolufeno	14	865	8.5	2	1	1	174	359
Bromuro de Atilo	16	988	5.9	3	3	1	30	160
Bromuro de Butilo	16	668	7.6	2	3	0	65	215
Bromuro de Etilo	21	670	5.6	2	4	0	-4	100
Bromuro de Laurilo	4	830	12.9	1	1	0	291	355
Bromuro de Propargilo	40	2220	5.9	4	3	4	64	192
1-Bromodreno	29	991	19.2	2	4	3	Gas	24
Butano	21	633	19.7	1	4	0	Gas	31
Butanol (1-Alcohol Butilico)	16	700	14.3	2	3	0	84	243
1-Buteno	21	825	19.5	1	4	1	Gas	21
n-Butilamina	16	648	16.3	2	3	0	10	172 (5)
Butirato de Etilo	16	746	12.2	0	3	0	78	248
Carbonato de Dietilo	16	753	9.1	2	3	1	77	259
Carbonato de Etil Butilo	14	645	10.6	2	2	1	122	275
Carbonato de Etileno	14	769	5.3	2	1	1	290	351
Carbonato de Metilo	16	746	6.2	2	3	1	66	192
Carbono de Calcio	24	302	9.1	1	1	2		
Cianamida	29	1102	7.0	4	1	3	286	500
Ciclobutano	21	855	19.1	1	4	1	Gas	55
Ciclohexano	16	677	18.7	1	3	0	-4	179
Ciclohexanol	4	584	15.0	1	1	0	154	322
Ciclopropano	21	936	21.3	1	4	1	Gas	-29
Clorato de Bario	24		(2)	0	1	2		
Clorato de Potasio	29		(2)	7	0	3		752
Clorato de Sodio	24			1	0	2		
Clorato de Zinc	24		(2)	2	1	2		
Cloro	14	301	0.0	3	1	1		
1-Cloro 1-Nitroetano	40	1165	3.5	1	2	4	133	344
Cloroacetato de Metilo	14	768	5.1	2	2	1	122	268
Clorobenceno	24	936	10.9	2	3	2	84	270
1-Clorobutano	16	701	2.0	2	3	0	15	170 (5)
Cloroestireno	24	986	12.5	2	1	2		
Clorofenol	14	881	9.2	3	1	1	147	347
Cloroformato de Etilo	16	842	5.2	2	3	1	61	201
Cloroformo	1	683	1.5	2	0	0		142
Clorametil Etil Eter	14	860	5.7	2	1	1		
Cloropirrina	29	1827	0.7	4	0	3		234
Cloropropano	21	689	10.1	2	4	0	-26	95
Cloruro de Acetilo	16	741	2.5	3	3	0	40	124
Cloruro de Atilo	29	912	9.7	4	3	3	-25	113
Cloruro de Aluminio	24		(2)	3	0	2		(3)
Cloruro de Azufre	14	302	1.8	2	1	1	245	280
Cloruro de Bencilo	14	886	12.6	3	1	1	153	354
Cloruro de Cloracetilo	14	894	2.5	3	0	1		222
Cloruro de Etilo	21	701	8.2	2	4	0	-58	54
Cloruro de Isobutilo	16	592	11.4	2	3	0	70	156
Cloruro de Isopropilo	21	545	10.0	2	4	0	-26	95
Cloruro de Metileno	14	1072	2.3	2	1	1	80	104
Cloruro de Metilo	21	744	5.5	2	4	0	Gas	-11

COMPUESTO	FM	Td gK	Hc			Classific. NFPA			Punto de Fuego CC of	Punto de Ebul. of
			BTU/lb x10 3	Nh	Nf	Nr	Flame of			
Cloruro de Propilo	16	613	10.0	2	3	0	0	111	99	
Cloruro de Vinilideno	24	1808	4.2	2	4	2	0	7	340/420	
Cloruro de Vinilo	21	1448	8.0	2	4	1	Gas	554	306	
Combustible (Fuel Oil) #1-B	10	(4)	18.7	0	2	0	100/150	340/420	554	
Cumarrin	24	897	12.0	2	1	2		111	306	
Cumeno	10	759	18.0	2	2	0		90	342	
Diciclohexadieno	24	990	17.9	1	3	2		150	345	
Diclorobenceno	29	1145	8.1	2	1	3		225	138	
Dicloroetileno	24	1143	9.3	2	1	2		43	141	
1,1-Dicloroetano	16	847	4.5	2,0	3	1		95	219	
1,2-Dicloroetileno	40	1785	6.9	2	3	4		58	183	
1,3-Dicloropropano	24	1225	6.3	2	3	2		60	205	
Dicloruro de Etileno	16	724	4.6	2	3	0				
Dicloruro de Propileno	16	642	6.3	2	3	0				
Dicromato de Sodio	14			1	0	1				
Diesel	10	693	18.7	0	2	0	100/130	315	514	
Dietanolamina	14	707	10.0	1	1	1		305	495	
Dietil Eter	21	761	14.5	2	4	0		-49	95	
Dimetilamina	16	603	16.5	2	3	0		134	358	
Dietilbenceno	10	738	18.0	2	2	0		133	472	
Dietilen Glicol	4	770	8.7	1	1	0		255	495	
Difil A	14	912	14.0	1	1	1		305	575	
Difil G	14	916	15.4	1	1	1		145	358	
Difil J	4	739	17.8	1	1	0		23	210	
Disobutileno	16	734	19.0	1	3	0		170	401	
Diisopropilbenceno	4	713	17.9	0	1	0		98	237	
2,2-Dimetil Propanol	18	725	14.8	2	3	0		Gas	45	
Dimetilamina	21	792	15.2	3	4	0		302	604	
Dinitrobenceno	40	1851	7.2	3	1	4				
2,4-Dinitrofenol	40	1476	6.1	3	1	4				
p-Dioxano	16	813	10.5	2	3	0		54	211	
Dioxido de Azufre	1	302	0.0	2	0	0	Gas		12	
Dioxido de Cloro	40	1766	0.7	3	1	4				
Dioxolano	24	911	9.1	2	3	2		35	165	
Dipropilen Glicol	4	749	10.8	0	1	0		280	449	
Divinil Acetileno	29	1690	18.2	1	3	3		-4	183	
Divinil Benceno	24	1038	17.4	1	1	2		169	392	
Divinil Eter	24	1050	14.5	2	3	2		-22	101	
Dowtherm 30 LF	14	884	16.0	1	1	1		260	507	
Dowtherm A	14	912	14.0	1	1	1		255	495	
Dowtherm G	14	916	15.4	1	1	1		305	575	
Dowtherm J	4	739	17.8	1	1	0		145	358	
Epiclohidrina	24	974	7.2	3	2	2		105	239	
Estearato de Bario	4	374	8.9	0	1	0				
Estearato de Zinc	4	538	10.1	0	1	0				
Estireno	24	993	17.4	2	3	2		90	295	
Etileno	21	597	20.4	1	4	0	Gas	-109		
Etilanolamina	4	660	9.5	2	1	0		185	342	
Eter Butilico	16	686	16.3	2	3	0		77	286	
Eter Divinilico	24	1050	14.5	2	3	2		-22	102	
Eter Etil Propilico	16	748	15.2	1	3	0		-4	147	
Eter Etilen G Dimetilico	10	674	11.6	2	2	0		104	174	
Eter Etilico	21	761	14.4	2	4	0		-49	95	
Eter Isopropilico	16	712	15.6	2	3	1		-18	156	
Eter Metilico	21	844	12.4	2	4	1	Gas	-11		

COMPUESTO	FM	Td g/K	Hc BTU/lb x10 <sup>3</sup>	Clasific. NFPA			Punto de Flama (C gF	Punto de Eb. gF
				Nh	Nf	Nr		
Eter Propilico	18	699	15.7	1	3	0	70	104
Eter Vinil Ailico	24	950	15.5	2	3	2	68	153
Eter Vinil Bulilico	24	807	15.4	2	3	2	15	202 (1)
Eter Vinil Eilico	21	880	14.0	2	4	1	-50	98
Eter alilico	24	994	16.0	4	3	2	20	203
Etil Benceno	16	830	17.6	2	3	0	59	277
Etil Butil Amina	16	860	17.0	3	3	1	64	232
2-Etil Hexanal	14	691	16.2	2	1	1	105	359
Etil Mercaplano	21	522	12.7	2	4	0	80	95
Etilamina	21	740	16.3	3	4	0	10	62
Etilen Diamina	10	708	12.4	3	2	0	110	241
Etilen Glicol	4	693	7.3	1	1	0	232	387
Etilenimina	29	1092	13.0	3	3	3	12	132
Etileno	24	1005	20.8	1	4	2	Gas	-155
Fenol	4	822	13.4	2	1	0	175	358
Fluor	29			4	0	3		-310
Fluorobenceno	24	992	13.4	2	3	2	5	185
Formaldeido	21	987	8.0	2	4	2	Gas	-3
Formalido de Etilo	16	788	8.7	2	3	0	-4	130
Formiato de Metilo	21	814	6.4	2	4	1	-2	90
Fuel Oil #1 a 6	10	(4)	18.7	0	2	0	100/150	340/420
Furano	21	838	12.6	1	4	1	32	88
Gasavi6n (Jet Fuel AyJP-4)	16		21.7	0	3	0	10	
Gasavi6n (Jet Fuel AyJP-5,6)	10		21.7	0	2	0	105	
Gasolina	16	691	18.8	1	3	0	-45	100/400
Glicerina	4	684	6.9	1	1	0	320	554
Glicolnitrilo	14	892	7.6	1	1	1		
Heptano	16	587	19.2	1	3	0	32	194
Hexacloro Butadieno	14	626	2.0	2	1	1		410
Hexanal	16	620	15.5	2	3	0	90	268
Hexano	16	581	19.2	1	3	0	-7	156
Hidracina	40	1338	7.2	3	3	4	100	235
Hidrogeno	21	301	51.6	0	4	0	Gas	-222
Hidroperoxido de l-Butilo	24	910	11.9	1	3	2	180	
Hidroxiimina	29	2000	3.2	1	3	3	(5)	158
Hidroxiperoxido de Cumeno	29	989	13.7	1	2	3	175	
Hidruro de Sodio	24			3	3	2		
Isobulano	21	609	19.4	1	4	0	Gas	11
Isobutil Amina	16	558	15.2	2	3	0	15	150
Isoptenano	21	626	21.0	1	4	0	-60	82
Isoptreno	21	885	18.9	2	4	1	-65	90
Isoptropenil Acetileno	24			2	4	2	19	92
Isoptropil Amina	21	549	15.5	3	4	0	-35	89
Jet Fuel A y JP-4	16		21.7	0	3	0	10	
Jet Fuel A y JP-5,6	10		21.7	0	2	0	105	
Lauril Mercaplano	4	671	16.8	2	1	0	262	289
Magnesio	14	290	10.6	0	1	1		
Metacrilato de Metilo	24	854	11.9	2	3	2	50	212
Metano	21	298	21.5	1	4	0	Gas	-259
Metanol	16	691	8.8	1	3	0	52	147
Metil Acetileno	40	1816	20.0	2	4	4	Gas	-10
Metil Amina	21	767	13.2	3	4	0	Gas	71
Metil Celulosa	10	789	6.5	0	1	0		
Metil Ciclohexano	16	660	19.0	2	3	0	25	214
Metil Ciclopentadieno	14	919	17.4	1	2	1	120	163

COMPUESTO	FM	Td °K	Hc BTU/lb x 10 <sup>3</sup>	Clasific. NFPA			Punto de Fusión °C	Punto de Ebul. °F
				Hh	Nf	Nr		
Metil Estireno	14	865	17.5	2	2	1	134	342
Metil Etil Cetona (MEK)	16	688	13.5	1	3	0	21	176
Metil Hidracina	24	1022	10.9	3	3	2	80	190
Metil Isobutil Cetona	16	506	16.6	2	3	0	73	244 (5)
Metil Mercaptano	21	680	10.0	2	4	0		42
Metil Vinil Cetona	24	908	13.4	2	3	2	20	177
2-Metilpropenal	24	1110	15.4	3	3	2	-40	142
Mono Cloro Benceno	16	936	11.3	2	3	1	84	270
Munclanolanina	4	660	9.6	2	1	0	200	338
Monóxido de Carbono	16	1038	4.3	3	3	1	Gas	-314
Nafta	16	(4)	18.0	1	3	0	28/85	212/350
Naftaleno	14	860	16.7	2	1	1	174	424
Nitrato de Amilo	24	1128	11.5	1	2	2	125	305
Nitrato de Amonio	29	3248	6.0	2	0	3		410
Nitrato de Butilo	29	406	11.1	1	3	3	97	277
Nitrato de Etilo	40	2004	6.4	2	3	4	50	190
Nitrato de Potasio	29	(2)	1	0	3			752
Nitrato de Propilo	29	1079	7.4	2	3	3	68	231
Nitrobenzeno	24	1341	10.4	3	1	2	190	412
Nitrobifenilo	14	1037	12.7	2	1	1	290	626
Nitroclorobenceno	29	1764	7.8	3	1	3	261	457
Nitroetano	24	1161	7.7	1	3	2	82	237
Nitrogliserina	40	2895	7.8	2	1	4	(5)	
Nitrometano	40	2021	5.0	1	3	4	95	214
Nitropropano	29	1046	9.7	1	2	3	103	248
2-Nitrotolueno	29	1112	11.2	1	1	3	223	460
Octano	16	593	20.5	0	3	0	56	258
Octil Mercaptano	10	672	16.5	2	2	0	115	318
Oxido de Butileno	24	883	14.3	3	3	2	5	149
Oxido de Difensilo	14	906	14.9	1	1	1	239	498
Oxido de Etileno	29	1062	11.7	2	4	3	10	51
Oxido de Hexacloro-Difensilo	29	1026	5.5	2	1	2		434
Oxido de Penlametileno	16	742	13.7	2	3	1	-4	178
Oxido de Propileno	21	948	13.2	2	4	1	-35	95
Pentano	21	645	19.4	1	4	0	-40	97
Peracolato de t-Butilo	40	875	10.8	2	3	4	100	
Perbenzoato de t-Butilo	40	905	12.2	1	2	4	>190	
Perclorato de Potasio	24	(2)	1	0	2			
Perclorato de Potasio	24	357	0.0	1	0	2		
Perclorato de Sodio	24			2	0	2		
Peróxido de Acetilo	40	983	6.4	1	2	4		
Peróxido de Bencilo	40	971	12.0	1	3	4		
Peróxido de Di-tert-Butilo	29	950	14.5	1	3	3	70	
Peróxido de Dicumilo	29	1040	15.4	0	1	3		
Peróxido de Dielilo	40	988	12.2	0	4	4	(5)	
Peróxido de Hidrógeno (35%)	24	1144	(2)	2	0	2		(6)
Peróxido de Laurilo	40	1613	25.0	0	1	4		(6)
Peróxido de Potasio	24	(2)	3	0	2			(6)
Peróxido de Sodio	24		3	0	2			(6)
Peróxido de t-Butilo	29	850	14.5	1	3	3	64	176 (6)
Petroleo Crudo	16		21.3	1	3	0	20/90	(6)
2-Picolina	14	860	15.0	2	2	1	102	262
Piridina	24	978	5.9	2	3	2	68	239
Potasio	24			3	1	2		1418
Propanal	16	786	12.5	2	3	1	15	120

