



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

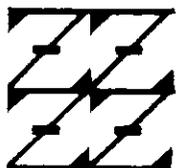
22
29

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA

RIESGO AMBIENTAL EN PROCESOS
QUIMICOS

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A N :
JIMENEZ BARRANCO RAFAEL
RODRIGUEZ ATRIANO GERARDO

U N A M
F E S
Z A R A G O Z A



LO HUMANO EJE
DE NUESTRA REFLEXION

MEXICO, D. F.

1998.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

265754



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 esta 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA

OFICIO: FESZ/JCIQ/0023/98

ASUNTO: Asignación de Jurado

C. RAFAEL JIMENEZ BARRANCO
GERARDO RODRIGUEZ ATRIANO
Presente

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado para el Examen Profesional, le comunico que la Jefatura a mi cargo ha propuesto la siguiente designación:

Presidente: M. en C. Alberta L. Castillo Granada

Vocal: I.Q. Adolfo Portilla González

Secretario: I.Q. Miguel Angel Varela Cedillo

Suplente: I.Q. José Antonio Zamora Plata

Suplente: I.Q. Balbina Patricia García Aguilar

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

México, D.F., 4 de Junio de 1998

EL JEFE DE LA CARRERA


I.Q. Magín Enrique Juárez Villar

Irm

Dedicatoria.

A mis padres.

Por su gran esfuerzo, apoyo incondicional y cariño que me dan en todos los momentos de mi vida para el logro de mis metas.

A mis hermanos.

Por el cariño que nos une y por la ayuda desinteresada que me brindan en cualquier momento.

A mis familiares

Por brindarme en algún momento de su vida sus consejos, apoyo moral y algo más.

A mis amigos

A todas aquellas personas con las que he vivido experiencias buenas y malas; pero sobre todo a aquellas personas que comparten conmigo una amistad sincera e incondicional.

Dedicatoria.

A mis Padres.

Ema y Cesar por sus estímulos, consejos y por su cariño y comprensión en las etapas difíciles.

A mis Hermanos.

Mari, Cristina, Angel, Livoria, Victor, Lorena, Armando y Silvino, por su estímulo, ayuda y por los momentos de felicidad que hemos tenido.

A mis Sobrinos.

Fernando, Janet, Joel, Ileana, Miguel Angel, Areli, Marco, Mónica, Cristian, Talia, Brayan, Fany, Cesar, Diana, Orlando, Monserrat y Joshua, que me dan alientos para seguir adelante; cada vez que uno se lo propone.

A mis amigos.

Que han estado en las buenas y en las malas, y gracias por brindarme su amistad y su confianza durante este tiempo; así como a todas aquellas personas que de alguna manera influyeron.

¡NO CLAUDIQUES!

*Si en la Lid el Destino te Derriba
Si Todo en tu camino es Cuesta Arriba
Si tu Sonrisa es Ansia Insatisfecha
Si hay Faena Excesiva y Vil Cosecha,
Si a tu Caudal se Contraponen Diques,
Date una Tregua pero; No Claudiques!!
Siempre adelante.*

Agradecimientos.

Agradecemos profundamente a la **Universidad Nacional Autónoma de México**, por la preparación que da, tanto a nosotros como a mucha gente.

A la **Facultad de Estudios Superiores Zaragoza**, por haber sido el lugar donde realizamos los estudios de licenciatura que constituyen una meta en nuestra vida.

A nuestros asesores los Ingenieros **Adolfo Portilla González** y **Balbina Patricia García Aguilar**, ya que durante el desarrollo de la presente tesis nos brindaron su apoyo.

Quiero agradecer especialmente a mi maestro de Química **Andrés Espriella** (Colegio de Bachilleres No. 10).

CONTENIDO

CONTENIDO

| | |
|----------------------|---|
| Resumen. | 1 |
| Objetivos. | 2 |
| Introducción. | 4 |

CAPITULO 1

1. Antecedentes.

| | | |
|---------|--|----|
| 1.1 | Accidentes más importantes en el mundo..... | 7 |
| 1.2 | Definiciones de riesgo y accidente..... | 10 |
| 1.2.1 | Términos asociados a la discusión de riesgo..... | 11 |
| 1.3 | Tipos de riesgo en procesos químicos..... | 12 |
| 1.3.1 | Riesgo ambiental..... | 13 |
| 1.3.2 | Medidas de los niveles de exposición para productos químicos tóxicos..... | 14 |
| 1.3.3 | Accidentes químicos que involucran riesgos ambientales..... | 15 |
| 1.3.3.1 | Explosión..... | 15 |
| 1.3.3.2 | Incendio..... | 15 |
| 1.3.3.3 | Fuga y derrame de sustancias peligrosas..... | 15 |
| 1.3.4 | Categorías de riesgo ambiental..... | 16 |
| 1.3.5 | Niveles de atención..... | 17 |
| 1.4 | Causas de crecimiento de accidentes..... | 17 |
| 1.4.1 | Diversificación de tipos de peligros..... | 17 |
| 1.4.2 | Crecimiento de la población..... | 18 |
| 1.4.3 | Deficiencias del control de desastres..... | 19 |
| 1.5 | Administración del riesgo..... | 20 |
| 1.5.1 | Opciones de administración del riesgo..... | 21 |
| 1.5.1.1 | Prevención..... | 22 |
| 1.5.1.2 | Protección..... | 24 |
| 1.5.1.3 | Mitigación..... | 25 |

CAPITULO 2

2. Marco Jurídico de Riesgo Ambiental a Nivel Federal.

| | | |
|-------|--|----|
| 2.1 | Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos..... | 27 |
| 2.2 | Fundamentos jurídicos..... | 28 |
| 2.2.1 | Distribución de competencias y coordinación..... | 29 |

| | | |
|-------|---|----|
| 2.2.2 | Instrumentos de política ambiental..... | 29 |
| 2.2.3 | Actividades consideradas como altamente riesgosas..... | 32 |
| 2.3 | Reglamento en materia de Impacto Ambiental LGEEPA..... | 33 |
| 2.3.1 | Procedimiento de evaluación de Impacto Ambiental..... | 34 |
| 2.4 | Regulación de actividades altamente riesgosas..... | 36 |
| 2.4.1 | Criterios y procedimientos..... | 37 |
| 2.4.2 | Definición de conceptos..... | 38 |
| 2.4.3 | Primer listado de actividades altamente riesgosas..... | 39 |
| 2.4.4 | Segundo listado de actividades altamente riesgosas..... | 41 |

CAPITULO 3

3. Metodologías para la evaluación de Análisis de Riesgos en Procesos Químicos.

| | | |
|-------|---|----|
| 3.1 | Desarrollo histórico de las metodologías para el análisis de riesgo.... | 44 |
| 3.2 | Análisis de riesgo en procesos químicos..... | 46 |
| 3.3 | Etapas de un análisis de riesgos..... | 46 |
| 3.4 | Métodos cualitativos..... | 48 |
| 3.4.1 | Índice de fuego y explosión (DOW)..... | 48 |
| 3.4.2 | Índice de fuego explosión y toxicidad (MOND)..... | 56 |
| 3.4.3 | Lista de verificación (CHECK LIST)..... | 61 |
| 3.5 | Métodos semicualitativos..... | 65 |
| 3.5.1 | Análisis ¿Qué pasa si...? (WHAT IF)..... | 65 |
| 3.5.2 | Estudio de riesgo y operabilidad (HAZOP)..... | 71 |
| 3.5.3 | Análisis de árbol de fallas (FAULT TREE ANALYSIS)..... | 77 |

CAPITULO 4

4. Empleo del Simulador SIRIA para la Evaluación en el Análisis de Riesgo Ambiental en Instalaciones Fijas.

| | | |
|---------|--|----|
| 4.1 | Simulador SIRIA..... | 85 |
| 4.2 | Algoritmos del simulador..... | 86 |
| 4.2.1 | Modelos de dispersión en el aire..... | 86 |
| 4.2.1.1 | Modelos de dispersión de fugas y derrames..... | 86 |
| 4.2.1.2 | Modelo de dispersión de un PUFF..... | 86 |
| 4.2.2 | Modelos de nubes explosivas..... | 86 |
| 4.2.3 | Fundamentación del modelo de fugas y derrames..... | 88 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 4.3 | Ejemplo de Aplicación (Planta de Oxido de Etileno)..... | 93 |
| 4.3.1 | Descripción del proceso (Oxido de Etileno)..... | 93 |
| 4.3.2 | Diagrama de flujo de proceso (Oxido de Etileno)..... | 94 |
| 4.3.3 | Diagrama de tubería e instrumentación (Oxido de Etileno)..... | 95 |
| 4.3.4 | Plot plan (Planta de Oxido de Etileno)..... | 96 |
| 4.4 | Planteamiento del HAZOP..... | 97 |
| 4.4.1 | Resultados del análisis de riesgo HAZOP..... | 98 |
| 4.4.2 | Conclusiones del análisis HAZOP..... | 108 |
| 4.5 | Empleo del simulador SIRIA para el proceso propuesto..... | 108 |
| 4.5.1 | Datos requeridos para la simulación empleando el modelo de fugas y derrames..... | 108 |
| 4.5.2 | Resultados..... | 109 |
| 4.5.3 | Gráfica de la pluma de emisión de gas tóxico..... | 111 |
| 4.5.4 | Análisis de resultados..... | 113 |
| | Conclusiones..... | 115 |
| | Anexos..... | 116 |
| | Bibliografía..... | 141 |

RESUMEN

A medida que la tecnología se ha incrementado y diversificado, así como también ha avanzado el riesgo asociado con esta; los efectos más importantes de la tecnología moderna sobre la salud pública se originan en la exposición prolongada y crónica a emanaciones de contaminantes de los complejos industriales. Estos problemas ambientales derivados de la tecnología guardan relación estrecha con la seguridad, puesto que, en las consecuencias ambientales, sociales y económicas, raras veces no hay implícitas fallas de seguridad ; esto se hace más evidente en el caso de emanaciones accidentales, pues en algunos casos sus efectos en el ambiente llegan a ser de consecuencias fatales.

En México, los establecimientos comerciales, industriales y de servicios han incrementado el manejo de substancias peligrosas; las que de manera más importante pueden repercutir en la población son las tóxicas, explosivas e inflamables. El crecimiento demográfico y la ubicación de los asentamientos humanos con relación a las plantas industriales pueden implicar riesgo a la población.

En la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Medio Ambiente (LGEEPA) se expresa la reglamentación de actividades cuya magnitud, o por la gravedad de los efectos que puedan generar en el equilibrio ecológico se les considera altamente riesgosas, se les trate como asunto de alcance general de la nación o de interés de la federación.

Para la identificación de riesgos potenciales en procesos y asegurar que se especifiquen acciones para su eliminación y control, es necesario emplear una serie de técnicas sistemáticas. Entre las técnicas más utilizadas se pueden mencionar el Índice de Fuego y Explosión (DOW), Índice de Fuego, Explosión y Toxicidad (MOND), Lista de Verificación (Check List), ¿Qué pasa si? (What if?), Estudio de Riesgo y Operabilidad (Hazop) y el Arbol de Fallas (Fault Tree Analysis).

Las determinaciones efectuadas con el SIRIA permiten simular escenarios de acuerdo a los datos que son recabados en los estudios de riesgo, permitiendo ver el comportamiento de la o las sustancias que se manejan; dando una visión amplia de cuales serian las consecuencias y afectaciones que abarcaría un accidente y permitiendo llevar a cabo acciones para disminuir estos radios de afectaciones.

OBJETIVOS

OBJETIVOS:

* Identificar los riesgos ambientales en la industria de proceso que involucran el manejo de sustancias peligrosas, así como las técnicas empleadas para su evaluación.

* Conocer el marco jurídico de riesgo ambiental en procesos químicos a nivel federal.

* Identificar y describir las metodologías o técnicas más adecuadas para la evaluación de análisis de riesgo en la industria de proceso que involucra el manejo de sustancias peligrosas.

* Describir la utilización de los modelos de simulación como herramienta de apoyo para la evaluación de riesgo ambiental (fugas), en instalaciones fijas.

* Aplicar el modelo de simulación SIRIA, para la evaluación de un análisis de riesgo ambiental a un ejemplo práctico (Fuga en una Planta Productora de Oxido de Etileno).

INTRODUCCIÓN

Introducción

Al mencionar los riesgos químicos en México, vienen de inmediato a la mente las duras experiencias que se han vivido en San Juan Ixhuatepec, Estado de México, y en Guadalajara, Jalisco. En la primera localidad, luego de una fuga de gas L.P., ocurrió una gran explosión que causara graves daños humanos y materiales; en la segunda, una fuga de combustible que se acumuló en el drenaje originó otra explosión y otra lamentable secuela de pérdidas.

Debemos estar consientes que los accidentes o desastres tecnológicos son más frecuentes. Se puede señalar que de febrero de 1996 a diciembre de 1997, la prensa reportó dentro del territorio nacional: 40 derrames de sustancias peligrosas; 11 incendios; 42 fugas y 20 explosiones.

De conformidad con esos datos, está claro que deben incrementarse las medidas de prevención y seguridad en las plantas e industrias que emplean agentes químicos. La forma más práctica para hacerlo es evaluando los riesgos químicos inherentes a la actividad que se desarrolla y posteriormente estableciendo medidas de prevención que apunten a la remoción y control de dichos riesgos y en todos los casos, planificando la mitigación de efectos en caso de contingencia.

La importancia del empleo de los modelos de simulación es que estiman la magnitud de los efectos sobre escenarios accidentales específicos como; flujo de calor de incendios, sobrepresiones por explosión, la dispersión y concentración de plumas emitidas al aire liberadas de sustancias peligrosas, así como el área afectada.

La lucha debe centrarse en evitar que ocurran los accidentes donde involucren sustancias peligrosas, porque sus características corrosivas, tóxicas, reactivas, explosivas, inflamables, infecciosas o irritantes, pueden extenderse en tiempo y espacio más allá de la capacidad de control del hombre.

CAPÍTULO I

Capítulo 1

Antecedentes.

1.1 Accidentes más Importantes en el Mundo.

Tres accidentes industriales que han marcado nuestra época, obligaron a la sociedad contemporánea a pensar en el riesgo y buscar los medios para cuantificarlo y dominarlo:

La refinería de Feyzin entró en servicio en 1964. Contaba con almacenamiento aéreo de hidrocarburos, entre estos una esfera de butano de 2 000 m³ y una esfera de propano de 1 200 m³. Durante el almacenamiento tenían que hacer frecuentes purgas por decantación para eliminar el agua y la sosa, que se acumulaba en la parte inferior de las esferas. La explosión de esta instalación puso de manifiesto los defectos del sistema de purga. Compuertas muy próximas entre sí, que podrían cubrirse de escarcha simultáneamente por expansión del gas; control por llave móvil, cuya caída podía acarrear un atraso en caso de necesidad de cierre rápido; diámetro de las conducciones, compuertas difíciles de maniobrar y poco accesibles.

El 4 de Enero de 1966, la operación de purga para la toma de muestra de la esfera de propano empieza a las 6:40 hrs.. Es todavía de noche y en aquel lugar la iluminación es escasa. El operador abre hasta la mitad la compuerta inferior y luego totalmente la compuerta superior. Salen algunas impurezas, pero a continuación el propano empieza a escapar repentinamente arrollando al operador, que pierde el control, deja caer la llave de la compuerta superior y, aunque intenta devolverla a su sitio no lo consigue a causa de la escarcha. El gas es más pesado que el aire; el viento, prácticamente nulo.

La capa gaseosa se extiende hasta la autopista. En este lugar, su altura es de aproximadamente de un metro y medio. Pero a las 7:15 hrs., un automóvil que se encuentra en la carretera provoca el incendio de la nube.

La red contra incendio no había sido suficientemente dimensionada para suministrar agua destinada a la extinción y, a la vez, al enfriamiento de las otras esferas. Los bomberos de Lyon se encuentran con estos problemas. Después de un intento de extinción con dos lanzas de espuma, se limitan a mojar los tanques próximos.

A las 7:45 hrs., se abren las válvulas de seguridad y el gas que se escapa se inflama inmediatamente. En aquel momento, hay en el lugar 150 personas. A

las 8:45 hrs explota la esfera; causando la muerte de 17 personas del equipo de socorro y deja heridas a otras 84. Hay una evacuación general. A las 9:45 hrs., explota una segunda esfera. Esta vez no hay víctimas, pero sí enormes pérdidas materiales que se extienden hasta Vienne, situada a 16 Km. Entre las dos esferas, queda un cráter de 35 m de longitud, 16m de anchura y 2 m de profundidad [2R].

Flixborough es una pequeña localidad rural situada a unos doscientos sesenta kilómetros al norte de Londres. La fábrica produce un producto intermedio del nylon. En la línea de fabricación hay una unidad de oxidación por aire del ciclohexano. Esta unidad comprende seis reactores en cascada, con capacidad unitaria de 45 m³. La reacción de oxidación se produce en presencia de catalizadores a 155 °C y a 8.8 bar de presión.

El 27 de marzo de 1974, se detecta una fuga en el reactor número 5, Se debió a una fisura en la pared externa que tiene su equivalente en la pared interna. El día 28, se decide retirar el reactor número 5, instalar una conducción entre el 4 y 6, esta conducción ha de unir los fuelles de dilatación de los dos reactores. El diámetro de los fuelles es de 79 cm, pero la fábrica sólo dispone de tubos de 50 cm. La conexión se efectúa mediante una placa y una brida.

Hasta el 29 de mayo, la modificación practicada va funcionando. Pero este día se descubre una fuga lo que obliga a parar la instalación. El primero de junio se pone en marcha nuevamente, pero aparecen nuevas fugas. La evolución de la presión y la temperatura se hace inquietante. Parece ser que a las 16:50 hrs., el tubo de 50 cm se rompió, liberando unas 50 toneladas de ciclohexano caliente presurizado. La nube formada se inflamó 30 seg. después, provocando una explosión cuyos efectos se extendieron hasta 50 kilómetros. Todas las casas situadas en un radio de 600 metros quedaron destruidas; las construcciones dañadas fueron más de dos mil cuatrocientas.

Veintiocho de las setenta y dos personas presentes en el lugar encontraron la muerte y treinta y seis quedaron heridas. Hubo otros cincuenta y tres heridos en el exterior de la fábrica [2R].

Bhopal es la capital de un estado del centro de India. La fábrica de Unión Carbide, a 5 kilómetros del centro urbano, está rodeada de colonias sobrepobladas. La fábrica produce un insecticida, el carbaryl, que tiene como producto intermedio de síntesis el isocianato de metilo (MIC). El

almacenamiento del MIC se hace en tres tanques, uno de los cuales siempre ha de permanecer vacío como depósito de seguridad. Estos tanques están refrigerados a 0 °C y se mantienen presurizados con nitrógeno a 2.4 bar.

El 2 de diciembre de 1984, a las 21:00 hrs., un equipo de mantenimiento trabaja en una conducción que conecta una de los tanques de almacenamiento con la unidad de producción. Se detectan fugas de MIC sin que provoquen la interrupción de la intervención. Paralelamente, otro equipo trabaja en la red de nitrógeno, haciendo descender la presión en el tanque. El producto se encuentra a 15-20 °C en vez de 0 °C. La presión en el tanque asciende y pasa de 1.14 a 1.69 bar. Son las veintitrés horas, como el aumento de presión sigue acelerándose, el responsable de la unidad llama al director a las 0 horas con veinte minutos, momento en que la presión es de 3.8 bar.

La válvula de seguridad se abre y el MIC fluye al único depurador en estado de funcionamiento. El MIC escapa por la torre de evacuación de los gases de neutralización desde las 00:30 hrs., ya que el depurador estaba notablemente subdimensionado para neutralizar por sí solo la totalidad de la fuga; el depurador No. 1 está en parada de mantenimiento; también está parado el anchón. El equipo de socorro no interviene hasta dos horas después de haberse iniciado la fuga. La atmósfera es estable; la torre de evacuación prevista para lanzar gases no tóxicos sólo mide 35 m. La nube se difunde poco por la atmósfera, pero llega a las barriadas que rodean la fábrica [2R].

Estos tres accidentes tuvieron una profunda resonancia, pero no son los únicos: otros muchos se han producido y, entre ellos, no hay que olvidar los relacionados con el transporte de materias peligrosas, que puede presentar riesgos potenciales. En México han ocurrido tres accidentes tecnológicos de gran magnitud, uno de ellos, ocasionado el 19 de noviembre de 1984 en San Juan Ixhuatpec (San Juanico), como los anteriores ocurrieron dentro de las instalaciones de recepción, almacenamiento y distribución de gas. Las pérdidas humanas y materiales fueron cuantiosas [4R].

El segundo accidente que también tuvo graves consecuencias, fue provocado por la presencia de gasolina en el drenaje de la ciudad de Guadalajara. La explosión a lo largo de 8 Km de los ductos de drenaje produjo fuertes daños en las casas habitación y las vías vitales de comunicación, así como a las redes de distribución de agua potable y alcantarillado. Los daños y lesiones a personas también fueron devastadores [4R].

Un tercer accidente de gran magnitud tuvo lugar en Córdoba, Veracruz en la Planta Anaversa (Planta Nacional de Agroquímicos de Veracruz S.A. de C.V.) que se dedicaba a la obtención de Pesticidas, el accidente fue el 3 de Mayo de 1991, el siniestro se inicio a las 12:45 hrs. por un corto circuito en las calderas que eran utilizadas para la elaboración del plaguicida Foley 1050 y de inmediato se propago hasta abarcar 600 m² de la planta industrial; alcanzando cuatro tanques que almacenaban gran cantidad de material inflamable y al estallar se desprendieron gases que penetraron por las cañerías hasta doce manzanas a la redonda de la Ciudad. Debido a las emisiones tóxicas hubo setecientas personas intoxicadas, perdidas materiales de gran magnitud y alrededor de tres mil personas desalojadas fue el resultado del Incendio y explosión. La densa nube tóxica de 4 Km de diámetro compuesta de diversos productos químicos tardo en dispersarse en la atmósfera y los efectos contaminantes en el suelo fueron desastrosos [10R].

El desarrollo histórico de la preocupación de las liberaciones accidentales proporciona la pauta para un avance general en la prevención de pérdidas en procesos industriales. La mayor parte de este desarrollo se ha enfocado a prevención de incendios y explosiones. Como la pérdida de propiedades son mayores en estos incidentes, la magnitud de las pérdidas por incendios y explosiones ha dominado por años los seguros industriales, sin embargo, las liberaciones accidentales de tóxicos no han sido ignoradas.

1.2 Definiciones de Riesgo y Accidente.

- 1.- Es una función de la probabilidad de que un evento ocurra y la magnitud o severidad del evento ocurrido (Benger, 1982).
- 2.- Medida de la probabilidad y severidad de efectos adversos(Conway,1982).
- 3.- Probabilidad de daño, pérdida o trauma (Lee and Nair, 1979).
- 4.- Probabilidad de accidentes y enfermedades que terminan en traumas o muerte (Inhaber, 1982).

De acuerdo a las anteriores definiciones de Riesgo realizadas por los autores, la definición más complementa es la siguiente:

Riesgo: Es la posibilidad de sufrir un daño o pérdida, y esta posibilidad ocurre durante casi cualquier actividad humana. El daño o pérdida es una

consecuencia adversa potencial de un evento peligroso. El riesgo de un evento define la probabilidad combinada de un evento y la gravedad de consecuencias potenciales. Los riesgos no siempre pueden ser evitados, pero si pueden ser minimizados [12R].