COMPUESTO	FM	Td °K	Hc BTU/lb x10 <sup>3</sup>	Clasific. NFPA			Punto de Fus. °C °F	Punto de Ebul. °F
				Nh	Fl	Ir		
Propano	21	628	19.9	1	4	0	Gas	-44
Propil Benceno	16	752	17.3	2	3	0	86	319
Propilamina	16	651	15.8	3	3	0	-35	120
1,6-Propilen Diamina	16	776	15.6	2	3	0	75	276
Propilen Glicol	4	619	9.3	0	1	0	210	370
Propileno	21	866	19.7	1	4	0	Gas	-53
Propionitrilo	16	903	15.0	4	3	1	36	207
Sodio	24			3	1	2		
Sulfito Acido de Sodio	24			3	1	2		
Tetraclorobenceno	4	789	4.7	0	1	0	311	475
Tolueno	16	859	17.4	2	3	0	40	231
Tributil Amina	4	645	17.8	2	1	0	187	417
Triclorobenceno	29	1400	8.2	2	1	3	210	413
1,1,1-Tricloroetano	24	1126	3.1	2	1	2		165
Tricloroetileno	14	849	2.7	2	1	1		189
Tricloroamina	14	752	10.1	1	1	1	355	650
Tricetil Aluminio	29	681	18.9	2	3	3	-63	381
Tricetil Amina	16	702	17.8	2	3	0	20	193
Tricetil Glicol	4	797	9.3	1	1	0	350	550
Tricisobutil Aluminio	29	563	18.9	2	3	3	32	238
Tricisopropil Benceno	16	685	18.1	2	3	1		
Trimetil Aluminio	29	525	16.5	2	3	3	32	259
Trimetil Amina	21	792	18.2	2	4	0	Gas	38
Tripropil Amina	10	685	17.8	2	2	0	105	313
Vinil Acetileno	40	2317	19.5	1	4	4		41
Vinil Ciclohexano	16	876	19.0	2	3	1	61	266
Viniltolueno	14	915	17.5	2	2	1	127	349
Xileno	16	817	17.6	2	3	0	81	292

## ANEXILLO B

### MEDIDAS BASICAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN

1. Suministro adecuado de agua contra incendio.
2. Diseño estructural de recipientes, tuberías, soportería, etc.
3. Dispositivos de alivio de sobrepresión.
4. Resistencia a la corrosión.
5. Separación de reactivos en líneas de proceso.
6. Aterrizaje de equipo eléctrico.
7. Localización segura del suministro de corriente.
8. Protección contra pérdida de servicios.
9. Instrumentación fallo segura.
10. Acceso libre a vehículos de emergencia a los áreas.
11. Drenajes de capacidad suficiente.
12. Aislamiento de superficies calientes.
13. Apoyo al NED.
14. Limitación de los dispositivos de vidrio y juntas de expansión.
15. Separación de áreas peligrosas.
16. Protección a racks de tubería y cableado.
17. Suficientes válvulas de bloqueo.
18. Protección a torres de enfriamiento.
19. Protección a equipos calentados por fuego directo.
20. Clasificación eléctrica del equipo eléctrico adecuado.
21. Cuartos de control aislados y protegidos.



## ANEXOS

### LISTA DE VERIFICACION PARA INGENIEROS DE SEGURIDAD Y DE PROYECTO

#### A. LOCALIZACION

1. Accesibilidad
2. Tráfico
3. Estacionamiento
4. Areas libres
5. Drenajes
6. Colas y caminos
7. Accesos
8. Luz cut

#### B. EDIFICIOS

1. Frenado de viento, carga de piso, diseño contra terremotos
2. Material de techos, anclaje
3. Venteo en techos; drenes; dispersión de agua
4. Cubos de escaleras, rampas
5. Elevadores y descensos
6. Paredes contra fuego; aberturas y puertas contra incendio
7. Alivio de explosión
8. Salidas de emergencia; identificación
9. Control de
10. Ventilación
11. Pararrayos, rod de tierras
12. Cilindros
13. Cuarto de lockers, ventilación
14. Drenaje interior y exterior
15. Recubrimiento contra fuego al acero estructural
16. Escaleras exteriores
17. Resistencia al subsuelo

#### C. RED DE AGUA Y ROCIADORES

1. Suministro de agua
2. Sistema de tubería
3. Hidrantes
4. Rociadores
5. Tanques y tuberías para edificio
6. Extintores
7. Sistemas especiales de extinción
8. Sistemas especiales de protección

#### **4. ELECTRICIDAD**

1. Clase de riesgo
2. Acceso a circuitos e interruptores críticos
3. Soldas polarizados y sistemas de tierras
4. Interruptores equipo crítico
5. Iluminación
6. Teléfonos
7. Sistema de distribución eléctrica
8. Tubos conduct-corrosión
9. Protección a motores y circuitos
10. Tipo y localización de transformadores
11. Controles de falla segura
12. Cargas críticas
13. Interlocks clave para seguridad
14. E:posición de las líneas a fuego

#### **E. DRENAJES Y DESECHOS**

1. Océfico
2. Sanitario
3. Pluvial
4. Tratamiento de aguas
5. Trancheros
6. Disposición de desechos

#### **F. ALMACENAMIENTO**

1. Accesibilidad, radiadores, espaciamiento, carga de piso, altura de estibas, hileras, venteos.
2. Líquidos y gases inflamables, polvos y mezclas peligrosas: sistemas cerrados, aladíferos seguros, radiadores, venteos y alturas de emergencia, flare, drenajes, ventilación, tanques y silos, diques, sistemas especiales, refrigeración.
3. Materias primas: clasificación de riesgo, instalaciones de recepción y almacenaje, separación de materiales, purezas.
4. Producto terminado: identificación, separación de materiales peligrosos, protección contra contaminación, etiquetado, ruta de rebargos peligrosos, hoja de material, contenedores.

#### **G. GAS INERTE**

1. Considerando materias primas, intermedios, productos, almacenamiento, manejo y proceso.

#### **H. MANEJO DE MATERIALES**

1. Fuente de carga y descarga
2. Montacargas
3. Atterrizaje
4. Transportadores y conveyors
5. Área de almacenos
6. Almacenamiento de inflamables
7. Almacenamiento de materiales reactivos o explosivos
8. Eliminación de desechos

## I. MAQUINARIA

1. Accesibilidad, mantenimiento y operación
2. Interruptores de emergencia
3. Monitoreo de vibración

## J. FUGA DE

1. Dinámico riesgo de fuego y a la salud
2. Presiones y temperaturas críticas
3. Dispositivos de alivio
4. Material de recipientes y tuberías
5. Método de manejo de reacciones
6. Sistemas de protección flujos
7. Ventilación
8. Sistemas de limpieza
9. Bañeros contra explosión y aislamiento
10. Gas inerte
11. Faros de emergencia
12. Recubrimiento contra el fuego a elementos estructurales
13. Dispositivos de seguridad de equipos de intercambio de calor
14. Juntas de expansión
15. Trazo de vapor
16. Aislamiento de partes calientes
17. Aterrizajes
18. Mantenimiento y limpieza de recipientes de proceso
19. Control de corrosión
20. Identificación de líneas
21. Riesgos por radiación ionizante
22. Instrumentación redundante

## K. EQUIPO DE SEGURIDAD

1. Enfermería
2. Ambulancia
3. Carro de bomberos
4. Alarma de emergencia
5. Sirenas y chicharras
6. Tratamiento de desechos
7. Equipo contra hielo y nieve
8. Rasquetas lavavojos
9. Escaleras seguras
10. Localización del equipo de emergencia
11. Campanas en laboratorios
12. Casos de mangueras
13. Analizadores y detectores
14. Sistemas de comunicación
15. Guardas
16. Protección de combustión
17. Válvulas de corte de gas

CUADRO COMPARATIVO DE LAS TECNICAS DE IDENTIFICACION DE PELIGROS Y EVALUACION DE RIESGOS.

SIGLAS	METODOS	CONCEPTOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>MÉTODOS EN LA EXPERIENCIA</b>				
	Periódico y boletines de seguridad.	Despierta el interés, su objetivo es evitar la constante repetición de accidentes similares.	Se comparte la experiencia evitando accidentes e incidentes similares.	Solamente es útil como un suplemento y no como un sistema o técnica por sí mismo.
	Estándares de Diseño, control fuerte, centralización.	Usando los estándares de diseño, mantenemos records muy cuidadosos y un fuerte control de los mismos.	Efectivo y económico cuando un gran número de unidades similares están involucradas. Evita la repetición de accidentes similares a causa de una buena retro-alimentación en el diseño.	No da buenos resultados si no se detecta a tiempo la falta y no se corrigen los estándares.
	Revisiones con Equipos multidisciplinarios para chequeos de seguridad.	Debido a la variedad de integrantes nos da una vista objetiva del sistema disminuyendo el número de puntos ciegos.	Evita problemas que se pudieran pasar por alto si solamente hubiera un tipo de integrantes y no de varias áreas. Es simple, barato y se requiere un mínimo de entrenamiento.	Ninguno si se aplica adecuadamente.
	Chequeos de Seguridad preguntando: ¿Qué pasa si..?	Se hace la pregunta ¿Qué pasa si..? en cada etapa del proceso para determinar el efecto de fallas en el equipo o errores de operación.	No se requiere un entrenamiento especial para conocerlo, puede usarse en todo el proceso o en porciones dependiendo de la complejidad del mismo.	Solamente es útil como panorama general. En procesos complejos nos lleva a un mejor entendimiento del proceso y ramificaciones. No es tan efectivo para detectar peligros remanentes.
	Análisis preliminar riesgos.	El sistema identifica y define los elementos para un posterior análisis con otras técnicas.	Establece fácilmente los pasos a seguir.	Ninguno si se usa adecuadamente.
<b>ANÁLISIS SISTEMÁTICO</b>				
	Arboles lógicos en general.	Establecen las relaciones lógicas y los posibles "Efectos Dominó", relativamente fáciles de cuantificar.	Útil como una ayuda en las decisiones cuando son cuantificadas.	

CUADRO COMPARATIVO DE LAS TECNICAS DE IDENTIFICACION DE PELIGROS Y EVALUACION DE RIESGOS.

SIGLAS	DESCRIPCION	VENTAJAS	DESVENTAJAS
	Análisis de árbol de fallas	Comienza con un evento tope y — termina con la combinación de todas las posibles causas y fallas.	Técnica muy aceptada. Apropia para relacionar fallas mostrando los posibles caminos que las originan.
	Análisis de árbol de eventos.	Comienza con el evento iniciador y elimina los eventos secuenciales. Su estructura es en dirección opuesta al árbol de fallas.	Puede identificar a nivel grueso los efectos de las secuencias y las consecuencias de falla.
	Análisis de fallas, causa, efecto.	Examina todos los modos de falla de cada uno de los componentes de un sistema. Orientado a equipos.	Bien aceptado. Estandarizado convenientemente, no controversial, pocas matemáticas y fácil de comprender.
	Análisis de causa — consecuencia. (Diagramas causa — consecuencia)	Establecen relaciones lógicas de los posibles efectos Dominó. Relativamente fáciles de cuantificar. Es una combinación de árbol de fallas y árbol de eventos.	Útil para toma de decisiones cuando son cuantificados en la evaluación de peligro aunque estos ya se hayan identificado. Identifica la combinación de fallas que nos lleva al evento no deseado. Puede ser usado como base para la evaluación de peligros al adicionar probabilidades.
	Listas analíticas de verificación.	Fáciles de aplicar, nos ayudan a identificar la mayoría de los "peligros estándares".	Útiles como panorama general. No cubren todos los puntos específicos.
SISTEMAS	ANÁLISIS		
	Lluvia de Ideas. (Brainstorming)	Se identifican todas las causas y todas las maneras de las posibles fallas ya sean o no variables y se seleccionan las adecuadas.	No es costoso, es rápido, puede ayudar a la sinergia del equipo, pueden dar como resultado la creación de nuevos conceptos o ideas o perspectivas en problemas de seguridad. Es usado generalmente como complemento de otros métodos más que como un método por sí solo. No todas las opciones que se plantean son viables y pueden des-

CUADRO COMPARATIVO DE LAS TECNICAS DE IDENTIFICACION DE PELIGROS Y EVALUACION DE RIESGOS.

CLAS	METODO	CARACTERISTICAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
	<p>Estudios de riesgo y operabilidad. (Palabras Guía)</p> <p>Estudio de riesgo y operabilidad. (Lista de verificación de Peligros).</p>	<p>Estudia los efectos y cambios de posibles fallas en sistemas grandes mediante la aplicación de Palabras Guía. Puede incluir la causa y efecto como extensión del análisis de fallas, causa, efecto.</p> <p>Son una serie de preguntas que identifican los peligros más comunes.</p>	<p>Recomendable para plantas químicas y sistemas amplios. Nos ayuda a entender las posibles desviaciones, nos da un panorama desde un punto de vista operativo y de diseño. Detecta peligros que podrían ser omitidos si el equipo revisor fuera únicamente de un área de estudio. Útil como chequeo secundario o final.</p> <p>Se puede aplicar en casi cualquier etapa de desarrollo u operación del proceso. Relativamente rápido. Ayuda en proyectos mayores. Establece parámetros administrativos principales para el detalle del diseño. Puede evitar la creación de detalles no viables, o un diseño innecesario.</p>	<p>viarse de la realidad y del objeto de estudio.</p> <p>No está bien estandarizada, requiere el apoyo de otra técnica. Los miembros del equipo deben asistir a cursos para su aplicación. Algunas veces identifican peligros causados por interacciones entre partes de la unidad que están separadas desde el punto de vista de proceso.</p> <p>Se usa como complemento del HAZOP de palabras guía o de otros métodos. Puede llegar a tener una aplicación tediosa y mecánica.</p>
<b>PROCEDIMIENTOS DE EVALUACION CUALITATIVA</b>				
	<p>Indice DOW</p> <p>Indice MOND.</p>	<p>Es un procedimiento para medir el daño probable que puede darse en un proceso de una planta.</p> <p>Es una extensión del Índice DOW, permite calcular índices por separado y combinarlos para dar un índice total que represente el peligro.</p>	<p>Útil para etapas primarias o finales del diseño del proceso o para asignar rangos o valores a los peligros en una planta existente.</p> <p>Es una expansión del índice DOW que incluye materiales tóxicos así como tratamiento durante las actividades de almacenamiento y manejo. No toma en cuenta las causas del peligro.</p>	<p>Provee un rango relativo de los peligros.</p> <p>Provee un rango relativo de peligro.</p>

CUADRO COMPARATIVO DE LAS TECNICAS DE IDENTIFICACION DE PELIGROS Y EVALUACION DE RIESGOS.