Al hablar de riesgo, es necesario establecer para efectos de la prevención de los accidentes con repercusiones ambientales, el concepto de riesgo que involucra los dos factores:

- 1). La magnitud de los efectos del evento, cuantificados en una escala adecuada.
- 2). La probabilidad de que se presente el evento correspondiente.

Una simple cuantificación rompe el riesgo de un evento en dos partes más fáciles de cuantificar: la probabilidad o frecuencia de un evento y las consecuencias del evento. La manera clásica de definir el riesgo es entonces la ecuación:

$$\text{RIESGO} = (\text{PROBABILIDAD}) * (\text{CONSECUENCIAS})$$

Mientras que por otro lado [7R] define a accidente o desastre tecnológico como:

Accidente o Desastre Tecnológico: Acción de origen humano y/o natural que se presenta en forma súbita o inesperada y que produce involuntariamente, aunque muchas veces previsible, daños severos a las personas, instalaciones, procesos tecnológicos y/o medio ambiente.

1.2.1. Términos Asociados a la Discusión de Riesgo.

Los conceptos que se derivan de la discusión de riesgo [2R] describe a los siguientes:

Aceptabilidad de Riesgo: Una determinación por las partes afectadas de que los beneficios y costos de evaluación del riesgo son valiosos.

Comunicación del Riesgo: Un intercambio provechoso de información sobre salud o riesgos ambientales entre las parte afectadas o interesadas. Esta comunicación puede incluir una discusión sobre las consecuencias del riesgo y los controles del mismo.

Administración de Riesgo: Proceso de toma de decisiones en cuanto a la aceptabilidad del riesgo y su control. El control de riesgo se aplica normalmente si el riesgo no mitigado es juzgado como inaceptable.

Percepción del Riesgo: La creencia de un grupo o individuo sobre las bases del riesgo acerca de sus valores y definiciones internas. La percepción pública sobre el riesgo es a menudo muy diferente que la percepción individual del riesgo.

Prevención del Riesgo: Paso donde el riesgo o su exposición es eliminado a través de la suspensión de una actividad.

Control y Mitigación del Riesgo: Ingeniería, equipo y procedimientos de medidas de control que reduzcan la probabilidad y severidad de las consecuencias de un riesgo identificado.

1.3 Tipos de Riesgos en Procesos Químicos.

Existen dos tipos básicos de riesgo asociados a operaciones industriales:

Riesgo de seguridad ocupacional (Ambiente Laboral).
Riesgo ambiental.

Ambos contemplan el riesgo a la salud humana, el cuál ya no se mencionara por motivos de simplicidad. El enfoque o alcance de esta tesis esta encaminado al Riesgo Ambiental, el cual se define más adelante.

El Riesgo ambiental está asociado con eventos que dañan el aire, agua, tierra flora y fauna, mientras que el riesgo de seguridad ocupacional (ambiente laboral) está asociado específicamente con eventos que atentan contra la salud y vida humana.

Algunos riesgos caen dentro de ambas categorías. Por ejemplo, la liberación accidental de un químico peligroso puede ser vista como una preocupación de seguridad ocupacional bajo ciertas circunstancias y como una preocupación ambiental bajo otras circunstancias. Las liberaciones pequeñas y limitadas pueden afectar la salud de un solo trabajador teniendo un efecto insignificante en el ambiente. Las liberaciones de una misma sustancia sobre un área extensa pueden ser tanto problemas de seguridad ocupacional como ambientales.

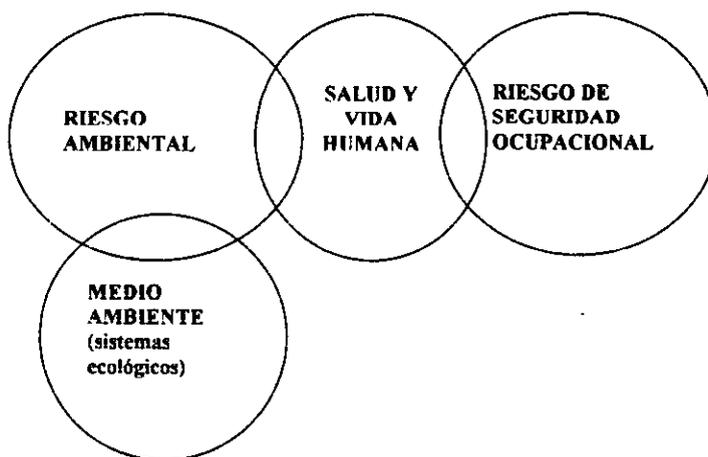


Figura 1.3-1: Interrelaciones de Riesgo Ambiental.

1.3.1. Riesgo Ambiental.

Es la probabilidad de que ocurran evento(s) que produzcan daños tanto a la población como al medio ambiente; desencadenando una serie de consecuencias adversas que se caracterizan por múltiples alteraciones, impidiendo la realización de sus actividades esenciales y afectando su funcionamiento y operación normal [7R].

1.3.2. Medidas de los Niveles de Exposición para Productos Químicos Tóxicos.

Límite de Exposición de Corto Plazo (STEL, Short Term Exposure Limit): Es la concentración máxima de un químico a la que un trabajador sano puede estar expuesto por arriba de 15 minutos [9R].

Limite Permisible de Exposición (PEL, Permissible Exposure Limit): Este limite determinado por la agencia de Administración de la Seguridad Ocupacional y la Salud (OSHA) es la máxima concentración de productos químicos en el aire legalmente permitido al que un trabajador sano puede estar expuesto durante un periodo de 8 hrs. [9R].

Dosis Inmediata Peligrosa para la Vida y la Salud (IDLH, Immediately Dangerous to Life or Health): Es la concentración máxima en ppm o en mg/m^3 de un contaminante tóxico del cual una persona puede escapar sin daños irreversibles a su salud en un período de hasta 30 minutos de exposición [9R].

Concentración Letal Media (LC50, Median Lethal Concentration): La concentración de productos químicos en el aire en el cual 50% de los animales de prueba murieron en un lapso de 8 hrs. [9R].

Dosis Letal Media (LD50, Median Lethal Dose): La dosis de productos químicos aplicada oral o cutáneamente en la cual el 50% de los animales de prueba murieron en un lapso de 8 hrs. [9R].

Concentración Letal Baja (LCLO, Lethal Concentration Low): La concentración más baja de productos químicos en el aire en la cual alguno de los animales de prueba murieron en un lapso de 8 hrs. [9R].

Dosis Letal Baja (LDLO, Lethal Dose Low): La dosis letal más baja de productos químicos que fue aplicada oralmente o cutáneamente y que provoco la muerte de algunos animales de prueba [9R].

Valor Limite Umbral (Threshold Limit Value): Es el contenido máximo permisible de exposición, expresado en ppm o en mg/m^3 , de un contaminante tóxico que en una persona expuesta al mismo durante 15 minutos no le causa efecto alguno [9R].

1.3.3. Accidentes Químicos que Involucran Riesgos Ambientales.

Los accidentes químicos pueden surgir de varias maneras no hay dos accidentes exactamente iguales. En lo que corresponde a los accidentes industriales con serias afectaciones ambientales, es importante recordar que los tres tipos fundamentales de accidentes a considerar son:

1.3.3.1 Explosión.

1.3.3.2 Incendio.

1.3.3.3 Fuga y Derrame de Sustancias Peligrosas.

1.3.3.1 Explosión:

Liberación rápida, violenta e irreversible de energía manifestada como el excesivo incremento de presión, por la expansión súbita de sustancias químicas y gaseosas [7R].

1.3.3.2 Incendio:

Propagación y extensión del fuego no controlado que se produce en industrias, viviendas, bosques, etcétera, por la ignición de materiales combustibles, en presencia de una fuente de calor y oxígeno u otro material comburente [7R].

1.3.3.3 Fuga y Derrame de Sustancias Peligrosas:

Desalojo de materiales peligrosos para el hombre y su hábitat, tales como sustancias tóxica, radiactivas, corrosivas, combustibles, explosivas, contaminantes, bacteriológicas, ya sea durante su almacenamiento, transporte, producción, utilización o desecho [7R].

Estos a su vez dependen de tres variables básicas: Presión, temperatura y concentración de los diversos materiales presentes, así como de las condiciones de los recipientes, construcción y diseño de los equipos; las características de transportación de éstos ; los accidentes, se pueden presentar por diversas causas, tanto naturales como antropogénicas, accidentales o premeditados tales como; reacciones exotérmicas fuera de control, reacciones peligrosas, actos de sabotaje, falla o error humano, materiales y su manejo, y efectos de alta presión o alta temperatura; electricidad estática, nubes de vapores explosivos, etc..

Además los tres tipos fundamentales de accidentes mencionados anteriormente pueden dar origen a eventos como:

- ◆ Incendio: Chorros de fuego(Jet Fire).
Pozos de fuego.
Bolas de fuego(Fire Ball).
Nube de vapor.
- ◆ Explosiones: Bleves.
Explosiones químicas.
- ◆ Fugas y derrames: Dispersión de contaminantes en el ambiente.
Nubes de gas toxico.

1.3.4. Categorías de Riesgo Ambiental.

Todos los riesgos están asociados con peligros particulares que hacen que ciertos eventos amenacen potencialmente al ambiente. Las categorías generales de riesgo ambiental de las actividades industriales se muestran a continuación:

- Cualquier liberación (fuga o derrame) real o potencial de una sustancia peligrosa, en que la cantidad total liberada sea mayor a la cantidad de reporte (cantidad de reporte véase en el subcapítulo 2.4.2).
- Cualquier fuego mayor que de lugar a elevación de radiación térmica en el lugar o límite de la planta que exceda de 5 BTU/hr. por varios segundos.
- Cualquier explosión de vapor o gas que pueda ocasionar sobrepresión de 0.5 lb/In^2 .
- Cualquier explosión de una sustancia reactiva o explosiva que pueda causar daño a edificios en la planta o fuera de los límites, suficiente para dañarlos o volverlos inoperantes por un tiempo.
- Cualquier liberación (fuga o derrame) de sustancias tóxicas, en que la cantidad liberada pueda ser suficiente para alcanzar una concentración igual o arriba de su Dosis Inmediata Peligrosa para la Vida y la Salud (immediately dangerous to life or health, IDLH) en áreas aledañas a su desprendimiento, por más de 30 minutos.

1.3.5. Niveles de Atención.

Las medidas de prevención y mitigación de riesgos a aplicarse en las diversas instalaciones industriales, se pueden clasificar en:

Medidas Preventivas: Cuando su finalidad es reducir los niveles originados de riesgo a valores socialmente aceptables.

Medidas de Control: Cuando el objetivo es reducir los efectos en el ambiente de situaciones accidentales o cuasi accidentales, cuando se lleguen a presentar.

Medidas de Mitigación: Cuando su objetivo es el de reducir los daños a la población y al equilibrio ecológico, cuando el accidente ha tenido lugar.

1.4 Causas del Crecimiento de Accidentes.

Los estudios realizados han permitido identificar tres causas principales del crecimiento de accidentes o desastres tecnológicos.

1.4.1 Diversificación de Tipos de Peligro.

1.4.2 Crecimiento de la Población.

1.4.3 Deficiencias del Control de Desastres.

1.4.1 Diversificación de Tipos de Peligro.

La primera causa consiste en la diversificación de los tipos de peligro a los cuales están expuestos la población y el medio ambiente, así como el incremento de las intensidades de sus manifestaciones, debido al surgimiento de nuevos fenómenos destructivos de origen tecnológico, típicos de la mayoría de los asentamientos humanos que cuentan con una alta concentración de industrias y transporte dentro de las áreas residenciales o en su cercanía.

La frecuencia de los desastres tecnológicos se ha incrementado en estrecha relación con el incremento de los procesos industriales y con el desarrollo acelerado de nuevas tecnologías y fuentes de energía. Estos desastres, que desembocan a menudo en desastres ecológicos, son de muy reciente aparición, y aún no es posible identificar ni pronosticar todos sus efectos nocivos, a diferencia de calamidades naturales como sismos o inundaciones [7R].

Los incendios y explosiones provocados por sustancias químicas son la tercera causa de muertes accidentales, tras de las producidas por el tráfico vehicular, que se sitúan en primer lugar, seguidas por las caídas, golpes e intoxicaciones en el hogar y centros de trabajo.

En México, las explosiones de 1984 en las instalaciones de recepción de San Juan Ixhuatepec, y las de 1992 en el drenaje de la ciudad de Guadalajara, constituyen sólo los más trágicos fenómenos destructivos de orden tecnológico, ya que entre 1982 y 1984 se registraron dos incendios diarios, en promedio, originados en industrias de la República Mexicana. Información más reciente muestra que en el Estado de México, en un lapso de ocho años, después de las explosiones de San Juan Ixhuatepec, se presentaron 17 accidentes, tales como fugas de sustancias, incendios, derrames y explosiones. En Guadalajara, entre 1991 y 1992, se habían identificado 15 accidentes debidos a las mismas calamidades [4R].

1.4.2 Crecimiento de la Población.

La segunda causa se relaciona con la notable vulnerabilidad de las grandes urbes, resultando de la alta densidad y del crecimiento de la población expuesta al peligro, así de la enorme complejidad de los servicios urbanos y sistemas de subsistencia que las componen, tales como los de agua potable, drenaje y energía eléctrica. Naturalmente, esto propicia que cualquier impacto destructivo repercuta en un elevado número de pérdidas humanas y daños materiales, en la interrupción de los servicios esenciales de soporte de vida y en sensibles cambios del medio ambiente.

Un ejemplo típico, que se manifiesta más extensamente en países en desarrollo, se presentó en 1984, en Bhopal India, donde una localidad de aproximadamente un millón de habitantes, ubicada en las cercanías de la empresa Unión Carbide, fabricante de pesticidas, sufrió las consecuencias de un accidente provocado por el aumento incontrolado de la presión en un tanque que contenía metilsocianato (MIC), ocasionando la muerte por intoxicación de entre 2 500 y 8 000 personas y daños a la salud a otras 200 000, lo que significó la afectación de alrededor del 20% de la población aledaña.

También destaca la enorme fragilidad de los sistemas ecológicos, ya que, por su alta interdependencia, un impacto negativo en uno de ellos provoca la destrucción o alteración significativa de otros. En consecuencia, algunos sistemas ecológicos sobreviven adaptándose a ciertos tipos de impactos y luchando por su subsistencia, pero muchos otros tienden a desaparecer.

Históricamente, los desastres ecológicos eran resultado exclusivo de calamidades naturales y de la propia naturaleza; pero el medio ambiente se encargaba de restablecer el equilibrio. No obstante, en la actual era de comercialización y producción masiva, los accidentes industriales o, en términos generales, los desastres tecnológicos pueden afectar extensas áreas del entorno, ocasionando desastres ecológicos [7R].

1.4.3 Deficiencias del Control de Desastres.

La tercera causa del crecimiento de desastres consiste en la ineficacia e ineficiencia de los procesos para su control, las cuales se manifiestan generalmente en la falta de políticas y estrategias pertinentes. En términos concretos, la ineficacia se debe principalmente al carácter parcial de los medios y medidas que se emplean para el combate de desastres, producidos en forma aislada por diversas áreas científicas y ramas ingenieriles de carácter monodisciplinario cuando cada una trata de fundamentar por separado la prevención y atención de las situaciones de emergencia provocadas por los fenómenos destructivos correspondientes a su "jurisdicción" científico-técnica. La ineficiencia, por su parte, es resultado de la falta de una organización adecuada de la sociedad y de la planeación para enfrentar los desastres, así como de una inadecuada e inoportuna ejecución de los pocos medios disponibles y medidas previstas.

Los ejemplos, desgraciadamente, son abundantes y obvios. Estudios sobre la ciudad de México han revelado que "por la falta de normatividad en el uso del suelo, la deforestación de los bosques, los asentamientos irregulares y los desechos industriales les han provocado en las laderas del occidente, el desbordamiento de ríos, cambio de clima, contaminación y limitada recarga efectiva de los mantos fráticos que alimentan las aguas subterráneas de la planicie". De igual forma, la ejecución del Programa de Contingencias de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) ha revelado la insuficiencia de los mecanismos de prevención y control de las emisiones contaminantes a pesar de los esfuerzos de los organismos responsables en mostrar sus logros en esta materia. Entre las ineficaces medidas destaca el programa "Hoy no circula", el cual propició el aumento del parque vehicular en la ZMCM.

La inoperatividad de las medidas que frecuentemente se toman, en forma aislada o simplemente con la intención de dar la imagen de algunas acciones sólo para aminorar la preocupación de la población expuesta a los peligros, tiene severas implicaciones sociales y políticas, las cuales son drásticamente puestas al descubierto por la opinión pública cuando ocurre un desastre. Así las consecuencias suelen ser tan o más graves que el propio desastre del 22 de abril de 1992 en la ciudad de Guadalajara, Jalisco, cuando el descontento generalizado de la comunidad nacional ante el gobierno de ese estado por la falta de prevención y, lo que fue aún más grave, por la falta de una adecuada toma de decisiones y coordinación de auxilio provocó a corto plazo la renuncia del gobernador y sus principales colaboradores.

Es importante recalcar el papel especial de la última causa, debido a que un adecuado control de desastres contemplaría la realización de los estudios correspondientes, lo que a su vez puede reducir las otras dos causas y mitigar sus influencias y consecuencias [7R].

1.5 Administración del Riesgo.

La administración de riesgo es el proceso por medio del cual los riesgos son identificados y evaluados, las consecuencias son analizadas, y las medidas de control de riesgo son identificadas, seleccionadas e implementadas [11R].

El proceso de administración de riesgo tiene dos objetivos fundamentales:

- Prevención de riesgo y eventos de riesgo.
- Mitigación de estos eventos si es que ocurren.

Un objetivo más lejano de la administración de riesgo es la preparación de emergencias a través de planes de contingencia.

Existen tres niveles fundamentales de control de riesgo: Prevención, protección y mitigación. Se discutirán las consideraciones específicas de diseño de procesos, consideraciones físicas de diseño de las plantas y procedimientos y prácticas relacionadas con la prevención. También, se discutirán diferentes tecnologías de protección y mitigación. Además, se ilustrarán ejemplos de posibles causas de liberación y de controles potenciales.

1.5.1. Opciones de Administración de Riesgo.

El control de riesgos químicos involucra la probabilidad y las consecuencias de la exposición. Dicho control puede ser visto como constituido por tres niveles fundamentales:

1.5.1.1 Prevención.

1.5.1.2 Protección.

1.5.1.3 Mitigación.

El propósito de la prevención es reducir la probabilidad de liberaciones. La prevención se refiere a todas las medidas tomadas para asegurar que la contención primaria del químico, en el almacenamiento, transferencia y equipo de proceso no sea violada. La prevención es aplicada a la protección ambiental como prevención de la contaminación; a la seguridad de proceso como prevención de accidentes.

Mientras que la prevención absoluta no pueda ser garantizada cuando un químico específico es utilizado totalmente, la probabilidad puede ser reducida si las medidas de prevención aumentan el control de un proceso.

Cuando las medidas de prevención fallan, la protección, puede definirse como un segundo nivel de control. Los sistemas de protección son equipos añadidos y los sistemas de procesos no son considerados esenciales en la función primaria del sistema de proceso químico en sí, pero el cual controla una liberación potencial. Ejemplos de tecnologías de protección incluyen la construcción de diques de contención para derrames y emergencias, señales y lavadores para liberaciones de químicos.

Los sistemas de protección pueden fallar de vez en cuando lo que puede permitir el escape de un gas o vapor en el ambiente. Las consecuencias pueden ser reducidas utilizando medidas de mitigación efectivas. Mitigación se refiere al equipo y procedimientos empleados para reducir la concentración de un químico y dosis a las cual, los receptores sensitivos estarán expuestos. Las medidas de mitigación incluyen acercamientos técnicos como rociadores de agua o cortinas de vapor para la dilución y dispersión, barreras para la contención y dispersión, y procedimientos como compuertas y ventanas y refugios en lugares y evacuación en las áreas afectadas. La mitigación pretende controlar una liberación después de que las medidas de prevención y protección hayan fallado.

Un resumen de las mayores consideraciones en estas tres áreas se presenta en las siguientes subsecciones.

1.5.1.1 Prevención.

Las medidas de prevención pueden ser clasificadas en las áreas de:

Consideraciones de diseño de proceso.

Consideraciones de planta física y diseño de equipo.

Procedimientos y prácticas.

Las consideraciones de diseño de proceso involucran los siguientes puntos, características del proceso químico, características del sistema de control, y control de peligros para fuego y explosiones. El diseño de procesos con químicos peligrosos debe estar basado en datos suficientes que aseguren un sistema de operación seguro, los datos necesarios que deben considerarse en el diseño de proceso incluyen datos físicos, químicos, termodinámicos, y propiedades toxicológicas de los componentes utilizados o producidos en el proceso. Las características de proceso y los controles de proceso, tales como flujo, temperatura, presión, mediciones cuantitativas y control de la composición son las variables de proceso fundamentales. La protección contra incendios y explosiones es básica para favorecer a la prevención, la adecuación y seguridad del suministro de agua, medidas para combatir el incendio de productos químicos y un equipo adecuado para este combate son las primeras consideraciones del diseño de procesos.

Las consideraciones de diseño de la planta física se refieren a riesgos y sus controles en las siguientes áreas; asentamiento y distribución, estructuras y cimientos, recipientes, tuberías y válvulas, maquinaria de proceso e instrumentación. Como mínimo se deben seguir los códigos y estándares en el diseño de cada una de las áreas anteriores. Sin embargo las medidas adicionales de protección además de las especificadas por los códigos y estándares deberán ser incorporadas dentro de las bases de diseño en una situación específica. Los problemas surgen porque los códigos y estándares no están hechos pensando en situaciones específicas. De esta manera, los códigos no podrán ser efectivos siempre y cuando el escenario de preocupación se marque con gran precisión.

Los procedimientos y prácticas de seguridad se deben establecer para minimizar el riesgo de una liberación accidental de un químico peligroso durante las operaciones de llenado y vaciado de tanques, recipientes, pipas y carros tanque. Los procedimientos y equipos deben estar establecidos para llevar a cabo los esfuerzos razonables para la prevención de una liberación accidental proveniente del almacenamiento, manejo y tratamiento de residuos que contengan los químicos peligrosos. Se deben utilizar programas de entrenamiento del personal de la planta para su manejo en condiciones de emergencia y liberaciones accidentales. Los programas deben incluir instrucciones escritas, instrucciones para ser impartidas en clase y prácticas de campo. Deben formar parte de los programas de revisiones periódicas y de ejercicios prácticos. Se deben proveer a los empleados de materiales impresos que describan los estándares y procedimientos de emergencia y deben de ser revisados como sea necesario para que sean consistentes con prácticas aprobadas y con modificaciones recientes de la planta. Todo el personal de la instalación debe ser capacitado en primeros auxilios y en el empleo de extinguidores. La formación y entrenamiento de los equipos especializados contra incendios y los equipos de primeros auxilios deben estar de acuerdo con no exceder como mínimo los requerimientos especificados.

1.5.1.2 Protección.

Las medidas de protección son los equipos y sistemas que previenen o reducen la cantidad de químicos que son descargados en una liberación incipiente que ya ha escapado primeramente de un contenedor. Las tecnologías de protección incluyen quemadores, lavadores, diques y edificios de contención. Cada una de éstas tecnologías pueden ser apropiadas en circunstancias específicas, pero ninguna de ellas es universalmente aplicable para liberaciones accidentales. Mucho depende en el químico tóxico específico involucrado, la cantidad liberada, la tasa de liberación y la manera de liberación.