3  
0  
1

SIGLAS	METODO	CARACTERISTICA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
	Asignación rápida de rangos.	Establece prioridades en los peligros para costos de la magnitud del riesgo.	Ayuda a la administración en definir los puntos en los que al aplicar los recursos obtenemos mayor beneficio.	Debe ser únicamente aplicado por un ingeniero de gran experiencia. Sólo se enfoca a ciertos factores técnicos.
	Análisis de criticidad.	Identifica el rango de los componentes y forma ascendente de un sistema.	Técnica bien estandarizada, fácil de entender y aplicar, no requiere matemáticas.	Frecuentemente no toma en cuenta factores humanos, — causas comunes de falla e interacciones entre sistemas.
PROCEDIMIENTOS DE EVALUACION ANALITICA				
	Análisis de falla por el método de causas y efectos.	Metodología que parte de consecuencias o peligros y nos lleva a las causas o incidentes. La probabilidad y las consecuencias de cada falla específica son determinadas y comparadas.	Procedimiento muy completo para fallas individuales.	No fácilmente se pueden asignar combinaciones de fallas.
	Análisis por el árbol de fallas.	Descripción sistemática de los eventos a partir de los cuales se originan los peligros; es decir, es una metodología que identifica los eventos y nos lleva por medio de ramas hasta las causas últimas. Es una representación gráfica de las interrelaciones de las causas básicas que pueden resultar en un accidente no clásico del sistema.	Identifica y evalúa cuantitativamente el impacto de las fallas y sus posibles combinaciones; y nos lleva a obtener los eventos máximos. Además nos da un rango cuantitativo de varias alternativas junto con información o documentación útil para referencias futuras.	Arboles complicados y difíciles de entender, requiere matemáticas y puede complicar el seguimiento lógico de los diagramas.
	Análisis por el árbol de eventos.	Parte de peligros o consecuencias últimas y nos lleva a encontrar sus causas.	Provee información tanto en caminos o ramas que nos llevan al éxito como los que nos llevan a fallas. Útil para examinar fallas de mayor significado. Nos da la documentación útil	Limitación en caso de secuencias paralelas. No apropiado para análisis detallado.

CUADRO COMPARATIVO DE LAS TECNICAS DE IDENTIFICACION DE PELIGROS Y EVALUACION DE RIESGOS.

SIGLAS	METODO	CARACTERISTICAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
	Magnitud del riesgo.	Examina el riesgo a través de la probabilidad, exposición y consecuencias. Asiste a tomar medidas en términos de costos y de la magnitud del riesgo.	para referencias futuras. Es un sencillo modelo matemático que dispone de valores pre-establecidos para el cálculo. Muestra justificación económica.	La interpretación depende del criterio en la asignación arbitraria de los valores. Requiere de análisis económico y contable.



### CAPITULO III

El proceso presentado está diseñado para producir latex de polibutadieno (PBD) por medio de una polimerización en una emulsión batch con una capacidad de 5000 Ton/año. Dos reactores de 26.6 metros cúbicos (líquido), operan en paralelo, proveen en la capacidad de diseño al 95% en la conversión de polibutadieno y 85% en el factor de operación. El sistema de soporte incluye la purificación de polibutadieno y materias primas haciendo que el sistema sea diseñado para mantener la capacidad .

Las áreas bajas del proceso del reactor homogenizan y purifican. Los tanques con agitación , los tanques intermedios de almacenamiento , los tanques de almacenamiento masivo, y un sistema de alivio, son provistos para una operación uniforme y segura. La instrumentación está diseñada para proveer una mezcla entre las operaciones automáticas y manuales de proceso.

Se anexan el diagrama de bloques, el de flujo y el de tubería e instrumentación del proceso y el plano de localización para facilitar la comprensión y descripción del mismo.

#### PMF- 2007

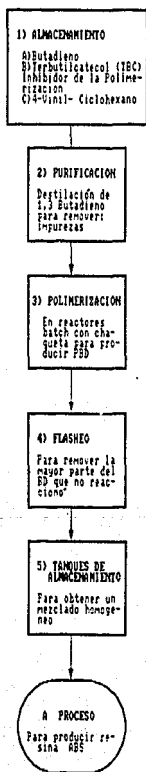
El latex de polibutadieno resulta de la polimerización de butadieno con la ayuda de varias soluciones químicas que actúan como reguladores y activadores de la reacción. El butadieno proveniente de tanques de almacenamiento que contienen un inhibidor de la polimerización, Para Terbutil Catecol (TBC), y una impureza, 4 vinil-L-ciclohexano (4-VCH), los cuales requieren ser parcialmente removidos antes de que ocurra una polimerización. Se prosigue con una destilación continua de alimentación de butadieno a  $1.75 \text{ Kg/cm}^2$  (25 psig de presión) a través de una columna empacada con secciones de purificación y rectificación que producen un destilado del 99.7% de butadieno, 0.02% de TBC, y 0.20% VCH, adecuado por polimerización. El destilado es acumulado en tanques de carga para procesos batch a los reactores PBD. Los fondos de la columna operan a  $85 \text{ }^\circ\text{C}$  y contienen 18.5% de butadieno, 6.6% de TBC, 70.1% de VCH y 4.8% de  $\text{H}_2$  son extraídos y enviados a un tanque principal de almacenamiento.

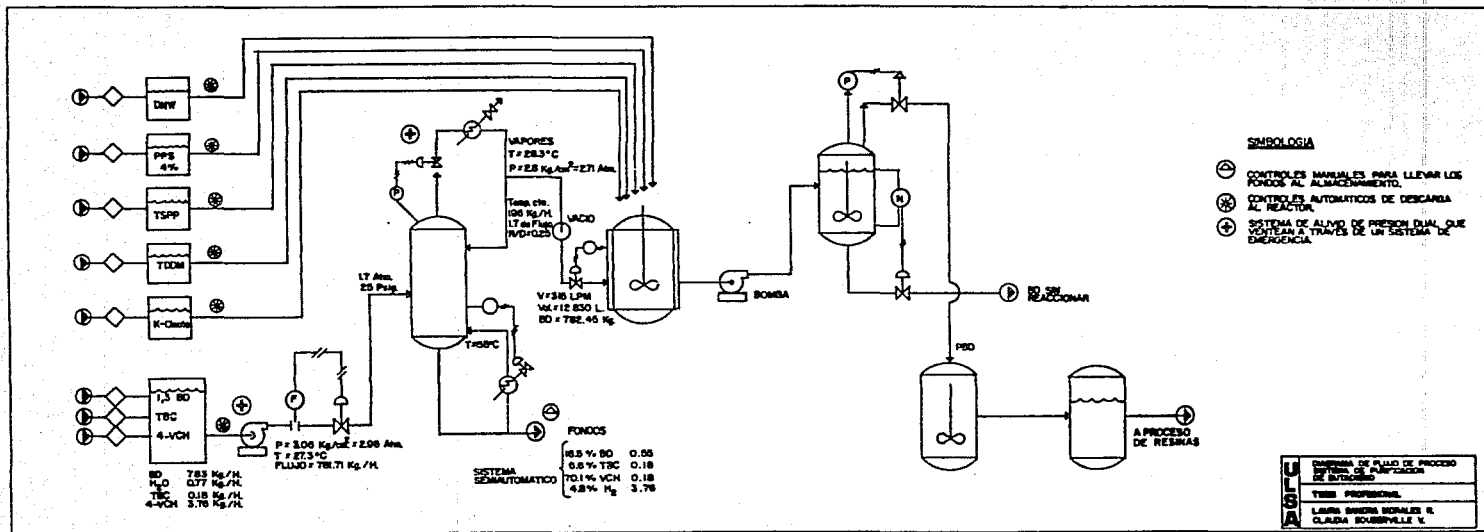
#### PMF- 2001

Se requieren muchas soluciones químicas como soporte y apoyo para la polimerización de butadieno, estas soluciones

## PROCESO DE PURIFICACION DE BUTADIENO

### DIAGRAMA DE BLOQUES





son agregadas manualmente por lotes, previo al reactor de PBD. Las soluciones requeridas son las siguientes:

1) Solución de persulfato de potasio al 4% (PPS al 4%). A los tambores que contiene el PPS en estado sólido se les agrega agua desmineralizada y se agitan hasta una disolución total.

2) Una solución de pirofosfato tetrasódico (TSPP). La sal es agregada a tanques contenedores con la cantidad suficiente de agua desmineralizada, y se agitan hasta una disolución total.

3) Una emulsión de oleato de potasio (K-oleato) contiene un exceso de KOH en agua desmineralizada. Esta solución es formada por la adición de ácido oléico a una solución de KOH al 45% y la cantidad adecuada de agua desmineralizada.

La fracción de peso final de la solución es:

KOH	0.757%
K-oleato	14.243%
agua	85.00%

Otro químico el Ter-duodecil mercaptano (TDDM) es usado en la reacción de polimerización. Este material es líquido por lo que se bombea a la alimentación del tanque antes de la carga al reactor de PBD.

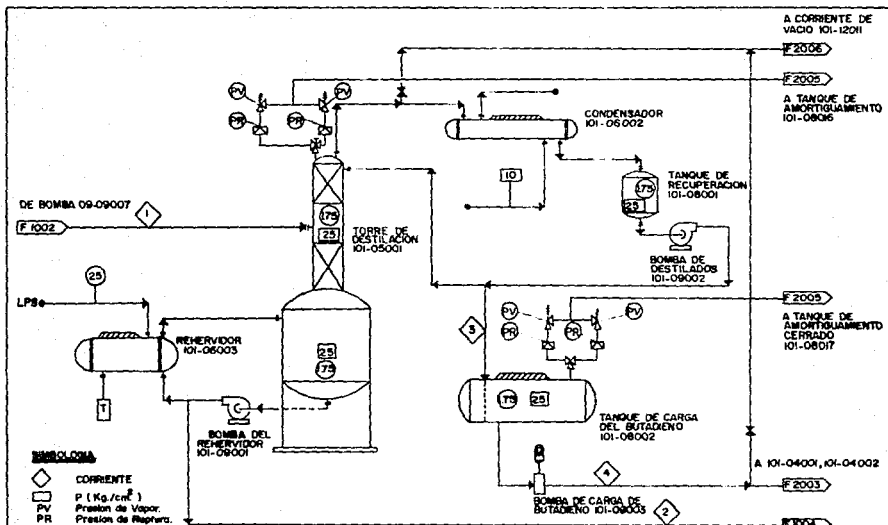
PMF - 2003

Se operan en paralelo dos reactores de PBD de 26.6 m<sup>3</sup> para producir 7426 Kg. de PBD por reactor. Cada reactor contiene un agitador con doble sello mecánico y lubricación de glicerina/presurizando el sello del fluido, cada reactor también contiene una chaqueta y 6 cambiadores de calor como baffles internos. Un control de temperatura en el reactor proporciona un recirculado de agua adecuado a los baffles y en la chaqueta. Las trazas de vapor (HPS), el agua fría (CWS), o agua refrigerada a 10 °C (RWS) son introducidas en la recirculación de la chaqueta/baffle para mantener la reacción de temperatura.

Antes de cargar, se establece un vacío de 250 Torr en el reactor para evacuar la mayor cantidad de aire en el sistema. Cuando esto se ha cumplido, pueden cargarse al reactor el agua desmineralizada, la solución de PPS al 4%, la solución de TSPP al 5%, la solución de k-oleato al 15%, el TDDM, y el butadieno purificado. Cada ciclo del reactor, de carga a carga, es de 20.5 horas produciendo latex de PBD al 95% de la conversión de butadieno.

PMF - 2006

Después de que la reacción se ha completado, el contenido del reactor se bombea a un tanque flash donde una



**LEYENDA**

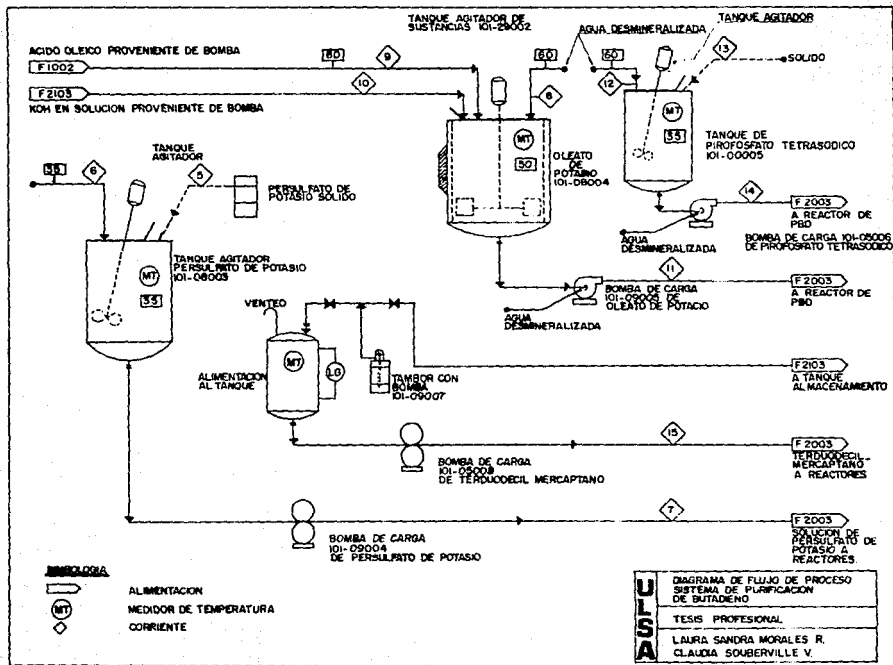
- ◇ CORRIENTE
- P (Kg./cm<sup>2</sup>)
- PV Presion de Vapor.
- PR Presion de Refrera.

COMPONENTE en kg./H.	2	3	4
BUTADIENO	781.77	0.56	7802.0
1. METANOL	0.73	0.139	8.3
2. TERCIARY BUTYL ALCOHOL	0.915	0.20	0.153
3. 4. VINIL PLOXANANO	3.95	2.12	1.84
5. 1. METANOL	786.8	0.02	785.8
6. 2. TERCIARY BUTYL ALCOHOL	0.2	25	782.14
7. 3. 4. VINIL PLOXANANO	88	1	88
8. 1. METANOL	0.2	0.2	0.2
9. 2. TERCIARY BUTYL ALCOHOL	81	81	81
10. 3. 4. VINIL PLOXANANO	21	0.5	21
11. 1. METANOL			315

A TANQUE DE ALMACENAMIENTO 09-2500

UNISA

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO SISTEMA DE PURIFICACION DE BUTADIENO
TESS PROFESIONAL
LAURA SANDRA MORALES R. CLAUDIA SOUBERVILLE V.



purificación del material se produce a vacío de 250 Torr. Esta purificación remueve la mayor parte de butadieno sin reaccionar del latex de PBD. Los ciclos del reactor permanecen de modo de utilizar un tanque flash por operación de purificación. El vacío es formado en el tanque flash a través de 2 estaciones eyectoras de vapor. El tanque flash contiene un agitador con doble sello mecánico y lubricante de glicerina/presurización del sello de fluido.

PMF - 2004

Después de que la solución de latex ha sido purificada, es transferida a tanques intermitentes de almacenamiento. Estos tanques actúan como tanques de afeamiento en donde ocurre un posterior entrecruzamiento entre las moléculas de PBD. Estos tanques también actúan como áreas o zonas de mezclado para promediar las ligeras variaciones que se tienen de lote en lote. Existen tanques fuera del área de proceso en donde se almacena producto fuera de especificación, que actúa como un medio de control de este con producto de especificación.