Los quemadores son comúnmente utilizados en las plantas químicas y en refinerías de petróleo para disponer de gases inflamables y vapores resultantes de fallas de operación normal. Son recomendables en ciertas circunstancias para la destrucción de químicos tóxicos que puedan de otra manera ser liberados al ambiente. Un prerrequisito de destrucción en un sistema de quemadores es que el material tóxico sea inflamable, o que por lo menos se descomponga térmicamente en compuestos menos tóxicos a temperatura de flama en los quemadores.

Los lavadores son otra alternativa para el tratamiento de descargas tóxicas confinadas antes de que sean liberados al ambiente. La aplicabilidad de los lavadores depende de la solubilidad de un químico tóxico en un medio favorable el lavador o la habilidad de que el medio del lavador de que activamente neutralice al químico tóxico. El tipo de lavador que es favorable para su uso depende de la naturaleza de ambos, las circunstancias de la descarga y la química de lavado.

Los diques son barreras físicas alrededor del perímetro del equipo de proceso en áreas diseñadas para confinar la cantidad de líquido derramado y para minimizar el área superficial del líquido. Puede ser un simple canal de tierra o también pueden ser paredes de concreto. Los diques pueden ser un poco más altos que una banqueteta, o pueden ser muy altos elevados hasta la altura del tanque de almacenamiento.

Los edificios de contención proveen directamente una contención secundaria para los materiales que han escapado de la contención primaria. Estos edificios pueden ser diseñados para contener materiales tóxicos mientras se ventean a un sistema adecuado de destrucción como los quemadores o lavadores. La principal diferencia entre los diques y edificios de contención es el techo. El edificio confina virtualmente todo el material, mientras que los diques permiten la liberación continua de alguno de los materiales.

1.5.1.3 Mitigación.

Una vez que un químico ha sido liberado al aire o tiene el potencial para internarse en el aire, la preocupación son las consecuencias que pueda tener en la planta y en las comunidades vecinas. La reducción de estas consecuencias se refiere a la mitigación. Dos aspectos de la mitigación se miden para controlar la cantidad de material tóxico que pueda alcanzar a los receptores y proteger a los receptores. Un plan de respuesta de emergencia que nombre actividades es una parte clave de la mitigación. La otra parte es la tecnología de controles. Las tecnologías de mitigación incluyen mediciones como, barreras físicas, dispersores de agua, cortinas de vapor y espumas. Las tecnologías de mitigación desvían, limitan o dispersan al químico que ha sido liberado a la atmósfera.

Un plan de respuesta de emergencia debe estar basado en la identificación de consecuencias de la liberación accidental basadas en cantidades de viento abajo, concentraciones y duración de exposición en varios sitios receptores. El plan debe incluir la información requerida para decidir si la evacuación se debe llevar a cabo, o si la gente en el patrón de liberación pudiese estar mejor protegida permaneciendo en sus casas u otros lugares. El plan debe incluir pasos específicos de primeros auxilios que se debe mostrar las responsabilidades y actividades específicas para todos los equipos de respuesta del personal de la instalación y la comunidad en caso de emergencia. Las barreras físicas se deben construir especialmente para este propósito o pueden ser barreras naturales del terreno. Una barrera funcional puede ser un edificio. Una barrera natural del terreno puede ser una colina o una línea de árboles. La función primaria de una barrera física es la protección de receptores especialmente sensitivos y proveer tiempo adicional para responder a la emergencia de liberación accidental. Las barreras físicas no capturan o neutralizan directamente al químico. Sin embargo, estas pueden aumentar la ejecución de otras medidas de mitigación como los dispersores de agua.

Los dispersores de agua y las cortinas de vapor son métodos utilizados para aumentar la tasa de dispersión del químico liberado, desviar su dirección, servir como barrera entre la nube tóxica o pluma y los receptores potenciales. Una última tecnología de mitigación es el uso de espumas. Las espumas son mezclas de químicos que pueden ser aplicados a derrames de líquidos con un equipo especial de generación de espuma y que cubriendo la superficie de derrame reducen la tasa de evaporación. Las espumas pueden ser aplicadas a derrames que pueden resultar de alguna manera en la liberación de grandes cantidades de vapores tóxicos mientras que la espuma es física y químicamente compatible con el material derramado.

CAPÍTULO 2

Capítulo 2

Marco Jurídico de Riesgo Ambiental a Nivel Federal.

2.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

La Norma básica de nuestro Sistema Jurídico Mexicano lo es la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. La vigente fue redactada y aprobada por el Congreso Constituyente en la Ciudad Querétaro. El 5 de Febrero de 1917 fue promulgada con toda solemnidad.

Es llamada también Carta Magna, ya que nada ni nadie podrá estar sobre lo que en ella está asentado. Fue la primera en el Mundo en establecer las Garantías Sociales, como respuesta a los reclamos del pueblo que dieron origen a la Revolución Mexicana, además de contener en sus artículos las Garantías Individuales.

En este documento tan importante para nuestro país, se enmarcan una serie de artículos que tiene que ver en mayor o menor medida con la seguridad e higiene industrial y salud ocupacional; destacando entre otros:

Artículo 27. La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originariamente a la Nación, la cual a tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada.

La Nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, así como el de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida en la población rural y urbana. En consecuencia, se dictaran las medidas necesarias para ordenar los asentamientos humanos y establecer adecuadas provisiones, usos, reservas y destinos de tierra, aguas y bosques, a efecto de ejecutar obras públicas y de planear y regular la fundación, conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población, para preservar y restaurar el equilibrio ecológico.

Artículo 73. El congreso tiene facultad:

- ◆ **XXIX-G.** Para expedir leyes que establezcan la concurrencia del gobierno federal, de los gobiernos de los estados y de los municipios, en el ámbito de sus respectivas competencias, en materia de protección al ambiente y de preservación y restauración del equilibrio ecológico.

Artículo 123. Toda persona tiene derecho al trabajo digno y socialmente útil; al efecto, se promoverán la creación de empleos y la organización social para el trabajo, conforme a la Ley.

El congreso de la unión, sin contra venir a las bases siguientes, deberá expedir leyes sobre el trabajo, la cuales regirán:

- ◆ **XV.** El patrón estará obligado a observar, de acuerdo con la naturaleza de su negociación, los preceptos legales sobre higiene y seguridad en las instalaciones de su establecimiento, y a adoptar las medidas adecuadas para prevenir accidentes en el uso de las maquinas, instrumentos y materiales de trabajo, así como a organizar de tal manera éste, que resulte la mayor garantía para la salud y vida de los trabajadores.

2.2 Fundamentos Jurídicos.

Con la publicación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente LGEEPA, por primera vez en México, se mencionan las disposiciones para la regulación de las actividades (industriales, comerciales y de servicios), que deban considerarse altamente riesgosas, por la gravedad de los efectos que pudieran ocasionar al equilibrio ecológico.

El estudio de riesgos en su modalidad Análisis de riesgos, tiene por objeto identificar las actividades que se llevan a cabo dentro del proceso productivo y aquéllas relacionadas con el mismo, las cuales puedan ocasionar pérdidas materiales y/o humanas, así como provocar efectos adversos a la salud y al equilibrio ecológico. Todo ello con la finalidad de evaluarlas y de establecer el grado de riesgo que representan, e implementar las medidas técnicas de seguridad, preventivas y correctivas tendientes a su minimización, eliminación o control.

Conscientes de que la prevención y el control de actividades con un cierto riesgo potencial, son conceptos indispensables para lograr la preservación de bienes y recursos, parte de los intereses del Estado se han centrado en la protección de la seguridad pública y el medio ambiente. Por lo cual establece los mecanismos y procedimientos legales para la presentación de un estudio de riesgos.

De acuerdo con la LGEEPA publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 28 de enero de 1988. Reformada por el decreto en el que se adicionan y derogan diversas disposiciones publicados el día 13 de diciembre de 1996, establece:

2.2.1 Distribución de Competencias y Coordinación.

Título Primero

Artículo 5º (Capítulo II). Son asuntos de alcance general en la Nación o de interés de la Federación:

- ♦ **VI.** La regulación y el control de actividades consideradas como altamente riesgosas, y de la generación, manejo y disposición final de materiales y residuos peligrosos para el ambiente o los ecosistemas, así como para la preservación de los recursos naturales, de conformidad con esta Ley, otros ordenamientos aplicables y sus disposiciones reglamentarias.

- ♦ **VII.** La participación en la prevención y el control de emergencias y contingencias ambientales, conforme a las políticas y programas de protección civil que al efecto se establezcan.

2.2.2 Instrumentos de Política Ambiental.

Artículo 15 (Capítulo III). Para la formulación y conducción de la política ambiental y las expedición de normas oficiales mexicanas y demás instrumentos previstos en esta Ley, en materia de preservación y restauración del equilibrio ecológico y protección al ambiente, el ejecutivo federal observara los siguientes principios:

- ♦ **IV.** Quien realice obras o actividades que afecten o puedan afectar el ambiente, está obligado a prevenir, minimizar o reparar los daños que cause, así como a asumir los costos que dicha afectación impliquen. Así

mismo, debe incentivarse a quien proteja el ambiente y aproveche de manera sustentable los recursos naturales.

Sección III: Instrumentos económicos.

Artículo 21 (Capítulo IV). La federación, los estados y el Distrito Federal, en el ámbito de sus respectivas competencias, diseñarán, desarrollarán y aplicarán instrumentos económicos que incentiven el cumplimiento de los objetivos de la política ambiental, mediante los cuales se buscará:

- ◆ **I.** Promover un cambio en la conducta de las personas que realicen actividades industriales, comerciales y de servicios, de tal manera que sus intereses sean compatibles con los intereses colectivos de protección ambiental y de desarrollo sustentable.

- ◆ **III.** Otorgar incentivos a quien realice acciones para la protección, preservación o restauración del equilibrio ecológico. Así mismo, deberán procurar que quienes dañen el ambiente, hagan un uso indebido de recursos naturales o alteren los ecosistemas, a suman los costos respectivos.

Sección V: Evaluación del Impacto Ambiental

Artículo 28 (Capítulo IV). La evaluación del impacto ambiental es el procedimiento a través del cual la Secretaría establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el ambiente. Para ello, en los casos que determine el Reglamento que al efecto se expida, quienes pretendan llevar a cabo alguna de las siguientes obras o actividades, requerirán previamente la autorización en materia de impacto ambiental de la Secretaría:

- ◆ **II.** Industria del petróleo, petroquímica, química, siderúrgica, papelera, azucarera, del cemento y eléctrica.

- ◆ **VIII.** Parques industriales donde se prevea la realización de actividades altamente riesgosas.

Sección V: Evaluación de impacto ambiental.

Artículo 32(Capítulo IV). En el caso de que un plan o programa parcial de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico del territorio incluyan obras o actividades de las señaladas en el artículo 28 de esta Ley, las autoridades competentes de los estados, el Distrito Federal o los municipios, podrán presentar dichos planes o programas a la Secretaría, con el propósito de que ésta la autorización que en materia de impacto ambiental corresponda, respecto del conjunto de obras o actividades que se prevean realizar en un área determinada, en los términos previstos en el artículo 31 de esta Ley.

Sección VII: Autorregulación y auditorías ambientales.

Artículo 38 (Capítulo IV). Los productores empresas u organizaciones empresariales podrán desarrollar procesos voluntarios de autorregulación ambiental, a través de los cuales mejoren su desempeño ambiental, respetando la legislación y normatividad vigente en materia y se comprometan a superar o cumplir mayores niveles, metas o beneficios en materia de protección ambiental.

La Secretaría en el ámbito federal, inducirá o concertará:

- ◆ I. El desarrollo de procesos productivos adecuados y compatibles con el ambiente, así como sistemas de protección y restauración en la materia, convenidos con cámaras de industria, comercio y otras actividades productivas, organizaciones de productores, organizaciones representativas de una zona o región, instituciones de investigación científica y tecnológica y otras organizaciones interesadas.

- ◆ IV. Las demás acciones que induzcan a las empresas a alcanzar los objetivos de la política ambiental superiores a las previstas en la normatividad ambiental establecida.

Sección VII: Autorregulación y auditorías ambientales.

Artículo 38 Bis (Capítulo IV). Los responsables del funcionamiento de una empresa podrán en forma voluntaria, a través de la auditoría ambiental, realizar el examen metodológico de sus operaciones, respecto de la contaminación y el riesgo que generan, así como el grado de cumplimiento de la normatividad ambiental y de los parámetros internacionales y de buenas prácticas de operación e ingeniería aplicables, con el objeto de definir las medidas preventivas y correctivas necesarias para proteger al medio ambiente.

2.2.3 Actividades Consideradas como Altamente Riesgosas.

Artículo 145 (Capítulo V). La Secretaría promoverá que en la determinación de los usos del suelo se especifiquen las zonas en las que se permita el establecimiento de industrias, comercios o servicios considerados riesgosos para la gravedad de los efectos que puedan generar en los ecosistemas o en el ambiente tomándose en consideración:

- ◆ **I** Las condiciones topográficas, meteorológicas, climatológicas, geológicas y sísmicas de las zonas.
- ◆ **II**. Su proximidad a centros de población, previniendo las tendencias de expansión del respectivo asentamiento y la creación de nuevos asentamientos.
- ◆ **III**. Los impactos que tendría un posible evento extraordinario de la industria, comercio o servicio de que se trate, sobre los centros de población y sobre los recursos naturales.
- ◆ **IV**. La compatibilidad con otras actividades de las zonas.
- ◆ **V**. La infraestructura existente y necesaria para la atención de emergencias ecológicas.
- ◆ **VI**. La infraestructura para la dotación de servicios básicos.

Artículo 146 (Capítulo V). La secretaria , previa opinión de las Secretarías de Energía, de Comercio y Fomento Industrial, de Salud, de Gobernación y del Trabajo y Previsión Social, conforme al Reglamento que para tal efecto expida, establecerá la clasificación de las actividades que deban considerarse altamente riesgosas en virtud de las características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas para el equilibrio ecológico o el ambiente, de los materiales que se generen o manejen en los establecimientos industriales, comerciales o de servicios, considerando, además, los volúmenes de manejo y la ubicación del establecimiento.

Artículo 147 (Capítulo V). La realización de actividades industriales, comerciales o de servicios altamente riesgosas, se llevarán a cabo con apego a lo dispuesto por esta Ley, las disposiciones reglamentarias que de ella emanen y las normas oficiales mexicanas a que se refiere el artículo anterior. Quienes realicen actividades altamente riesgosas, en los términos del Reglamento

correspondiente, deberán formular y presentar a la Secretaría un estudio de riesgo ambiental, así como someter a la aprobación de dicha dependencia y de las Secretarías de Gobernación, de Energía, de Comercio y Fomento Industrial, de Salud y del Trabajo y Previsión Social, los programas para la prevención de accidentes en la realización de tales actividades que puedan causar graves desequilibrios ecológicos.

Artículo 148 (Capítulo V). Cuando para garantizar la seguridad de los vecinos de una industria que lleve a cabo actividades altamente riesgosas, sea necesario establecer una zona intermedia de salvaguarda, el Gobierno Federal podrá, mediante declaratoria, establecer restricciones a los usos urbanos que pudieran ocasionar riesgos para la población. La Secretaría promoverá, ante las autoridades locales competentes, que los planes o programas de desarrollo urbano establezcan que en dichas zonas no se permitirán los usos habitacionales, comerciales u otros que pongan en riesgo a la población.

2.3 Reglamento en Materia de Impacto Ambiental de la LGEEPA.

De acuerdo con el Reglamento en Materia de Impacto Ambiental, publicado en el de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente establece:

Considerando que la prevención y el control de los desequilibrios ecológicos y el deterioro del ambiente, son indispensables para preservar los recursos naturales de la nación y asegurar el bienestar de la población.

Que uno de los instrumentos más eficaces con que cuenta el Estado para la aplicación de la política general de ecología es la evaluación del impacto ambiental de las obras o actividades de carácter público o privado, que puedan causar desequilibrios ecológicos o rebasar los límites y condiciones señalados en los reglamentos y las normas técnicas ecológicas emitidas por la Federación para proteger el equilibrio ecológico y el ambiente.

Artículo 3º(Capítulo I). Para los efectos de este reglamento se estará a las definiciones de conceptos que se contienen en la LGEEPA, así como a las siguientes:

- ◆ **II. Estudio de riesgo:** Documento mediante el cual se da a conocer, a partir del análisis de las acciones proyectadas para el desarrollo de una obra o actividad, los riesgos que dichas obras o actividades representen para el equilibrio ecológico o el ambiente, así como las medidas técnicas de seguridad, preventivas y correctivas, tendientes a evitar, mitigar, minimizar o controlar los efectos adversos al equilibrio ecológico en caso de un posible accidente, durante la ejecución u operación normal de la obra o actividad de que se trate.

Medidas de prevención y mitigación: Conjunto de disposiciones y acciones anticipadas, que tienen por objeto evitar o reducir los impactos ambientales que pudieran ocurrir en cualquier etapa de desarrollo de una obra o actividad.

2.3.1. Procedimiento de Evaluación del Impacto Ambiental.

Artículo 6º.(Capítulo II). Para obtener la autorización para realizar obras o actividades públicas o privadas, que puedan causar desequilibrios ecológicos, en forma previa a la realización de la obra o actividad de que se trate, deberá presentar a la Secretaría una manifestación de impacto ambiental.

En el caso de obras o actividades consideradas como altamente riesgosas, además de lo dispuesto en el párrafo anterior, deberá presentarse a la Secretaría un estudio de riesgo en los términos previstos por los ordenamientos que rijan dichas actividades.

Como resultado del procedimiento establecido para la Manifestación de Impacto Ambiental, se determina la aplicación del procedimiento de Análisis de Riesgo Ambiental en el que de acuerdo a las etapas o fases del mismo, se establece el nivel de información que debe presentar el proponente del proyecto sujeto a evaluación.

El procedimiento consta de tres niveles:

a). Informe Preliminar de Riesgo: El cual tiene como objetivo el contar con la información suficiente para identificar y evaluar las actividades riesgosas en cada una de las fases que comprende el proyecto que dadas sus características que se pueden catalogar como de bajo riesgo y con esto para poder incorporar las medidas de seguridad tendientes a evitar o minimizar los efectos potenciales a su entorno en caso de accidente.

Este tipo de informe deberá contener como mínimo la siguiente información:

- I. Nombre, denominación o razón social, nacionalidad, domicilio y dirección de quien pretenda llevar a cabo la obra o actividad.
- II. Descripción de la obra o actividad proyectada, desde la etapa de selección del sitio para la ejecución de la obra en el desarrollo de la actividad; la superficie del terreno requerido; el programa de construcción, montaje de instalaciones y operación correspondiente; el tipo de actividad, volúmenes de producción previstos, e inversiones necesarias; la clase y la cantidad de recursos naturales que habrán de aprovecharse, tanto en la etapa de construcción como en la operación de la obra o en el desarrollo de la actividad; el programa para el manejo de residuos, tanto en la construcción y montaje como durante la operación o desarrollo de la actividad; y el programa para el abandono de las obras o el cese de actividades.
- III. Aspectos generales del medio natural y socioeconómico del área donde pretenda desarrollarse la obra o actividad.
- IV. Vinculación con las normas y regulaciones sobre uso del suelo en el área correspondiente.
- V. Identificación y descripción de los impactos ambientales que ocasionaría la ejecución del proyecto o actividades en sus distintas etapas.
- VI. Medidas de prevención y mitigación para los impactos ambientales identificados en cada una de las etapas.

b). Análisis de Riesgo: Viene a representar el nivel donde se requiere de una información más precisa y extensa para el análisis y evaluación de proyectos que se pueden identificar como riesgo moderado.

Este tipo de informe deberá ampliar la información a que se refieren las fracciones I y II del tipo de informe preliminar de riesgos y deberá contener la descripción del posible escenario ambiental modificado por la obra o actividad de que se trate, así como las adecuaciones que procedan a las medidas de prevención y mitigación propuestas.

c). Análisis Detallado de Riesgo: El nivel en el cual se requiere de toda la información detallada con el apoyo de metodologías sofisticadas de Análisis de Riesgo Ambiental para evaluar las posibles repercusiones que tendría una instalación de alto riesgo sobre su entorno.

Este tipo de informe deberá contener como mínimo la siguiente información:

- I. Descripción detallada y justificación de la obra o actividad proyectada, desde la etapa de selección del sitio, hasta la terminación de las obras o el cese de la actividad, ampliando la información a que se refiere la fracción II del informe preliminar de riesgo.
- II. Descripción del escenario ambiental, con anterioridad a la ejecución del proyecto.
- III. Análisis y determinación de la calidad, actual y proyectada, de los factores ambientales en el entorno del sitio en que se pretende desarrollar la obra o actividad proyectada, en sus distintas etapas.
- IV. Identificación y evaluación de los impactos ambientales que ocasionaría la ejecución del proyecto, en sus distintas etapas.
- V. Determinación del posible escenario ambiental resultante de la ejecución del proyecto, incluyendo las variaciones en la calidad de los factores ambientales.
- VI. Descripción de las medidas de prevención y mitigación para reducir los impactos ambientales adversos identificados en cada una de las etapas de la obra o actividad, y el programa de recuperación y restauración del área impactada, al concluir la vida útil de la obra o al término de la actividad correspondiente.

2.4 Regulación de Actividades Altamente Riesgosas.

La LGEEPA establece como asunto de alcance general de la Nación o de interés de la Federación, la regulación de las actividades que se consideren como altamente riesgosas, por la magnitud o gravedad de los efectos que puedan generar en el equilibrio ecológico o el ambiente; debido a la gran cantidad de sustancias químicas existentes en la actualidad, con propiedades

intrínsecas de toxicidad, inflamabilidad, explosividad, corrosividad, reactividad, radiactividad y de acción biológica, las cuales se almacenan, transportan o procesan, en las actividades comerciales, industriales y de servicios, ya sea como materias primas, productos, subproductos o residuos.

Sabemos que puede presentarse un evento indeseado, por circunstancias naturales o inherentes o al tipo de operaciones que se lleven a cabo, aún cuando se posean los equipos y dispositivos de prevención, así como de control de accidentes, y liberarse al ambiente determinados volúmenes de estas sustancias químicas, poniendo en peligro la salud, y bienestar de la población cercana, flora y fauna.

En virtud de lo anterior, se hace necesario evaluar dichos riesgos, con el fin de determinar las distancias mínimas (áreas de riesgo) a que deberán instalarse las actividades altamente riesgosas, con respecto a cualquier asentamiento humano; de donde, además, se hará posible integrar el ordenamiento ecológico en su entorno, (modificando las condiciones existentes y planeando las futuras) garantizando la seguridad de la zona de influencia.

Aun cuando las actividades asociadas con el manejo de sustancias con propiedades radiactivas, podrían considerarse altamente riesgosas, las Secretarías de Gobernación y Desarrollo Urbano y Ecología no establecerán un listado de las mismas, en virtud de que la expedición de las normas de seguridad nuclear, radiológica y físicas de las instalaciones nucleares o radiactivas compete a la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal y a la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardia, con la participación que en su caso corresponda a la Secretaría de Salud, de conformidad con lo dispuesto por la legislación que de manera específica regula estas actividades.