El latex mezclado o el latex añejado se alimenta continuamente a una cubierta vibradora que remueve los coágulos. El filtrado de la cubierta es continuamente alimentado a un recipiente que suministra agitación para una operación de homogeneización. Esta alimentación es enfriada a 24 °C por un plato tipo cambiador de calor. La descarga, ahora identificada como sustrato, fluye hasta el tanque de almacenamiento antes de ser usada en los procesos de resinas de ABS. Debido al buen mantenimiento en los sistemas de homogeneización, se provee de un tren instalado como refuerzo.

PMF - 2005

Un sistema de alivio para emergencias se suministra para ventear los vapores emitidos de las válvulas de presión de seguridad en la torre de purificación de BD, el tanque de intercambio de BD, reactores de PBD, y tanques flash a un punto remoto del área de proceso. El BD es extremadamente inflamable y potencialmente explosivo cuando se mezcla con aire, un tanque de destrucción es provisto para ventear los vapores que puedan contener líquido o espuma, y un tanque de agua de mar para prevenir un frente de flama de un flasheo de la pila de venteo al área de proceso.

El área para efluentes localizada cerca de los tanques de almacenamiento intermedios de PBD reciben agua de zanjas localizadas en el área de latex de PBD. Esta agua puede contener sólidos de PBD y material del área normal de lavado y limpieza de recipientes. Estas áreas actúan como áreas de sostén y proveen una manera de tratar el agua con  $\text{CaCl}_2$ , el cual puede coagular, precipitar y disolver las resinas

sólidas. Los sólidos son removidos del agua en un lote utilizando un efluente que es bombeado y un filtro con cinturón de vacío. El agua que ha sido filtrada y clarificada fluye al sistema de alcantarillado de la planta, y los sólidos colectados en el filtro son desechados apropiadamente.

## BASES DE DISEÑO

### PURIFICACION DE BUTADIENO (PMF - 2010)

El sistema de purificación de butadieno es una destilación continua de materia prima, en la cual se usa el 1, 3- butadieno para producir producto purificado adecuado a la polimerización. El sistema opera a una velocidad de 7826 Kg. por carga de batch al reactor de polibutadieno cada 10.25 horas.

El butadieno de los tanques de almacenamiento es bombeado continuamente bajo un control de flujo a la torre de purificación de butadieno 101 - 05001 a 21 LPM. El rehervidor de la torre a 85 °C es mantenido por un controlador de temperatura a través de un sistema de recalentamiento. Los fondos de la torre contienen 18.5% de BD, 6.6% de TBC, y 70.1% de 4-VCH y 4.8% de agua es extraída intermitentemente por un conjunto de diferentes interruptores localizados en el fondo de una torre, los cuales activan una combinación por botones a un tanque de almacenamiento (09-25010) localizados en el área de tanques. El destilado se condensará en el intercambiador (101-06002) que emplea agua refrigerada a 10 °C como líquido de enfriamiento, el condensado se recibirá en un tanque de destilado a 25 °C con una composición de 99.7 % de BD, 0.02% TBC y 0.2% de 4-BCH. El control de presión se mantiene mediante la inundación parcial del área de enfriamiento del condensador C-801, la cual controla la velocidad de condensación, que a su vez determina la presión de la torre. El reflujo de la torre se mantiene mediante un control de reflujo (R/D) de 0.25 (o 5.25 LPM) y el destilado es regulado por control de presión de la torre. El destilado es recogido en un tanque colector de BD (101-08002) con una capacidad de 25.9 m<sup>3</sup> o 2 reactores de carga de BD.

Una vez que los reactores de PBD requieren de alimentación, el butadieno de los tanques de carga de BD es bombeado a 315 LPM hasta completar 7826 Kg (o 12830 L).



La torre y los tanques de carga de butadieno se protegen individualmente con sistemas de alivio de presión dual que ventean a través de un sistema de alivio de emergencia.

Una vez empezado el vacío el aire de las líneas es extraído del sistema, ésto es previo a la alimentación de BD.

#### PREPARACION QUIMICA (PMF - 2011)

Se requieren varias soluciones químicas para soportar y auxiliar la polimerización de BD. Las áreas donde se preparan las sustancias químicas contienen 3 sistemas de carga para preparar soluciones y un sistema de carga para el Ter-duodecil mercaptano (TDDM). El tanque donde se prepara la solución está diseñado para proveer 3 lotes de solución al reactor de PBD. Tanto el contenedor de TDDM como el tanque en donde se prepara están dimensionados para proveer 3 lotes del mismo a los reactores de PBD. Un diseño de 3 lotes tiene una producción durante 24 horas de cada material las condiciones de operación general y procedimientos son nombradas a continuación para cada material.

#### SOLUCION DE PERSULFATO DE POTASIO

El persulfato de potasio (PPS) es surtido generalmente en forma granular . El PPS sirve como iniciador para la reacción de polimerización y es cargado a los reactores de PBD como una solución acuosa al 4% ( en peso ). La configuración de PPs es la siguiente:

a) Se carga agua desmineralizada (DMW) entre 30 y 35 °C por nivel en el tanque 101-08003 en el que el PPS es preparado (2.25 m<sup>3</sup>).

b) Los gránulos de PPS son pesados y cargados manualmente al tanque de preparación.

c) La solución es agitada y disuelta . Nota: La solubilidad del PPS en DMW es 4.7% en peso a 20 °C.

d) Una vez que los reactores de PBD requieren alimentación, 391 Kg (383 L) de solución de PPS son cargados al reactor a 40 LPM por la bomba 101-0904. La carga se detiene automáticamente cuando se alcanza el volumen requerido.

#### SOLUCION JABONOSA DE OLEATO DE POTASIO

Solución de oleato de potasio (K-oleato) es cargada al reactor de PBD con una solución acuosa al 15% (por peso) K-oleato es producido por la reacción de KOH con ácido oléico y un exceso de KOH estequiométrico. El KOH es añadido como una solución acuosa al 45 % (por peso). La solución de K-oleato está compuesto como se indica a continuación :

- a) Se craga DMW a 60 °C por nivel dentro del tanque 101-0804 en donde se prepara el K-oleato con una capacidad de 7.0 m<sup>3</sup>.
- b) La solución de KOH al 45% es cargada por un flujo total del envase 101-08245 de preparación del KOH. Este envase es considerado parte de la facilidad de la resina ABS .
- c) El ácido oléico (del tanque de almacenamiento) es cargado por un flujo total.
- d) La solución es agitada y disuelta .
- e) Una vez que los reactores de PBD requieren alimentación, 1922 Kg (1922 L) de solución de K-oleato es cargada al reactor a 90 LPM por la bomba 101-0905. La carga se detiene automáticamente cuando se alcanza el volumen requerido.

#### SOLUCION DE TETRAFOSFATO DE SODIO

El tetrafosfato de sodio (TSPP) es cargado al reactor de PBD como una solución acuosa al 5% . El TSPP actúa como un electrolito en la reacción de PBD. La solución se prepara de la siguiente manera:

- a) Se carga DMW a 60 °C por nivel en el tanque 101-08005 donde se prepara el TSPP .
- b) La cantidad requerida de TSPP (sólidos granulares) es pesada y cargada manualmente dentro del tanque.
- c) La solución es agitada hasta la disolución. NOTA: la solubilidad del TSPP en DMW es 6% en peso a 20 °C.
- d) Una vez que los reactores de PBD requieren alimentación, 557 Kg. (535 L) de solución de TSPP son cargados a 50 LPM por medio de la bomba 101-09000. La carga se detiene automáticamente cuando se alcanza el volumen requerido.

#### TERDUODECIL MERCAPTANO

El terducodecil mercaptano (TDDM) es cargado al reactor de PBD en su forma original de materia prima. El TDDM es un líquido claro, amarillo. Es cargado en el tanque de alimentación 101-08006 por medio de las bombas 101-09007.

Una vez que los reactores de PBD requieren alimentación, 15.6 Kg. (18.35 L) de TDDM son cargados al reactor a 2 LPM por la bomba 101-09008. La carga se detiene automáticamente cuando se alcanza el volumen requerido.

#### AREA DE REACCION DEL SUSTRATO (PBD) (PMF 2012, PMF 2013)

El latex de PBD (también llamado sustrato) es producido por lotes vía emulsión-polimerización. Para obtener 5000 Ton/año de PBD, dos reactores de 25.5 m<sup>3</sup> (trabajando por volumen) operan en paralelo. Los reactores han sido diseñados en tamaño de acuerdo a los siguientes parámetros:

- a) El tiempo de ciclo por lote para cada reactor batch es de 20.5 horas.
- b) Operación programada de 355 días por año.
- c) 85 % de factor de operación durante los días programados.
- d) Se requiere de un ciclo de limpieza de 24 horas para el reactor después de 30 lotes por reactor.
- e) Se logra un 95% de la conversión de BD.

Bajo estas bases cada reactor ha sido diseñado para producir 7429 Kg. de sólidos de PBD por lote. Con un ciclo de aproximadamente 340 lotes por año. Las dimensiones de cada uno son: 2590 mm de diámetro interno y 4200 mm de largo, dando un volumen total de 26.6 m<sup>3</sup>. El reactor es de acero con 316 SS y tiene una chaqueta de calentamiento. Ajustados con 6 baffles internos de enfriamiento de 316 SS para tener una mayor área de transferencia de calor. Todas las superficies internas húmedas del reactor son electropulidas y pulidas con granos de 180. Cada equipo es agitado con una cuchilla de turbina que tiene un arreglo triangular (de 3) con impulsadores de 316 SS de construcción. Los agitadores contienen un mecanismo de doble sello presurizado con glicerina a 14 Kg/cm<sup>2</sup>.

#### CARGAS DEL RACTOR:

- 1) Se cargan simultáneamente, 15.64 Kg de TDDM y 557 Kg de solución de TSPP. Cada flujo es automáticamente detenido hasta que se hayan completado los requerimientos.

2) El agitador empieza a funcionar después de que se han completado las cargas de DMW, TDDM y TSPP.

3) 1922 Kg. (1922 L) de solución de K-oleato es cargado a 90 LPM.

4) El reactor es nuevamente evacuado a una presión de 250, torr y aislado del sistema de vacío. Esto se hace para asegurar una atmósfera libre de oxígeno que previene la posibilidad de una mezcla explosiva cuando el butadieno es cargado y previene una inhibición de reacción por oxígeno.

5) 7826.3 Kg. (12830 L.) de BD purificado son cargados del tanque de BD (101-08002) al reactor a una velocidad de 315 LPM .

6) La temperatura del lote del reactor se mantiene a 58 °C.

7) 391 Kg. (383 L.) de solución de PPS es cargada al reactor a 40 LPM.

Nota: En los puntos 3, 5 y 7 el flujo se detiene automáticamente una vez que se han alcanzado los requerimientos.

Hasta este punto las cargas del reactor han sido completadas. Cada reactor utiliza un sistema común de carga para cada solución, TDDM, y sistemas de carga de butadieno. Se utiliza un interruptor para distinguir las cargas en el reactor requerido. Una serie de protecciones están instaladas en el sistema de carga para permitir que ésta se realice sólo después de que ciertas condiciones sean satisfechas para el reactor.

Al comienzo de la reacción la temperatura del lote se mantiene a 58 °C y la presión a 6.1 Kg/cm<sup>2</sup>. La temperatura se mantiene a 58 °C hasta la conversión del 50%, la cual se produce a las 10 horas después de empezada la reacción. En este momento la presión deberá de empezar a bajar. En este punto de la reacción el operador deberá ajustar la temperatura para mantener la presión de reacción en aproximadamente 6.1 Kg/cm<sup>2</sup> para incrementar el punto establecido con pequeños aumentos hasta un máximo de 70 °C. Cuando se tiene el 50 % de la conversión, la velocidad máxima de conversión es de 14 % de conversión por hora durante 2 horas.

La reacción requiere aproximadamente 16.4 horas para completarse. Cuando se ha completado la polimerización, la presión decrecerá gradualmente hasta 2.1 Kg/cm<sup>2</sup>. En este

punto el lote se ha completado. El operador debe enfriar el lote a 60 °C. En este punto, 20 horas dentro del ciclo, el lote es bombeado a un tanque flash (101-08009) desde los fondos del reactor de PBD por el equipo 101-09011.

El ciclo del reactor se menciona a continuación :

#### CICLO DEL REACTOR

EVENTO	TEMP. °C	CARGA Kg.	VELOCIDAD LPM	TIEMPO horas
Evacuar a 250 torr.	-	-	-	0-0.10
Carga DMW	60	9186	540	.10-.40
Carga de solución TSPP.	35	557	50	.22-.40
Carga TDDM	Amb.	15.64	2	.25-.40
Solución de K-oleato	50	1922	90	.4-.76
Evacuar a 250 torr.	-	-	-	.76-.86
Carga de BD	25	7826.3	315	.86-1.54
Calentar a 58 °C y transferir	-	-	-	1.54-2.31
Carga de solución de PPS.	30	391	40	2.31-2.47
Reacción	57-71	-	-	2.47-18.8
Enfriar a 60 °C.	-	-	-	18.8-19.8
Bombear a tanque flash.	-	19897	500	19.8-20.5

La sobrepresión del reactor es protegida por un disco de ruptura y sistemas de válvulas de seguridad provistas de un venteo manual para sistemas de alivio de emergencia.

EL RECUBIMIENTO DE LATEX DE PBD (PMF-2014)

Al agregar una parte de latex de PBD recién elaborado se remueve la mayor porción de BD remanente no polimerizado. Esta mezcla produce un nuevo lote de latex de PBD bajo un presión de vacío de 250 torr.

El sistema se añade de un tanque flash 101-08009 con un agitador de turbina que contiene un doble mecanismo de sello presurizado con glicerina a 3.5 Kg/cm<sup>2</sup>. Se suministra un vacío al tanque flash por medio de 2 estaciones de vapor de vacío. Este sistema también proporciona un vacío intermitente a los reactores de PBD y para el inicio de la evacuación del sistema de purificación de BD. Un tanque eliminador de espuma (101-08010) es provisto entre el vacío original del tanque flash para separar el líquido atrapado en el flujo de vapor. La velocidad de desprendimiento está diseñada para remover 355 Kg. de BD y 95 Kg. de vapor de agua a 250 torr en una hora. El lote se mantiene a 250 torr durante otras 0.5 horas. Cuando el desprendimiento se ha completado, el lote es bombeado (101-09011) al área de almacenamiento intermedio de latex de PBD.

## CAPITULO IV

Hasta este momento se han explicado a detalle los diferentes métodos para la identificación de peligros (métodos cualitativos) y evaluación de riesgos (métodos cuantitativos).

En el presente capítulo se realizará la identificación de peligros en una planta purificadora de butadieno, evaluándose a continuación el grado de riesgo asociado a dichos peligros.

En las unidades de proceso de las plantas químicas actuales es muy común operar en condiciones de alto riesgo potencial o muy cerca de ellas. Los criterios actuales, así como los lineamientos establecidos por las dependencias gubernamentales en materia de riesgos fijan su atención en los materiales peligrosos tomando en cuenta la toxicidad, inflamabilidad, corrosividad, explosividad y reactividad de los mismos, así como el impacto que pueden ocasionar dichos materiales hacia la comunidad y el medio ambiente.

Se ha seleccionado una técnica de identificación de peligros desarrollada por expertos en seguridad y que no ha sido publicada para uso general. Esta técnica se enfoca a identificar los peligros ocasionados por Materiales Altamente Peligrosos (MAP's).

Además esta técnica es un método direccionado que nos encamina a la identificación de eventos que pueden convertirse potencialmente en desastres que afecten al ecosistema y comunidad circunvecina ocasionando cuantiosas pérdidas.

Así mismo observaremos que en el cuadro - resumen de los métodos de identificación de peligros y evaluación de riesgos (capítulo II) existen además otros métodos que pudieron ser utilizados como el Estudio de Riesgo y Operabilidad (HAZOP), o El Método ¿Qué Pasa Si...?. En específico el método a utilizar se enfoca en la detección de aquellos puntos que han cobrado gran interés para las autoridades y que se le han requerido a la industria, recordando que la selección del método de identificación está en función de las características del proceso y el alcance global del estudio mismo.

### **EXPLICACION DE LA TECNICA USADA PARA IDENTIFICAR LOS PELIGROS:**

La identificación de peligros constituye el cimiento para el desarrollo del estudio de riesgos.

Desde este momento del análisis, con base a la secuencia de eventos se podrán identificar puntos de mejora (prevención, reducción de frecuencia o magnitud y control)

Dentro de esta etapa se realiza una selección de los eventos más susceptibles de un mismo tipo a fin de reducir el número de casos a manejar en las etapas subsecuentes.

#### PROCEDIMIENTO:

Esta técnica simplificada se ha dividido para su aplicación en 3 pasos descritos a continuación:

##### 1) Selección de Eventos Representativos:

Durante el estudio se pueden encontrar eventos diferentes que conduzcan a un mismo accidente pero con consecuencias de distinta magnitud; por ejemplo el derrame de un material tóxico puede llevar a la formación de una nube la cual, dependiendo de la cantidad derramada tendrá mayor o menor afectación sobre la comunidad vecina. La selección del evento representativo buscará elegir aquél cuya afectación global supera la ocasionada por eventos similares.

Otra posibilidad se presentará cuando la secuencia de eventos es diferente pero que también llega al mismo evento tope; en esta situación se buscará determinar la susceptibilidad de ocurrencia de los eventos.

Por lo tanto, se puede decir que esta fase del análisis de riesgos tiene el siguiente:

**Objetivo:** Establecer los "eventos tipo" o los "peores casos creíbles" de grupos de eventos que conducen a accidentes similares, los cuales serán considerados para la evaluación de consecuencias.

##### 2) Diagramas Lógicos:

Como ya se mencionó, la selección de los "peores casos creíbles" se hará en principio con base a consideraciones de



cuantificaciones rápidas y de los eventos más recurrentes (sin guardar ningún orden):

- Desconexión de líneas flexibles (mangueras)
- Fugas en sellos de bridas, bombas, etc.
- Pérdida de servicios (aire, agua, electricidad,...)
- Rotura de tuberías
- Derrame por sobrellenado de tanques o recipientes
- Transferencias equivocadas
- Colapsamientos de recipientes
- Fallas eléctricas
- Fallas electromecánicas

Identificados en base a estudios eficientes realizados por expertos . Esta información en conjunto con un buen conocimiento del proceso y sus componentes conducirán al establecimiento de eventos creíbles y susceptibles de ocurrir.

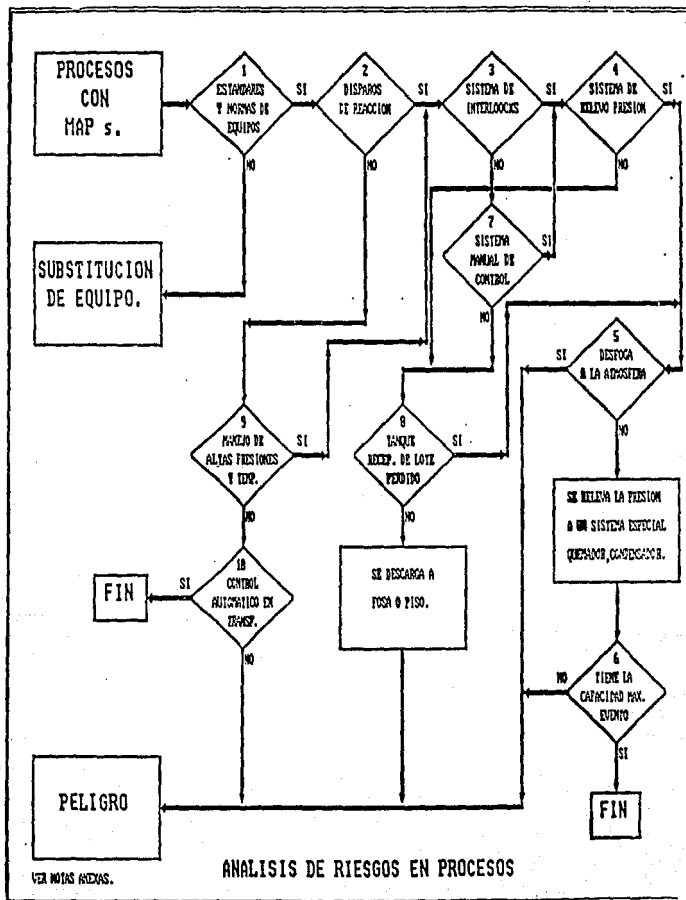
En esta técnica se usan los diagramas de flujo lógicos que contienen la secuencia de eventos que conducen al accidente. Por lo que únicamente se debe de contestar con un "si" o un "no" la sucesión de estos eventos, hasta que se obtiene como resultado la existencia de una condición segura o de un peligro.

### 3) Obtención de los Peligros Resultantes:

A continuación se debe de elaborar el diagrama de peligros, identificando cuales fueron las resultantes para cada equipo.

Este diagrama nos puede dar varias alternativas en base a las propiedades del material utilizado.

A continuación se muestran los diagramas de peligros que se utilizan en esta técnica en conjunto con la referencia y explicación de lo que se entiende por cada evento, así como el resultado de los peligros identificados para el presente caso de estudio.



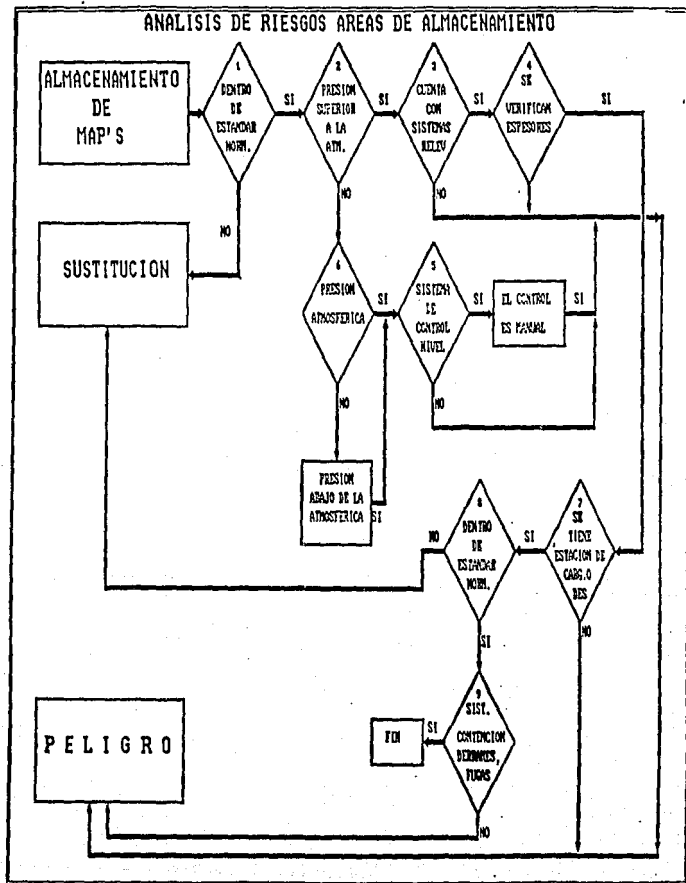
## NOTAS DEL DIAGRAMA DE ANALISIS DE RIESGOS

- 1) SE REFIERE:
  - AL CUMPLIMIENTO DE ESTANARES EN SU DISEÑO ORIGINAL.
  - SI SE MANTIENE OPERANDO PARA LAS CONDICIONES ORIGINALES DE DISEÑO.
  - SI SE INCUMPLE DENTRO DEL TIEMPO DE VIDA UTIL DEL EQUIPO, Y/O EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO QUE SE LE HA HECHO INDICA ALAN RANOS DE OPERACION SEGURA.
  - DE NO CONTAR CON ESTOS PARAMETROS DE INGENIERIA, SE DEBERIA SUSTITUIR EL EQUIPO.
  
- 2) SE REFIERE A DISPAROS DE REACCION POR LAS SIGUIENTES CAUSAS:
  - FALLA EN LOS SISTEMAS AUXILIARES (GASOR, ENFRIAMIENTO, ELECTRICIDAD, ETC.).
  - FALLA EN LAS CONDICIONES DE OPERACION (TEMPERATURA, PRESION, FLUJO).
  - DIFERENCIAS EN LAS PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DE LOS REACTIVOS.
  - ERROR EN LA SECUENCIA DE ALIMENTACION DE REACTIVOS.
  
- 3) SE REFIERE:
  - AL CONTROL DEL PROCESO EN FORMA AUTOMATICA, CON INSTRUMENTOS TALES COMO:
  - INDICACION Y CONTROL DE NIVEL.
  - INDICACION DE FLUJO O GASTO.
  - PAROS O CONTROL POR ALTAS PRESIONES Y TEMPERATURAS.
  
- 4) SE REFIERE:
  - QUE SI SE CUENTA CON LOS DISPOSITIVOS DE ALIVIO DE PRESION INSTALADOS Y DISEÑADOS DE ACUERDO A ESTANARES E IDENTIFICADOS Y MANTENIDOS DENTRO DE UN PROGRAMA DE INSPECCION DE EQUIPO CRITICO, TALES COMO:
    - VALVULAS DE ALIVIO, RELIEVO, Y SEGURIDAD.
    - DISCOS DE RUPURA.
  
- 5) SE REFIERE:
  - QUE SI LOS SISTEMAS MENCIONADOS EN EL INCISO 4) DESTOGAN LAS SOBREPRESIONES DE LOS RECIPIENTES QUE DIRECTAMENTE A LA ATMOSFERA O SON COLECTADOS Y ENVIADOS A:
    - QUEMADORES.
    - CONDENSADORES.
    - ABSORBEDORES.
    - ETC.
  
- 6) SE REFIERE:
  - A QUE SI LOS EQUIPOS MENCIONADOS EN EL INCISO 5) (QUEMADORES, ETC.) TIENEN LA CAPACIDAD SUFICIENTE PARA PROCESAR EL MAXIMO EVENTO POR DESTOQUE.

## NOTAS DEL DIAGRAMA DE ANALISIS DE RIESGOS

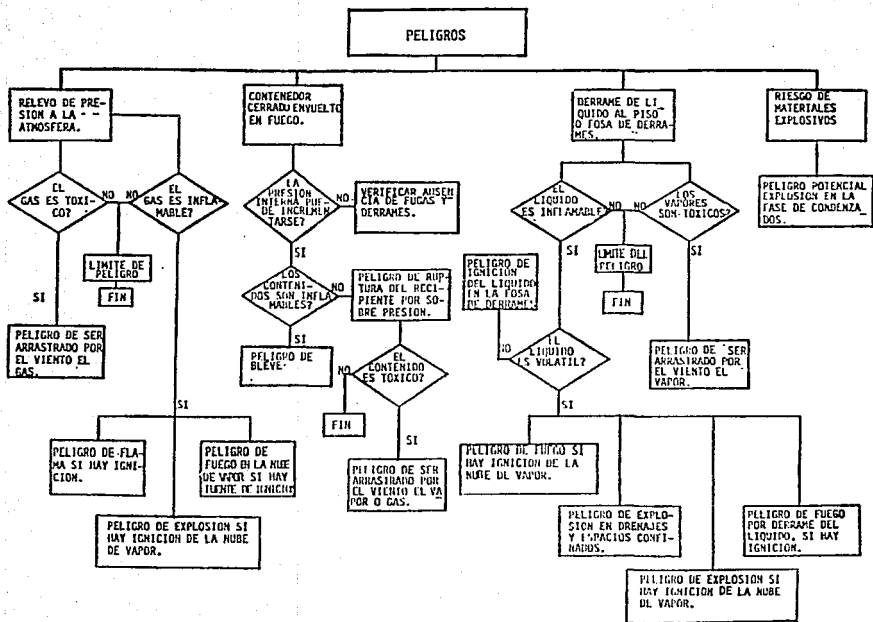
- 7) SE REFIERE: - A QUE SI EL CONTROL MENCIONADO EN 3) SE EFECTUA EN FORMA MANUAL.
- 8) SE REFIERE: - A QUE SI SE CUENTA CON TANQUES ACEPTABLES HERMETICOS E INSTRUMENTADOS TALES COMO NOXI OUT. O SE DESCARGA DIRECTAMENTE AL PISO O PUSO.
- 9) SE REFIERE: - A QUE SI LAS CONDICIONES DE OPERACION DEL PROCESO REQUIEREN EL MANEJO DE ALTAS PRESIONES Y TEMPERATURAS.
- 10) SE REFIERE: - SE REFIERE A QUE SI LA TRANSFERENCIA DE MAP O SE EFECTUA ATRAVES DE CIRCUITOS CERRADOS DE TUBERIA, LOS CUALES ESTAN INSTRUMENTADOS PARA SU CONTROL.