2.4.1 Criterios y Procedimientos.

El criterio adoptado para determinar cuáles actividades deben considerarse como altamente riesgosas, se fundamenta en que la acción o conjunto de acciones, ya sean de origen natural o antropogénico, estén asociadas con el manejo de sustancias con propiedades inflamables, explosivas, tóxicas, reactivas, radiactivas, corrosivas o biológicas, en cantidades tales que, en caso de producirse una liberación, sea por fuga o derrame de las mismas o bien una explosión, ocasionarían una afectación significativa al ambiente, a la población o a sus bienes.

Por lo tanto, se hace necesario determinar la cantidad mínima de las sustancias peligrosas con las propiedades antes mencionadas, que en cada caso convierten su producción, procesamiento, transporte, almacenamiento, uso o disposición final, en actividades que, de producirse una liberación, sea por fuga o derrame de las mismas, vía atmosférica, provocarían la presencia de límites de concentración superiores a los permisibles en un área determinada por una franja de 100 metros en torno de las instalaciones, o medio de transporte, y en el caso de la formación de nubes explosivas, la existencia, de ondas de sobrepresión. A esta cantidad mínima de sustancia peligrosa, se le denomina cantidad de reporte.

En consecuencia, para la determinación de las actividades consideradas altamente riesgosas, se partirá de la clasificación de las sustancias peligrosas, en función de sus propiedades, así como de las cantidades de reporte correspondiente.

Cuando una sustancia presenta más de una de las propiedades señaladas, ésta se clasificará en función de aquella o aquellas propiedades que representen el o los más altos grados potenciales de afectación al ambiente, a la población o sus bienes y aparecerá en el listado o listados correspondientes.

2.4.2. Definición de Conceptos.

Para facilitar la comprensión e interpretación de los términos utilizados en el presente estudio, permitiendo su correcta aplicación, se considerarán las definiciones contenidas en la LGEEPA y las siguientes:

Se considerará como actividad altamente riesgosas, el manejo de sustancias peligrosas en un volumen igual o superior a la cantidad de reporte (Artículo 1°).

Cantidad de Reporte: Cantidad mínima de sustancia peligrosa en producción, procesamiento, transporte, almacenamiento, uso o disposición final, o la suma de éstas, existentes en una instalación o medio de transporte dados, que al ser liberada, por causas naturales o derivadas de la actividad humana, ocasionaría una afectación significativa al ambiente, a la población o a sus bienes.

Manejo: Alguna o el conjunto de actividades siguientes: producción, procesamiento, transporte, almacenamiento, uso o disposición final de sustancias peligrosas.

Sustancia Peligrosa: Aquella que por sus altos índices de inflamabilidad, explosividad, toxicidad, reactividad, radiactividad, corrosividad o acción biológica puede ocasionar una afectación significativa al ambiente, a la población o a sus bienes.

Sustancia Reactiva: son los compuestos que son fuertemente oxidantes, orgánicos, y materiales capaces de detonar.

Sustancia Tóxica: Aquella que puede producir en organismos vivos, lesiones, enfermedades, implicaciones genéticas o muerte. Son aquellas que causan daños al tejido viviente, cuando se absorben en dosis relativamente pequeñas. La cantidad o dosis es una característica esencial, que indica el grado de toxicidad de cada sustancia.

Sustancia Inflamable: Aquella que es capaz de formar una mezcla con el aire en concentraciones tales, para prenderse espontáneamente o por la acción de una chispa. De acuerdo con la definición de la Agencia Nacional de Protección contra el Fuego (N.F.P.A.) de E.U.A., son aquellas que posean un punto de inflamación menor a 60 °C (140 °F) y una presión de vapor absoluta que no exceda de 2.81 Kg/cm² (40 Psia) a 38 °C (100 °C).

Sustancia Explosiva: Aquella que en forma espontánea o por acción de alguna forma de energía, genera una gran cantidad de calor y energía de presión en forma casi instantánea.

2.4.3. Primer Listado de Actividades Altamente Riesgosas.

Publicado en el Diario Oficial de la federación el día 28 de marzo de 1990 [5R].

Considerando:

Que mediante este acuerdo se expide el primer listado de actividades altamente riesgosas y que corresponde a aquellas en que se manejan sustancias tóxicas. En dicho listado quedan exceptuadas en forma expresa el uso y aplicación de plaguicidas con propiedades tóxicas, en virtud de que existe una legislación específica para el caso, en la que se regula esta actividad en lo particular.

Que las Secretarías de Gobernación y Desarrollo Urbano y Ecología, previa opinión de las Secretarías de Energía, Minas e Industrial, de Salud, de Agricultura y Recursos Hidráulicos y del Trabajo y Previsión Social, llevaron a cabo los estudios que sirvieron de sustento para determinar los criterios y este primer listado de actividades que deben considerarse altamente riesgosas.

Artículo 3º. Con base en lo previsto en el artículo primero, se expide el primer listado de actividades altamente riesgosas, que corresponde a aquellas en que se manejen sustancias tóxicas. Estas actividades son la producción, procesamiento, transporte, almacenamiento, uso y disposición final de las sustancias que se indican en el anexo, cuando se manejen volúmenes iguales o superiores a las cantidades de reporte.

Artículo 4º. Se exceptúa del listado de actividades altamente riesgosas, previsto en el artículo anterior, el uso o aplicación de plaguicidas con propiedades tóxicas.

Artículo 5º. Para efectos del presente acuerdo, se entenderá como sustancia en estado sólido, a aquellas que se encuentren en polvo menor de 10 micras.

Artículo 6º. En el caso de las sustancias señaladas en el artículo 3º que correspondan a plaguicidas, la cantidad de reporte se entenderá referida a su ingrediente técnico llamado también activo. En los demás casos, las cantidades de reporte de las sustancias indicadas en este acuerdo, deberán considerarse de conformidad con su más alto porcentaje de concentración. Cuando dichas sustancias se encuentran en solución o mezcla, deberá realizarse el cálculo correspondiente, a fin de determinar la cantidad de reporte para el caso de que se trate.

Artículo 7º. Las Secretarías de Gobernación y Desarrollo Urbano y Ecología, previa opinión de las Secretarías de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Comercio y Fomento Industrial; de Salud; Agricultura y Recursos Hidráulicos y del Trabajo y Previsión Social, podrán ampliar y modificar el listado objeto del presente acuerdo, con base en el resultado de investigaciones que al efecto se lleven a cabo.

2.4.4. Segundo Listado de Actividades Altamente Riesgosas.

Publicado en el Diario Oficial de la federación el día 04 de mayo de 1992 [6R].

Considerando que mediante este acuerdo se expide el segundo listado de actividades altamente riesgosas que corresponde a aquellas en que se manejen sustancias inflamables y explosivas, en cantidades tales que de producirse una liberación, ya sea por fuga o derrame de las mismas en la producción, procesamiento, transporte, almacenamiento, uso o disposición final provocaría la formación de nubes inflamables, cuya concentración sería semejante a la de su límite inferior de inflamabilidad, en un área determinada por una franja de cien metros de longitud en torno de las instalaciones o medio de transporte dados, y en el caso de formación de nubes explosivas, la presencia de ondas de sobrepresión de 0.5 lb/In^2 , en esa misma franja.

Que tanto el primer listado que corresponde al manejo de sustancias tóxicas y éste, concerniente al manejo de sustancias explosivas e inflamables, así como las subsecuentes que se expidan para el caso de aquellas actividades relacionadas con el manejo de sustancias reactivas, corrosivas o biológicas, constituirán el sustento para determinar las normas técnicas de seguridad y operación, así como para la elaboración y presentación de los programas para la prevención de accidentes, previstos en el artículo 147 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, mismos que deberán observarse en la realización de dichas actividades.

Que las Secretarías de Gobernación y Desarrollo Urbano y Ecología, previa opinión de las Secretarías de Energía, Minas e Industria Paraestatal, de Comercio y Fomento Industrial, de Agricultura y Recursos Hidráulicos, de Salud y del Trabajo y Previsión Social, así como con la participación de la Secretaría de la Defensa Nacional, llevaron a cabo los estudios que sirvieron de sustento para determinar los criterios y este segundo listado de actividades que deben considerarse altamente riesgosas.

En mérito a lo anterior, hemos tenido a bien dictar el siguiente:

Artículo 1º. Se expide el segundo listado de actividades altamente riesgosas que corresponde a aquellas en que se manejen sustancias inflamables y explosivas.

Artículo 4°. Las actividades asociadas con el manejo de sustancias inflamables y explosivas que deben considerarse altamente riesgosas son la producción, procesamiento, transporte, almacenamiento, uso y disposición final de las sustancias que se indican en el anexo, cuando se manejen cantidades iguales o superiores a las cantidades de reporte.

Artículo 5°. Se exceptúa de este listado a las actividades relacionadas con el manejo de las sustancias a que se refiere el artículo 41 de la Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos.

Artículo 6°. Las cantidades de reporte de las sustancias indicadas en este acuerdo, deberán considerarse referidas a su más alto porcentaje de concentración. Cuando dichas sustancias se encuentran en solución o mezcla, deberá realizarse el cálculo correspondiente, a fin de determinar la cantidad de reporte para el caso de que se trate.

Artículo 7°. Las Secretarías de Gobernación y Desarrollo Urbano y Ecología, previa opinión de las Secretarías de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Comercio y Fomento Industrial; de Salud; Agricultura y Recursos Hidráulicos y del Trabajo y Previsión Social, podrán ampliar y modificar el listado objeto del presente acuerdo, con base en el resultado de investigaciones que al efecto se lleven a cabo.

CAPÍTULO 3

Capítulo 3

Metodologías para la Evaluación de Análisis de Riesgos en Procesos Químicos.

3.1. Desarrollo Histórico de las Metodologías para el Análisis de Riesgos.

Aún cuando no existen evidencias precisas, la aparición de las primeras metodologías para el análisis de riesgos en operaciones industriales, tienen su origen entre 1910 y 1920, fueron producto de la experiencia adquirida a través de accidentes ocurridos. La primera de ellas se conoce hoy en día, como Investigación de Accidentes, la cual ha evolucionado de manera importante, pero fundamentalmente sigue conservando sus principios.

A través de esta metodología se definen las causas básicas que produjeron el accidente y se establecen las medidas correctivas y preventivas, las cuales son aplicadas para modificar instalaciones existentes, o diseño unidades productivas similares, con el fin de evitar la reincidencia de los eventos. Los resultados de la Investigación de Accidentes, aún cuando son de gran utilidad, no proporcionan todas las respuestas requeridas para contar con operaciones de un grado de confiabilidad aceptable. Las limitaciones propias de la metodología y las enseñanzas producto de ella, dio como resultado la generación de Códigos y Estándares, en donde se establecen parámetros generalmente aceptados para riesgos reconocidos.

La segunda metodología desarrollada e implantada fue Inspecciones Planeadas y no planeadas, a través de la cual se pretende identificar desviaciones de las medidas de control a implantar para eliminar o reducir los riesgos. Esta metodología se complementa mediante el uso de las Listas de Verificación (Check-List), lo cual facilita su aplicación.

La seguridad y operabilidad son factores significativos que deben ser considerados como parte integral en el diseño de procesos. La revisión al diseño puede ser llamada Verificación Primaria de Seguridad, la cual normalmente se logra a través de los Estándares y Códigos de diseño.

Muchas organizaciones introdujeron algunas formas de revisiones de seguridad secundarias y una versión de ellas consiste en realizar revisiones a través de grupos multidisciplinarios. El análisis “Que pasa si...?” (What if?) empezó a utilizarse frecuentemente por estos grupos de revisión, los cuales, en base a su experiencia aplican la pregunta, Que pasa si...? a cada paso del proceso, determinando el efecto de las fallas de equipos o errores de operación. Esta metodología puede ser utilizada para revisar un proceso completo o parte de él, dependiendo de su complejidad. el grupo enfatiza en la revisión de factores no detectables a través de las revisiones visuales, con el fin de identificar los riesgos potenciales en base a sus conocimientos y experiencia, así como establecer las medidas de control más apropiadas.