# ANALISIS DE RIESGOS AREAS DE ALMACENAMIENTO



## NOTAS DEL DIAGRAMA DE AREAS DE ALMACENAMIENTO

1. SE REFIERE: - AL CUMPLIMIENTO DE ESTANDARES EN SU DISEÑO ORIGINAL.  
- SI SE ESTA UTILIZADO PARA LAS CONDICIONES ORIGINALES DE DISEÑO.  
- SI SE ENCUENTRA DENTRO DEL TIEMPO DE VIDA UTIL DEL EQUIPO Y/O EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO QUE SE LE HA PROPORCIONADO INDICA ALM. RANOS DE USO SOLIDOS.  
- DE NO CUMPLIR CON ESTOS PARAMETROS DE INCIDENCIA, SE DEBERA SUSTITUIR EL TANQUE.
2. SE REFIERE: - TANQUES QUE SOFREN PRESION POR ARRIBA DE LA ATMOSFERICA, POR LO TANTO EXISTEN MAS PROBABILIDADES DE FALLA SI NO EXISTE UN MANTENIMIENTO PREVENTIVO (INSPECCION VISUAL, VERIFICACION DE SOLDADURAS, ETC.)
3. SE REFIERE: - SI SE CUENTA CON LOS DISPOSITIVOS DE ALIVIO DE PRESION DISEÑADOS Y DISEÑADOS --- DE ACUERDO A ESTANDARES, IDENTIFICADOS Y MANTENIDOS DENTRO DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE EQUIPO CRITICO. (VALVULAS DE ALIVIO, DE RELIEVO, DE SEGURIDAD, --- DISCOS DE RAPTURA, ETC.).
4. SE REFIERE: - DEBE EXISTIR UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN DONDE SE ESTE CUANDO EL DESGASTE DEL MATERIAL DE TAL FORMA QUE NO SE PRESENTE UN EVENTO POR ROTURA O FALLA DEL MATERIAL.
5. SE REFIERE: - QUE CUENTE CON INSTRUMENTOS QUE INDICAN LOS NIVELES MANEJADOS, ASI COMO ALARMS O INTERLOCKS, CON ESTA INSTRUMENTACION ELIMINARIANOS EVENTOS DE DEREGAR POR UN SOBREG LLENADO.
6. SE REFIERE: - TANQUES QUE OPERAN A LA PRESION ATMOSFERICA Y POR ESTA RAZON ESTAN EMITIENDO VAPORES EN FORMA NORMAL A LA ATMOSFERA.
7. SE REFIERE: - EN LAS AREAS DE ALMACENAMIENTO DEBEN DE EXISTIR ESTACIONES DE CARGA Y DESCARGA DE --- PRODUCTOS Y MATERIAS PRIMAS, DE ESTA MANERA SE TIENE UN AREA ESPECIFICA PARA REALIZAR MANTENIMIENTOS.
8. SE REFIERE: - LAS ESTACIONES DE CARGA Y DESCARGA DEBEN CUMPLIR CON LOS ESTANDARES Y NORMAS DE --- ACUERDO A LOS MATERIALES MANEJADOS Y LAS MANIOBRAS A REALIZAR, DE NO CUMPLIR DEBERA DE SUSTITUIRSE O REVISAR DENTRO DE ESTANDAR.
9. SE REFIERE: - EN LAS AREAS DE CARGA Y DESCARGA SE ORIGINAN FUGAS Y DEREGOS, DEBEN DE CONTARSE CON SISTEMAS ESPECIFICOS PARA EL CONTROL DE ESTOS EVENTOS (TANQUES DE DEREGOS, BQUES, - TRINOMIAS, CARGA ERMS, ETC.).

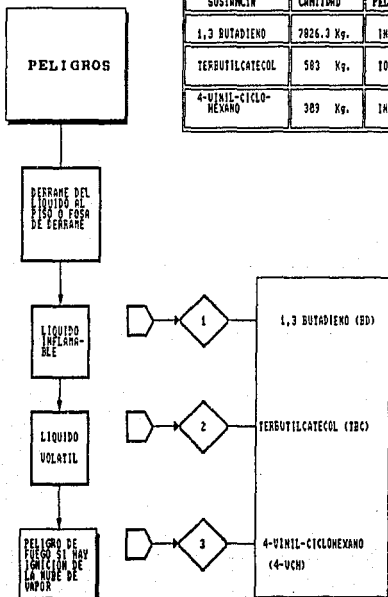


# IDENTIFICACION DE PELIGROS EN LAS ZONAS DE ALMACENAMIENTO

Dentro de las zonas de almacenamiento, tanto en la alimentación como en el almacenamiento al final del proceso se tienen los mismos peligros y riesgos por lo que solamente se analizan una vez.

EVENTOS PROBABLES	CUMPLE
1) ESTANDARES Y NORMAS DE EQUIPO	SI
2) PRESION SUPERIOR A LA ATMOSFERICA	NO
3) PRESION ATMOSFERICA	SI
4) SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL	NO
5) CUENTA CON SISTEMAS DE RELEVO	SI
6) SE VERIFICAN ESPESORES	SI
7) SE TIENE ESTACION DE CARGA O DESCARGA	NO

SUSTANCIA	CANTIDAD	PELIGRO PRINCIPAL
1,3 BUTADIENO	7826.3 Kg.	INFLAMABLE
TERBUTILCATECOL	583 Kg.	TOXICO - CORROSIVO
4-VINIL-CICLOHEXANO	389 Kg.	INFLAMABLE





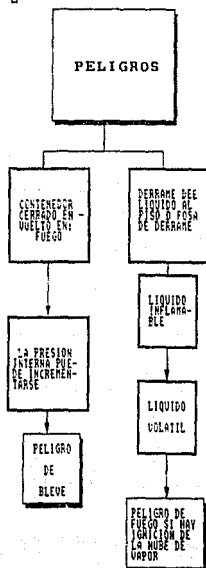
# IDENTIFICACION DE PELIGROS EN EL REACTOR

En este caso solo se analizó un reactor, ya que ambos se encuentran a las mismas condiciones por lo que se tienen los mismos peligros y riesgos en ambos.

EVENTOS PROBABLES	CUMPLE
1) ESTANDARES Y NORMAS DE EQUIPO	SI
2) DISPAROS DE REACCION	SI
3) SISTEMA DE INTERLOCKS	NO
4) SISTEMA MANUAL DE CONTROL	SI
5) SISTEMA DE RELEVO DE PRESION	NO
6) TAPONE DE RECEPCION DE LOTE PERDIDO	NO
7) SE DESCARGA A PISO O FOSA	SI

CONDICIONES DEL REACTOR:		
INICIO :	50% de Conversión:	FINAL:
$t_0 = 0$	$t_1 = 10 \text{ h.}$	$t_f = 20.5 \text{ h.}$
$T_0 = 59 \text{ } ^\circ\text{C}$	$T_1 = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$	$T_f = 48 \text{ } ^\circ\text{C}$
$P_0 = 1 \text{ Kg/cm}^2$	$P_1 = 5.9 \text{ atm}$	$P_f = 2.1 \text{ Kg/cm}^2$
$x_0 = 0$	$x_1 = 0.5$	$x_f = 2.032 \text{ atm}$
		$r_f = 0.95$

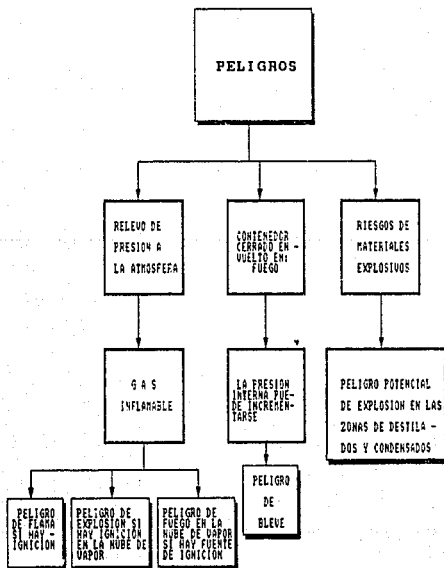
Se identificaron los siguientes peligros en el reactor:



# IDENTIFICACION DE PELIGROS EN LA TORRE DE DESTILACION

Se identificaron los siguientes peligros en la destilación:

EVENTOS PROBABLES	CUMPLE
1) ESTANDARES Y NORMAS DE EQUIPO	SI
2) DISPAROS DE FUGA	SI
3) MANEJO DE ALTAS PRESIONES Y TEMPERATURAS	SI
4) SISTEMA DE INTERLOCKS	SI
5) SISTEMA DE RELEVO DE PRESION	SI
6) DESCARGA A LA ATMOSFERA	SI



## **EVALUACION DE RIESGOS**

En base a los peligros identificados, los máximos eventos creíbles detectados son causados por fuego, dado que el material que se encuentra en mayor cantidad es el butadieno cuyo peligro principal es el de inflamabilidad. Por lo que en base al resumen que se encuentra al final del capítulo 2 el mejor método a usar para el proceso en particular es el índice dow de fuego y explosión.

### **INDICE DOW DE FUEGO Y EXPLOSION**

Este método nos permite cuantificar paso a paso los potenciales reales de fuego, explosión y reactividad en los equipos de proceso y su contenido.

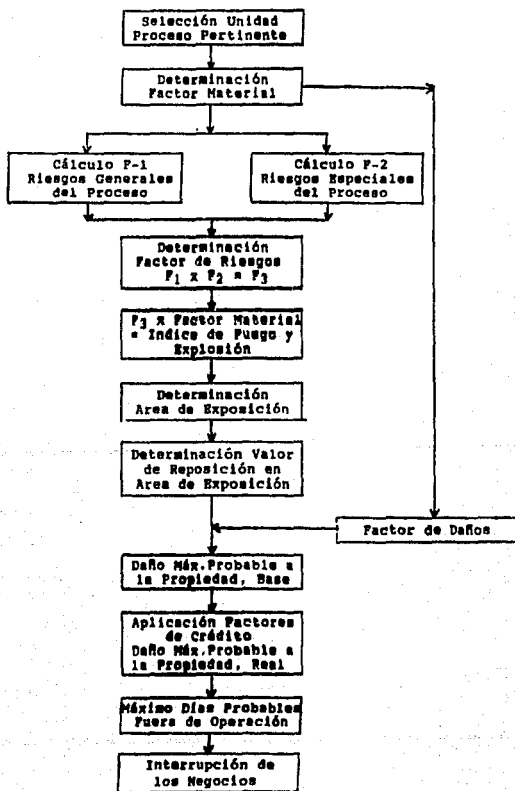
En resumen, el propósito del Sistema del Índice de Fuego y Explosión Dow como se vió en el capítulo 2 es:

- 1) Cuantificar en términos realistas, el daño máximo que es de esperarse en incidentes potenciales de fuego y explosión.
- 2) Identificar el equipo que puede contribuir al origen o escalación de un incidente.
- 3) Comunicar a la Gerencia el potencial de riesgo de fuego y explosión.

### **CALCULO DEL INDICE DOW PARA EL PROCESO DE PURIFICACION DE BUTADIENO:**

**FIGURA 1**

**PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO DEL FACTOR DE RIESGOS DE LA UNIDAD, INDICE DE PUEGO Y EXPLOSION, DAÑO MAXIMO PROBABLE A LA PROPIEDAD Y MAXIMO DE DIAS PROBABLES FUERA DE OPERACION.**



Como se observa en la figura anterior el primer paso para aplicar este método es el de seleccionar las unidades básicas de proceso en las cuales se han identificado los peligros mayores y que a su vez serán sometidas a una evaluación de riesgos.

Para el presente cálculo se han identificado 3 unidades básicas de proceso en base a su costo, importancia del equipo, peligros presentes debido a la cantidad de material riesgoso y a las condiciones de proceso.

Por lo tanto las Unidades de proceso en las cuales se aplicará el cálculo para conocer su riesgo son:

- 1) Destilación (donde se lleva a cabo la purificación)
- 2) Polimerización (que se lleva a cabo en los reactores)
- 3) Almacenamiento del producto (en la alimentación y al final del proceso)

El siguiente paso es el de seleccionar el material clave que en este caso es el 1,3 butadieno dadas sus características de peligrosidad y la gran cantidad en la que se encuentra.

Para conocer el Factor Material de esta sustancia se usa como base la siguiente tabla, basada en las propiedades de inflamabilidad (Nf) y de reactividad (Nr) del material, y que se obtiene en base a estudios realizados por la NFPA (National Fire Protection Agency) de E.U.A.

Para este material NFPA indica que para el 1, 3 Butadieno:

CLASE DE RIESGO	SIMBOLIZACION Y VALOR
Riesgos de Inflamabilidad	Nf= 4
Riesgos de Reactividad	Nr= 2

Y por ser un material inflamable con un Punto de fusión menor a 73 °F y con un Punto de Ebullición menor a 100 °F, su factor material se obtiene como sigue:

LIQUIDOS Y GASES Inflamabilidad o Combustibilidad	NFPA 325M 6 49	Reactividad o Inestabilidad				
		Nr=0	Nr=1	Nr=2	Nr=3	Nr= 4
2)No Combustible	Nf=0	1	14	24	29	40
P.F. > 200 oF	Nf=1	4	14	24	29	40
P.F.>= 100 oF>200oF	Nf=2	10	14	24	29	40
P.F. < 100 oF P.E. >= 100 oF	Nf=3	16	16	24	29	40
P.F. < 73 oF P.E. < 100 oF	Nf=4	21	21	24	29	40

Por lo que si observamos la intersección del Nf=4 y Nr=2, tenemos un Factor Material (FM) = 24

A continuación se calcularán los Riesgos Generales del Proceso y los Riesgos Especiales del Proceso para las 3 Unidades de Proceso seleccionadas:

- Destilación
- Purificación
- Almacenamiento

TESIS: UNIVERSIDAD LA SALLE  
 LAURA SANDRA MORALES R.  
 CLAUDIA SOUBERVILLE V.

# CALCULO DEL INDICE DOW DE FUEGO Y EXPLOSION

## 1) RIESGOS GENERALES DEL PROCESO

FACTORES DE RIESGO PARA:

	DESTILACION	PURIFICACION	ALMACENAMIENTO
A. REACCIONES QUIMICAS EXOTERMICAS (FACTOR 0.3 A 1.25)	-----	0.5 (A2)	---
B. REACCIONES O PROCESOS ENDOTERMICOS (FACTOR 0.2 A 0.4)	-----	-----	-----
C. MANEJO Y TRANSFERENCIA DE MATERIALES (0.25 A 0.90)	0.5 (C1)	0.5 (C1)	0.5 (C1)
D. UNIDADES DE PROCESO CONFINADAS O CERRADAS EN EL INTERIOR (0.25 A 0.90)	0.6 (D3)	0.6 (D3)	---
E. ACCESOS (0.35)	---	---	---
F. DRENAJES Y CONTROL DE DERRAMES (0.25 A 0.5)	---	---	---
FACTOR BASE	1	1	1
FACTOR (F1) RIESGOS GENERALES DE PROCESO	2.1	2.6	1.5
F1	2.1	2.6	1.5

## CALCULO DEL INDICE DOW DE FUEGO Y EXPLOSION

### 2) RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO

#### FACTORES DE RIESGO PARA:

	DESTILACION	PURIFICACION	ALMACENAMIENTO
A. TEMPERATURAS DE PROCESO (FACTOR 0.3 A 0.75)	0.6 (A2)	0.6 (A2)	0.3 (A1)
B. BAJA PRESION SUBATMOSFERICA (500 mmHg)		----	----
C. OPERACIONES EN O CERCA DEL RANGO INFLAMABLE	0.3 (C2)	0.3 (C2)	0.5 (C1)
D. POLVOS EXPLOSIVOS (0.25 A 2.0)	----	----	----
E. PRESION (DE GRAFICA)	0.234	0.208	----
F. BAJA TEMPERATURA	----	----	----
G CANTIDAD DE MATERIAL INFLAMABLE O			
1 LIQ., GASES Y MATERIALES REACTIVOS EN PROCESO (DE GRAFICA)	0.7 (G1)	0.7 (G1)	----
2 LIQ. O GASES EN ALMACENAMIENTO (DE GRAFICA)	----	----	0.25 (G2)
3 SOLIDOS COMBUSTIBLES ALMACENADOS HC = 20600 Y 7830 Kg/Hr. = 1726.17 Lb/Hr.	----	----	----
H. CORROSION Y EROSION (0.1 A 0.75)			
I. JUNTAS, FUGAS, EMPAQUES	0.1 (I1)	0.1 (I1)	0.1 (I1)
J. EQUIPO CALENTADO CON FUEGO DIRECTO	----	----	----
K. SISTEMA DE INTERCAMBIO DE CALOR CON ACEITE (0.15 A 0.15)	----	----	----
L. EQUIPO ROTATORIO	----	----	----
FACTOR BASE	1	1	1
RIESGOS ESPECIALES DE PROCESO (F2)			
F2	2.93	2.908	2.15

NOTA: LOS INCISOS A LA DERECHA DEL VALOR OBTENIDO SE REFIERE AL INCISO CORRESPONDIENTE EN EL CAPITULO 2 EN EL APARTADO DEL INDICE DOW DE FUEGO Y EXPLOSION.



TESIS:	UNIVERSIDAD LA GALLE
	LAURA SANDRA MORALES RUIZ
	CLAUDIA SOUBERVILLE V.

## CALCULO DEL INDICE DOW DE FUEGO Y EXPLOSION

### 3) CALCULO DEL INDICE DOW DE FUEGO Y EXPLOSION

DESTINACION			UBICACION			ALMACENAMIENTO		
F1 =	2.1	F1 =	2.6	F1 =	1.5			
F2 =	2.934	F2 =	2.908	F2 =	2.15			
<b>CALCULO DEL FACTOR DE RIESGOS (F3)</b>								
$F3 = F1 \times F2$								
F3 =	6.1614	F3 =	7.5608	F3 =	3.225			
<b>CALCULO DEL INDICE DOW DE FUEGO Y EXPLOSION</b>								
$IDFE = FM \times F3$								
FM =	24	FM =	24	FM =	24			
F3 =	6.1614	F3 =	7.5608	F3 =	3.225			
IDFE =	147.8736	IDFE =	181.4592	IDFE =	77.4			

EQUIVALENCIA ENTRE EL INDICE DOW DE FUEGO Y EL TIPO DE RIESGO QUE REPRESENTA

IDFE	TIPO DE RIESGO
1 - 60	LIGERO
61 - 96	MODERADO
97 - 127	INTERMEDIO
128 - 158	GRAVE
MAS DE 158	SEVERO

**EQUIVALENCIA ENTRE EL INDICE DOW Y EL TIPO DE  
RIESGO QUE REPRESENTA**

<b>IDFE</b>	<b>TIPO DE RIESGO</b>	<b>CONSECUENCIAS</b>
1 - 60	LIGERO	-BAJO RIESGO. LA PROBABILIDAD DE QUE OCURRA FUEGO ES MINIMA O ASIMISMO PUEDE SER CONTROLADA.
61 - 96	MODERADO	-LOS MATERIALES SON DE MODERADA INFLAMABILIDAD, AUMENTA LIGERAMENTE LA DIFICULTAD DE EXTINCION Y LOS DAÑOS SON MODERADOS
97 - 127	INTERMEDIO	-LOS MATERIALES SON DE MODERADA A ALTA INFLAMABILIDAD, PUEDE SER DIFICIL DE EXTINGUIR Y LOS DAÑOS SON ENTRE MODERADOS Y APRECIABLES
128 - 158	GRAVE	-ALTO RIESGO, ALTA INFLAMABILIDAD Y ALTA EXPLOSIVIDAD, . SU EXTINCION Y LOS DAÑOS CAUSADOS SON CONSIDERABLES
MAS DE 158	SEVERO	-EXISTE UNA ACUMULACION DEL DE FACTORES QUE CREAN UN PELIGRO ESTOS PUEDEN SER:-GRANDES CANTIDADES DE LIQUIDOS INFLAMABLES OPERACION O AREA DEL RANGO DE EXPLOSION DE LOS MATERIALES OPERACION SOBRE EL PUNTO DE AUTO-IGNICION OPERACION CON DIVERSOS REACCIONANTES QUIMICOS

## CALCULO DEL INDICE DOW DE FUEGO Y EXPLOSION

### 4) DETERMINACION DEL DAÑO MAXIMO PROBABLE DE LA PROPIEDAD (BASE)

DETERMINACION DEL DAÑO MAXIMO PROBABLE A LA PROPIEDAD (BASE) = DMPP (b)			
DMPP (b) = VALOR DEL AREA DE EXPOSICION X FACTOR DE DAÑOS			
	DEFINICION	PURIFICACION	ALMACENAMIENTO
FACTOR MATERIAL (FM)	24	24	24
FACTOR DE RESGOS (F3)	6.1614	7.5068	3.225
FACTOR DE DAÑOS LEIDO DE GRAFICA CON FM Y F3	0.85	0.87	0.66
DETERMINACION DEL AREA DE EXPOSICION			
LEIDO DE GRAFICA CON IDFE EL RADIO Y LUEGO SACAR EL AREA CON $A = \pi r^2$ LA OTRA OPCION ES MULTIPLICAR EL IDFE POR 0.84 Y OBTENGO EL RADIO .			
RADIO DE EXPOSICION (r = en pies)	124.2108	151.331	65.01
AREA DE EXPOSICION: $A = \pi r^2$	48469.62	71946.01	13277.344
VALOR DEL AREA DE EXPOSICION	8.9E+07	8.9E+07	8.9E+07
DAÑO MAXIMO PROBABLE A LA PROPIEDAD	8.9E+07	8.9E+07	8.9E+07

## CALCULO DEL INDICE DOW DE FUEGO Y EXPLOSION

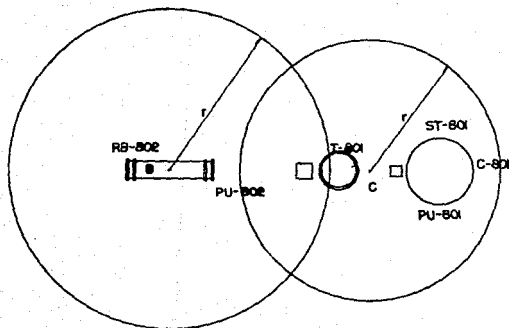
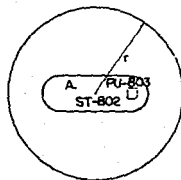
### 4) DETERMINACION DEL DAÑO MAXIMO PROBABLE DE LA PROPIEDAD (BASE)

	DESTILACION	PURIFICACION	ALMACENAMIENTO
FACTOR MATERIAL (FM)	24	24	24
FACTOR DE RIESGOS (F3)	6.1614	7.5068	3.225
FACTOR DE DAÑOS LEIDO DE GRAFICA	0.85	0.87	0.66
<b>DETERMINACION DEL AREA DE EXPOSICION</b>			
LEIDO DE GRAFICA CON IDFE EL RADIO Y LUEGO SACAR EL AREA CON $A = \pi r^2$ LA OTRA OPCION ES MULTIPLICAR EL IDFE POR 0.84			
RADIO DE EXPOSICION (r en pies)	124.2108	151.331	65.01
AREA DE EXPOSICION: $A = \pi r^2$	48469.62	71946.01	13277.344
<b>DETERMINACION DEL VALOR DE REPOSICION</b>			
VALOR DE REPOSICION = COSTO ORIGINAL X 0.82 X FACTOR DE ESCALACION			
EL VALOR DE REPOSICION SE OBTIENE DE VALOR DE REPOSICION DE LA PROPIEDAD CONTENIDA EN DICHA AREA ES DECIR EL COSTO ORIGINAL DE LA PROPIEDAD CONTENIDA EN TODA EL AREA (INCLUYENDO LA MATRIA PRIMA) QUE PUEDE SER AFECTADA.			
EL FACTOR DE ESCALACION EN ESTE CASO ES 1.0 YA QUE LAS CONDICIONES DE DISEÑO ESTAN HECHAS EN BASE A LAS CONDICIONES DE OPERACION.			
	DESTILACION	PURIFICACION	ALMACENAMIENTO
<b>I) COSTOS DE LAS UNIDADES DE PROCESO</b>			
TD= TORRE DE DESTILACION TODO EN COND=CONDENSADOR. PESOS REHERVI= REHERVIDOR MEXICANOS BOMB CEN= BOMBA CENTRIFUGA	3.0E+07 TD 2.1E+07 COND. 1.7E+07 REHERVI. 4.9E+06 BOMB.CEN	1.9E+07 REACTOR 1.5E+07 BOMBA	1.5E+06 TANQUE DE ALMACE - NAMIENTO.
TOTALES DEL EQUIPO POR PROCESO	7.4E+07 TOTAL	3.4E+07 TOTAL	1.5E+06 TOTAL
<b>II) COSTOS DE LA MATERIA PRIMA</b> 1,3 BUTADIENO: \$/TON 2,124,096 PESOS \$ TON / AÑO 2,655,120 PESOS \$TON / DIA 72,696 PESOS 1 USD = 3900 PESOS	COSTO TON / DIA (PESOS) 72719.5	COSTO TON / DIA (PESOS) 72719.5	COSTO TON / DIA 72719.5
TOTALES DE MATERIA PRIMA POR PROCESO	72719.5	72719.5	72719.5
COSTO ORIGINAL DE LA PROPIEDAD CONTENIDA EN EL AREA (I + II) INCLUYE LA SUMA DEL COSTO DE LOS EQUI- POS ADYACENTES QUE PUEDEN SER AFEC- TADOS TAMBIEN.	7.4E+07 3.4E+07 7.3E+04 72719.5	7.4E+07 3.4E+07 7.3E+04 72719.5	7.4E+07 3.4E+07 7.3E+04 72719.5
<b>VALOR DEL AREA DE EXPOSICION</b>	<b>8.9E+07</b>	<b>8.9E+07</b>	<b>8.9E+07</b>

## CALCULO DEL INDICE DOW DE FUEGO Y EXPLOSION

### 4) DETERMINACION DEL DAÑO MAXIMO PROBABLE DE LA PROPIEDAD (BASE)

	DESTILACION	PURIFICACION	ALMACENAMIENTO
FACTOR MATERIAL (FM)	24	24	24
FACTOR DE RIESGOS (F3)	0.1014	7.5068	3.225
FACTOR DE DAÑOS LEIDO DE GRAFICA	0.85	0.87	0.86
<b>DETERMINACION DEL AREA DE EXPOSICION</b>			
LEIDO DE GRAFICA CON IDFE EL RADIO Y LUEGO SACAR EL AREA CON $A = \pi r^2$ LA OTRA OPCION ES MULTIPLICAR EL IDFE POR 0.84			
RADIO DE EXPOSICION (r = en pies)	124 2'08	151.331	85 01
AREA DE EXPOSICION $A = \pi r^2$	48459.62	71949.01	13277.344
<b>DETERMINACION DEL VALOR DE REPOSICION</b>			
VALOR DE REPOSICION = COSTO ORIGINAL X 0.82 X FACTOR DE ESCALACION			
EL VALOR DE REPOSICION SE OBTIENE DE VALOR DE REPOSICION DE LA PROPIEDAD CONTENIDA EN DICHA AREA ES DECIR EL COSTO ORIGINAL DE LA PROPIEDAD CONTENIDA EN TODA EL AREA (INCLUYE NDO LA MATERIA PRIMA) QUE PUEDE SER AFECTADA.			
EL FACTOR DE ESCALACION EN ESTE CASO ES 1.0 YA QUE LAS CONDICIONES DE DISEÑO ESTAN HECHAS EN BASE A LAS CONDICIONES DE OPERACION			
<b>COSTOS DE LAS UNIDADES DE PROCESO</b> 10 = TORRE DE DESTILACION TODO EN COND = CONDENSADOR PESOS REH = REHERVIDOR MEXICANOS BOMB = BOMBA CENTRIFUGA	<b>DESTILACION</b> 3.0E+07 TO 2.1E+07 COND. 1.7E+07 REH ERVI 4.9E+08 BOMB CEN	<b>PURIFICACION</b> 1.9E+07 REACTOR 1.5E+07 BOMBA	<b>ALMACENAMIENTO</b> 1.5E+08 TANQUE DE ALMACE - NAMIENTO.
<b>COSTOS DE LA MATERIA PRIMA</b> 1.3 BUTADIENO: \$ TON / AND 2,855.200 PESOS \$ TON / DIA 73,698 PESOS 1 USD = 3909 PESOS	<b>COSTO TON/DIA (PESOS)</b> 72719.5	<b>COSTO TON/DIA (PESOS)</b> 72719.5	<b>COSTO TON/DIA</b> 72719.5
<b>TOTALES DE EQUIPO POR PROCESO</b>	74E+07	34E+07 TOTAL	1.5E+08 TOTAL
<b>TOTALES DE MATERIA PRIMA POR PROCESO</b>	72719.5	72719.5	72719.5
<b>COSTO ORIGINAL DE LA PROPIEDAD</b>	74E+07	74E+07	74E+07
<b>CONTENIDA EN EL AREA (I + II)</b>	34E+07	34E+07	34E+07
<b>INCLUYE LA SUMA DEL COSTO DE LOS EQUIPOS ADYACENTES QUE PUEDEN SER AFECTADOS TAMBIEN</b>	73E+04	73E+04	73E+04
	72719.5	72719.5	72719.5
<b>VALOR DEL AREA DE EXPOSICION</b>	8.9E+07	8.9E+07	8.9E+07
<b>DETERMINACION DEL DAÑO MAXIMO PROBABLE A LA PROPIEDAD (BASE) = DMPP (b)</b>			
<b>DMPP (b) = VALOR DEL AREA DE EXPOSICION X FACTOR DE DAÑOS</b>			
	DESTILACION	PURIFICACION	ALMACENAMIENTO
FACTOR MATERIAL (FM)	24	24	24
FACTOR DE RIESGOS (F3)	0.1014	7.5068	3.225
FACTOR DE DAÑOS LEIDO DE GRAFICA CON FM Y F3	0.85	0.87	0.86
<b>DETERMINACION DEL AREA DE EXPOSICION</b>			
LEIDO DE GRAFICA CON IDFE EL RADIO Y LUEGO SACAR EL AREA CON $A = \pi r^2$ LA OTRA OPCION ES MULTIPLICAR EL IDFE POR 0.84 Y OBTENGO EL RADIO.			
RADIO DE EXPOSICION (r = en pies)	124 2'08	151.331	85 01
AREA DE EXPOSICION $A = \pi r^2$	48459.62	71949.01	13277.344
<b>VALOR DEL AREA DE EXPOSICION</b>	8.9E+07	8.9E+07	8.9E+07
<b>DAÑO MAXIMO PROBABLE A LA PROPIEDAD (BASE)</b>	8.9E+07	8.9E+07	8.9E+07



**RADIOS DE AFECTACION**

- A. ALMACENAMIENTO 65.01 pies , 19.70 m  
B. PURIFICACION 151.33pies , 46.0 m  
C. DESTILACION 124.21pies , 37.76m.

<b>U L S A</b>	VISTA GENERAL DE LA PLANTA
	TESIS PROFESIONAL
	LAURA SANDRA MORALES R. CLAUDIA SOUBERVILLE V.

TESIS: UNIVERSIDAD LA SALLE  
 LAURA SANDRA MORALES R.  
 CLAUDIA SOUBERVILLE V.

## CALCULO DEL INDICE DOW DE FUEGO Y EXPLOSION

### 5) DETERMINACION DEL DAÑO MAXIMO PROBABLE DE LA PROPIEDAD (REAL)

DETERMINACION DEL DAÑO MAXIMO PROBABLE A  
 LA PROPIEDAD (REAL) = DMPP (REAL)

LA PROPIEDAD (REAL) DMPP (REAL) = DMPP (BASE) x FACTOR DE CREDITO

### FACTORES DE CREDITO EN EL CONTROL DE PERDIDAS PARA TODO EL PROCESO

<b>I) CONTROL DEL PROCESO (C1)</b>			
ENERGIA DE EMERGENCIA	-----	<b>C1 = 0.95</b>  CALCULO: 1-7.06/150 VER CAP. 2	
ENFRIAMIENTO	-----		
CONTROL DE EXPLOSION	-----		
PARO DE EMERGENCIA	-----		
CONTROL POR COMPUTADORA	-----		
GAS INERTE	-----		
INSTRUCCIONES/PROCEDIMIENTOS DE OPERACION	0.95		
ANALISIS DE REACTIVOS	-----		
<b>II) AISLAMIENTO DEL MATERIAL (C2)</b>			
VALVULAS DE CONTROL REMOTO	-----		<b>C2 = 0.95</b>
DESCARGA/LIMPIEZA A CHORRO	0.95		
DRENAJE	-----		
INTERLOCK	-----		
<b>III) PROTECCION CONTRA INCENDIOS</b>			
DETECCION DE FUGAS	-----	<b>C3 = 0.87</b>	
ACERO ESTRUCTURAL	-----		
TANQUES BAJO TIERRA	-----		
SUMINISTRO DE AGUA	-----		
SISTEMAS ESPECIALES	-----		
SISTEMAS DE ROCIADORES	0.87		
CORTINAS DE AGUA	-----		
ESPUMA	-----		
EXTINGUIDORES MANUALES/MONITORES	-----		
PROTECCION DE CABLES	-----		
<b>TOTAL DE FACTORES DE CREDITO</b>			
<b>TOTAL C = C1 X C2 X C3</b>		<b>0.7851</b>	

TESIS: UNIVERSIDAD LA SALLE  
 LAURA SANDRA MORALES R.  
 CLAUDIA SOUBERVILLE V.

## CALCULO DEL INDICE DOW DE FUEGO Y EXPLOSION

### 5) DETERMINACION DEL DAÑO MAXIMO PROBABLE DE LA PROPIEDAD (REAL)

	DESTILACION	FUBRICACION	ALMACENAMIENTO
DMPP (base)	76040762	77829956	59043415
FACTOR DE CREDITO (C)	0.7851	0.7851	0.7851
DMPP (real)	59699602	61104299	46354985
MAXIMOS DIAS PROBABLES FUERA DE OPERACION (MDPPO) LEIDOS DE GRAFICA USANDO EL DMPP (REAL)			
INTERRUPCION DE NEGOCIOS (I.N.) = $MDPPO / 30 \times \text{VALOR DEL PRODUCTO TERMINADO} \times 0.7$ (\$ PESOS)			
0.7 ES EL RANGO DE PROBABILIDAD QUE REFLEJA QUE LA VARIABLE PUEDE OCURRIR DEBIDO A QUE EXISTEN PEQUEÑAS PERDIDAS EN COSTO PERO CON MUCHO TIEMPO DE REPARACION Y QUE ADEMÁS, SE CUENTA CON: EQUIPOS Y PARTES CRITICOS QUE MINIMIZAN LOS MDPPO Y LA I.N.			
VALOR MENSUAL DEL PRODUCTO TERMINADO	40338053	40338053	40338053



## CAPITULO V

### CONCLUSIONES:

#### ESTABLECIMIENTO DE MEDIDAS DE PREVENCION Y CONTROL DE RIESGOS

Hasta este momento hemos obtenido como resultante del estudio 3 eventos máximos creíbles identificados (incendio de los tanques de almacenamiento y destrucción total y/o parcial de los procesos de purificación y polimerización), así como sus respectivas áreas de afectación.

Debido a que después del análisis se llegaron a obtener riesgos inaceptables (riesgo moderado y alto) es necesario desarrollar una estrategia para eliminar, reducir o relocalizar el riesgo del área de proceso.

De hecho lo más importante en este momento es el establecer una serie de medidas que nos permitan la eliminación o minimización del riesgo para que llegue a niveles "aceptables" desde el punto de vista de la técnica desarrollada. (se anexas medidas).

Como se ha podido observar la técnica del índice de Dow nos permite identificar el nivel de riesgo al que un proceso químico se ve sometido, por lo que su aplicación a la industria es de un valor incalculable si consideramos que los principales valores a resguardar son los humanos, ambientales y económicos.

Es conveniente resaltar que en el anexo de medidas preventivas y recomendaciones solamente hemos establecido medidas tendientes a reducir la frecuencia de los eventos o a minimizar sus consecuencias debido a que el método utilizado solamente nos permite recomendar medidas generales dentro de las que se encuentran:

TIPO DE MEDIDA:	EN BASE A:
-Sustitución de materias primas	Los materiales riesgosos empleados o producidos
-Modificaciones al proceso	A las condiciones críticas del riesgo del proceso
-Reforzamiento de la instrumentación	Condiciones de vulnerabilidad del equipo y de la distribución de la planta

En el uso de cualquiera de los métodos descritos en el capítulo 2 se debe tener presente que para el establecimiento de medidas hay que establecer controles con el siguiente orden de prioridad en cuanto al manejo del riesgo:

- Eliminación del Riesgo (controles de ingeniería)
- Confinamiento de Riesgo (controles de ingeniería para maquinaria o herramienta)
- Reducción de la exposición del personal (equipo de protección personal)

Es conveniente recordar que aún a pesar de los sistemas instalados, las causas de accidentes en un gran porcentaje se deben a errores humanos que se clasifican como actos inseguros por lo que dentro de las áreas de cada instalación se deben de seguir los siguientes lineamientos:

- Implantar criterios para la selección y contratación del personal; así como contar con expedientes que documenten los exámenes físicos y de aptitudes realizados a cada trabajador.
- Contar con procedimientos e instrucciones de operación de los equipos por escrito en forma clara y concisa.
- Asegurar que sea del conocimiento y cumplimiento general la política de seguridad establecida por la empresa en donde se clarifique como línea primaria la importancia de la seguridad . Estando ésta firmada por la más alta autoridad de la empresa ratificando su compromiso.
- Establecer estándares en seguridad para tener un medidor en cuanto a la prevención y disminución de los riesgos.

- Asegurar que tanto empleados como contratistas reciban la capacitación y el entrenamiento adecuados y que sean competentes en el cumplimiento de sus tareas tanto en condiciones normales como extraordinarias u ocasionales.
- Registrar y establecer en forma rigurosa la periodicidad con la cual se entrena y capacita al personal.
- Informar al trabajador de los riesgos a los cuales está expuesto durante la realización de sus labores diarias.
- Revisar en forma periódica los programas de entrenamiento y capacitación, los procedimientos de operación, las instrucciones en el trabajo, las medidas correctivas para los actos inseguros etc., reconociendo tanto el cumplimiento adecuado como el extraordinario.
- Actualizar los estudios de identificación de peligros y análisis de riesgos en forma periódica sobre todo en aquellos casos en los que se realice un cambio en el proceso, en la materia prima utilizada o en la distribución de la planta.

Todo el análisis realizado a lo largo de la tesis nos permite tener una visión clara de las causas de los accidentes catastróficos que al ser identificadas y cuantificadas nos dan la pauta para el establecimiento de los controles adecuados.

Es evidente que todo control implica un costo que tendrá que ser tomado en cuenta para su implementación en base a las posibilidades económicas y prioridades de la empresa. Por lo que en este caso debe llegarse a un equilibrio en cuanto al "costo - beneficio", siendo el método del índice de fuego y explosión de dow una forma adecuada de ejemplificación de esta regla importante para los altos directivos de cualquier compañía.

El análisis de seguridad en procesos elaborado en esta tesis es solamente una pequeña parte de lo que se conoce como la Administración de Seguridad de Procesos relativa a un sistema de medidas administrativas que nos llevan al establecimiento de programas y estudios específicos cuyo fin último es el de garantizar la seguridad del personal, de la comunidad circunvecina, de las instalaciones y del medio ambiente que giran en torno de la empresa.

El acopio de experiencia ha demostrado que dentro de los marcos de desarrollo sostenible y de economía globalizada la competitividad de la industria es la condición básica de supervivencia, permanencia y crecimiento.

Y que al igual que la productividad, la calidad y los costos, la seguridad, la higiene y el medio ambiente son un factor decisivo para lograr el nivel requerido de competitividad y, de la misma manera que es necesaria la reconversión de los procesos, se requiere el cambio en los enfoques tradicionales hacia aquellos que garantizan la prevención efectiva. Pero sin perder de vista que cualquier esfuerzo o programa encaminado hacia este nuevo enfoque debe de contar con la aprobación de los más altos niveles directivos para de esta manera garantizar su éxito.

TESIS: UNIVERSIDAD LA SALLE  
 LAURA SANDRA MORALES R.  
 CLAUDIA SOUBERVILLE V.

### 1) CUADRO DE MEDIDAS PREVENTIVAS Y RECOMENDACIONES

TIPO DE RIESGO	DESCRIPCION	MEDIDAS PREVENTIVAS	RECOMENDACIONES
MODERADO	INCENDIO EN EL TANQUE DE ALMACENA - MIENTO DE BUTADIENO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- PROTECCION CONTRA INCENDIO CON SISTEMA DE AGUA LIGERA</li> <li>- SISTEMA DE ATRAPA FLAMAS EN VALVULA DEL TANQUE.</li> <li>- SISTEMA DE DIQUE CON CAPACIDAD MINIMA DEL 120% DE LA CAPACIDAD DEL TANQUE.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- INSTALAR SISTEMA DE ROCIADORES PARA TANQUES.</li> <li>- TENER UN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA CONSERVAR EN BUEN ESTADO LOS ATRAPA FLAMAS.</li> <li>- TENER UN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PERIODICO DE LOS SISTEMAS DE CORTE AUTOMATICO.</li> <li>- EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA LIGERA DEBERA SER CALCULADO PARA NO REBASAR ESTOS LIMITES DEL DIQUE.</li> </ul>

TESIS: UNIVERSIDAD LA SALLE  
 LAURA SANDRA MORALES R.  
 CLAUDIA SOUBERVILLE V.

## 2) CUADRO DE MEDIDAS PREVENTIVAS Y RECOMENDACIONES

TIPO DE RIESGO	DESCRIPCION	MEDIDAS PREVENTIVAS	RECOMENDACIONES PARA DESTILACION
GRAVE	DESTRUCCION TOTAL DE LA TORRE DE DESTILACION.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- SUPRESORES DE EXPLOSION.</li> <li>- SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO DE ALTA PRESION.</li> <li>- TANQUE SUPRESOR DE EXPLOSION.</li> <li>- CONSERVACION DE SISTEMAS DE MEDICION DE PRESION Y TEMPERATURA ACTUALES.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- INSTALAR Y MANTENER ADECUADAMENTE LOS SUPRESORES DE EXPLOSION.</li> <li>- INSTALAR Y MANTENER ADECUADAMENTE LOS SISTEMAS DE CONTROL POR ALTA PRESION.</li> <li>- MANTENER EL TANQUE EXISTENTE EN BUENAS CONDICIONES DE OPERACION PERMANENTES.</li> <li>- TENER UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PERMANENTE PARA LOS SISTEMAS INSTALADOS.</li> </ul>

### 3) CUADRO DE MEDIDAS PREVENTIVAS Y RECOMENDACIONES

TIPO DE RIESGO	DESCRIPCION	MEDIDAS PREVENTIVAS	RECOMENDACIONES PARA PURIFICACION
SEVERO	- DESTRUCCION TOTAL DEL REACTOR Y DE LA UNIDAD DE PROCESO.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CONTROLADORES DE PRESION Y TEMPERATURA.</li> <li>- SISTEMA DE INHERTIZACION INTERIOR.</li> <li>- SISTEMAS DE SUPRESORES DE EXPLOSION.</li> <li>- VALVULAS DE RELEVO Y DISCOS DE RUPTURA.</li> <li>- SISTEMA DE INUNDACION DE TERBUTILCA-TECOL PARA EVITAR LA POLIMERIZACION.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- TENER UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA ESTOS CONTROLES.</li> <li>- INYECTAR NITROGENO DENTERO DEL REACTOR PARA EVITAR LA FORMACION DE UNA MEZCLA EXPLOSIVA.</li> <li>- INSTALAR SUPRESORES DE EXPLOSION PARA MINIMIZAR LOS DANOS.</li> <li>- TENER UN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS SISTEMAS EXISTENTES ACTUALES.</li> <li>- MANTENER UN DISPOSITIVO AUTOMATICO PARA EVITAR POLIMERIZACIONES ACCIDENTALES.</li> </ul>

## BIBLIOGRAFIA

- Guiding Principles for Protection of High-Hazard Chemical and Petrochemical Plant Units: Vapor Clouds  
Con base a los estudios de Industrial Risk Insurance.
- Hazardous Material First Response Course  
Union Pacific Railroad & U.S. Environmental Protection Agency  
Región VI.
- Pocket Guide to Chemical Hazards .NIOSH/OSHA.
- Fire Protection Guide on Hazardous Materials. 8ª Edición.  
National Fire Protection Association.
- Reglamento para La Clasificación de Empresas y  
Determinación del Grado de Riesgo del Seguro de Riesgos del  
Trabajo. IMSS, 1981.
- Accident Prevention Manual for Industrial Operations. 4ª  
Edición. National Safety Council
- Introducción a la Higiene Industrial. Bloomfield, J.J.
- Seguridad Industrial. Blake Pr. Editorial Diana.
- Practical Risk Analysis for Safety Management. Kinney O.F.,  
Wruth, A.D.
- Mathematical Evaluation for Controlling Hazards. Fine,  
William T., Naval Ordinance Laboratory.
- Loss Control Management. Bird, Frank E. and Robert G.  
Lofthis. Institute Press Georgia.
- Administración del Control Total de Pérdidas. Bird, Frank  
E. y Grank E. Fernández. Consejo Interamericano de Seguridad.
- Guía de Riesgos Químicos. NIOSH/OSHA. Instituto de  
Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Seguridad Industrial. Deint, Denton. Mac Graw Hill, 1984
- Principles of Fire Protection Chemistry. Richard L. Tuwe.  
NFPA.
- Safety and Accident Prevention Chemical Operations .  
Fewcewt, H.H. and Wood W.S. Interscience.



- Industrial Accident Prevention. Heinrich, H.W., Inc. New York. EUA.
- Plant Guidelines for Technical Management of Chemical Process Safety. CCPs. AICHE. 1991
- Guidelines for Tehnical Management of Chemical Process Safety. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers. 1989.
- Hazard Evaluation Procedures. CCPs AICHE. Second Edition, 1992.