Desafortunadamente, las metodologías basadas únicamente en la experiencia no garantizaban el haber considerado todas las posibles fallas y el resultado es que las medidas de prevención, frecuentemente se tomen después de ocurrido el evento.

El desarrollo formal de sistemas de análisis de riesgos se inició en la Industria Aeroespacial , como una respuesta natural a la magnitud de las consecuencias de ocurrir una falla: Mal funcionamiento de un misil complejo o sistemas de aeronaves que pudieran resultar en pérdidas de muchas vidas humanas y costos de millones de dólares. Era imperativo detectar fallas potenciales a priori. La Industria Nuclear y Electrónica implantaron rápidamente lo desarrollado en la Industria Aeroespacial.

A principios de los 60's se desarrollo la metodología conocida como Análisis de Modo de Falla y Efecto (Failure Mode and Effect Analysis FMEA), la cual es la simple formalización del sistema “Que pasa si...?”. La palabra clave es la formalización, lo que significa que es una metodología que puede ser aplicada a procesos y sistemas complejos. En 1962 se desarrolló la metodología sobre “Análisis de árbol de falla” (Fault Tree Analysis, FTA), la cual consiste en el análisis y cuantificación de un diagrama lógico, el cual identifica la secuencia de todos los eventos que pueden dar como resultado una falla específica (fuego, explosión, derrame, etc.).

Durante la década de los 60's fue creada otra metodología para el análisis de riesgos en la división de Mond de ICI, este sistema se conoce como “Análisis de Riesgo y Operabilidad” (Hazard and Operability Studies HAZOP). Esta metodología fue originalmente concebida para aplicarse en el diseño de nuevas unidades operativas o modificativas a las existentes pero, este método permite identificar riesgos, sistemáticamente en un proceso continuo de operación.

3.2. Análisis de Riesgos en Procesos Químicos.

La aplicación de un sistema de análisis de riesgo en procesos requiere de una metodología que permita obtener resultados adecuados para lograr un nivel razonable de seguridad.

Es evidente que la probabilidad de ocurrencia de un evento de pérdida será cero (0) sólo cuando el potencial de pérdida sea cero (0); es decir cero (0) proceso productivo.

El análisis de riesgos en procesos parte de la clasificación de riesgos en cinco campos de estudio, que se analizan con técnicas específicas, de donde resultan una serie de medidas técnicas y/o administrativas, cuya implantación asegura el control de los riesgos agrupados en dicho campo.

Los campos de riesgo que considera [IR] son:

1. Fuego y explosión.
2. Nubes explosivas.
3. Operabilidad.
4. Sistemas críticos del proceso.
5. Efectos de paro y arranque.

Así mismo, se considera que las unidades de proceso son las líneas de producción en las cuales las materias primas sufren transformaciones físicas y/o químicas para obtener los productos deseados, incluyendo las áreas de almacenamiento. Las unidades pueden subdividirse en secciones, definidas como las partes del proceso donde se realiza una operación o un proceso unitario o aquella serie de equipos y sistemas utilizados para la misma operación, que estén físicamente separados de otros en la misma unidad por barreras, paredes, pisos o a una distancia mínima de 15 m, por lo que se habla de secciones tales como: almacenamiento, reacción, purificación, destilación, sistema de intercambio de calor, sistema contra incendio, filtración, etc..

3.3. Etapas de un Análisis de Riesgos.

El diagnóstico de seguridad a una planta de procesos involucra responder a una serie de preguntas:

- ¿ Existen Riesgos reales y potenciales ?, si es así,
- ¿ Cuales son ?

- ¿De que magnitud son ?
- ¿ Son aceptables ?, si no es así,
- ¿ Cómo se pueden eliminar o reducir?

Las respuestas a estas exigencias pueden obtenerse a través de diferentes métodos de Análisis de Riesgos. Este proceso requiere de cubrir las siguientes etapas generales [1R]:

Primera Etapa: Consiste en conocer a detalle las características de los procesos, los materiales utilizados y su entorno para la identificación primaria de la existencia de posibles riesgos reales y potenciales.

Segunda Etapa: Consiste en identificar los riesgos específicos existentes.

Tercera Etapa: Esta consiste en evaluar la magnitud del evento y cuantificar sus consecuencias posibles, y si fuese necesario, evaluar la probabilidad de ocurrencia.

Cuarta Etapa: Consiste en establecer las medidas preventivas necesarias para eliminar o minimizar el riesgo hasta el grado de aceptación del mismo.

Las técnicas específicas a aplicar en cada una de las etapas, dependerán de cada caso en particular y del grado de profundidad requerido. En todo diagnóstico es indispensable seguir la secuencia de las etapas ya mencionadas para optimizar los resultados del diagnóstico.

3.4 METODOS CUALITATIVOS.

3.4.1 INDICE DE FUEGO Y EXPLOSION (DOW).

Esta técnica fue desarrollada por DOW Chemical Company. para determinar el grado de riesgo de fuego y explosión de las unidades de proceso, así como evaluar las posibles pérdidas económicas y especificar medidas preventivas y de control. Es una técnica de aplicación estricta en la cual se relaciona el riesgo del material presente con riesgos intrínsecos de la unidad de proceso; por ello se utiliza como análisis de riesgos inicial para todas las unidades de proceso existentes en la planta, así como base de decisión para la aplicación de las demás técnicas en función de los resultados de la aplicación de ésta.

El concepto de esta técnica es dividir el sistema o planta en secciones manejables en preparación para el análisis. La clave para su tratamiento es identificar los materiales en la sección que se empezó a analizar, seleccionando como parámetros los químicos dominantes, y evaluando sus propiedades termodinámicas.

El propósito del índice es definir una metodología que pueda:
Cuantificar anticipadamente el daño originado de incendios y explosiones potenciales en términos realistas.

Identificar los contribuidores a incidentes de incendio o explosión.

Comunicar el riesgo potencial a la Administración en términos monetarios.

El objetivo fundamental es que, para la complementación de este índice, el analista debe ser consciente de las pérdidas reales potenciales del proceso en consideración. No obstante, el índice no pretende ser global así como un análisis de riesgos detallado y por lo tanto es tomada en cuenta como una técnica de investigación.

DOCUMENTACION REQUERIDA.

Para conducir una evaluación de riesgo, usando este Índice, el analista debe tener como mínimo los siguientes documentos:

Un Plot plan exacto de la planta.

Descripción de las áreas y de las actividades desarrolladas en las mismas.

Diagrama de flujo de proceso.

Datos de costos de la planta o equipo de proceso bajo consideración.

Apropiados formatos de trabajo y hojas de presentación de resultados del Índice DOW .

Guía de cálculo del Índice DOW.

DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA.

1. Sobre el Plot plan dividir la planta en secciones e identificar las unidades de proceso que se consideren podrían tener gran impacto en magnitud ó que contribuyan más al riesgo en caso de incendio o explosión.

2. Determinar el factor material (FM) para cada unidad de proceso, basado en el material o mezcla de los mismos que se están procesando en la unidad, la peligrosidad del material, calculada como función directa de sus riesgos de inflamabilidad y reactividad, y es un valor numérico entre 1 y 40.

3. Evaluar la contribución de los factores de riesgos. Los factores de riesgos de proceso se catalogan en dos apartados diferentes:

Riesgos Generales de Proceso (F1). Estos engloban las condiciones comunes a todo proceso, por ejemplo: reacciones exotérmicas o endotérmicas, manejo y transferencia de materiales, drenajes, accesos, etc.

Riesgos Especiales de Proceso (F2). Que abarca las condiciones específicas de operación del proceso; por ejemplo: temperatura, presión, operación cerca o en el rango inflamable, tipo de intercambio de calor, cantidad de material inflamable, equipo rotatorio, fugas-juntas y empaques, corrosión y erosión, uso de calentadores a fuego directo, etc.

En cada apartado se asigna un valor numérico, de acuerdo a la magnitud del riesgo, en los puntos específicos que apliquen. La suma de los valores asignados a cada punto de los apartados determina el factor por riesgos generales del proceso (F1) y el de riesgos especiales del proceso (F2). La suma indica que la probabilidad de ocurrencia de un evento de pérdida en función de la combinación de los riesgos presentes en el proceso.

4. Calculo del Factor de Riesgo (F3) de la unidad. El producto de los factores de Riesgos Generales de proceso y Riesgos Especiales de proceso $F1 \times F2$ representa el Factor de Riesgo de la Unidad (F3), el cual es una medida del grado de riesgo al que esta expuesto la unidad de proceso. Este factor

generalmente se encuentra en un rango de 1 a 8, y si se obtienen valores más grandes, el máximo factor aplicado es 8.

5. Cálculo del Factor de Daño. El Factor de Riesgo de la Unidad (F3) es usado con el Factor material (FM) para determinar el “Factor de Daño” de la unidad, el cual representa el grado de pérdida por fuego o explosión en una determinada área, Gráfica 3.5-1.

6. Cálculo del Índice de fuego y explosión. El producto de Factor de Riesgo de la Unidad (F3) y el Factor Material (FM) $F3 \times FM$ representa el Índice DOW de fuego y explosión (IFE) que es la probabilidad de daño que se causaría en caso de fuego o explosión en un área determinada.

7. Cálculo del área de exposición. El IFE es usado para determinar el “Área de Exposición” alrededor de la unidad de proceso; ésta se considera circular y se determina en función del valor del IFE utilizando la Gráfica 3.5-2.

8. Cálculo del daño a la propiedad. Una vez determinada el área de exposición, se calcula el valor del equipo e inventario dentro de esta área, este valor es usado para obtener el Daño Máximo Probable a la Propiedad base (DMPP Base).

9. Reducción del DMPP Base. El valor del Daño Máximo Probable a la Propiedad base (DMPP Base) puede ser reducido a un Daño Máximo Probable a la Propiedad actualizado o corregido (DMPP Actualizado), aplicando diversos “Factores de Crédito” y/o relocalizando equipos de alto valor fuera del “Área de exposición”. La probabilidad de ocurrencia y el potencial de pérdida de un evento se ven minimizados de acuerdo a los sistemas de protección y control presentes en la unidad de proceso, los cuales en esta técnica son llamados “Factores de Crédito”, que se consideran en los siguientes apartados:

a). Control del Proceso, Que comprende sistemas tales como:
Energía de emergencia.

Sistema de enfriamiento (capaz de mantener enfriamiento durante 10 minutos

en condiciones anormales).
Control de explosiones.
Paro de emergencia.
Control por computadora .
Instrucciones/Procedimientos de operación.
Revisión de reactivos Químicos.
Inertes.

B). Aislamiento de materiales, Que evalúa los sistemas que aíslan secciones de transferencia (corte de materiales) y los sistemas de contención en caso de fuga o derrames de materiales:

Válvulas de control remoto.
Descarga a vertederos de emergencia.
Drenaje.

c). Sistemas de protección contra incendios:

Detección de fugas.
Suministro de agua contra incendios.
Sistemas de aspersión.
Protección de cables.
Sistemas especiales (detectores de humo, sistemas de CO₂).
Extintores de mano.
Cortinas de agua.

10. Determinación del DMPP Actualizado. El DMPP Actualizado o corregido, representa la pérdida probable en algún incidente de razonable magnitud con un funcionamiento razonable (no perfecto) de todos los sistemas de protección. Si el funcionamiento de los sistemas de protección es menos que razonable, entonces la magnitud del DMPP Actualizado o corregido tenderá hacia un DMPP Base.

11. Estimación de los días máximos probables de interrupción. El DMPP Actualizado es usado para obtener los días máximos probables fuera de operación (DMPFO), que es el tiempo que la unidad estará fuera de operación debido a reparaciones y reemplazo de equipo más la pérdida de capacidad de producir ciertos productos. La interrupción del proceso puede ser calculado con el DMPP Actualizado en la Gráfica 3.5-3.

VENTAJAS:

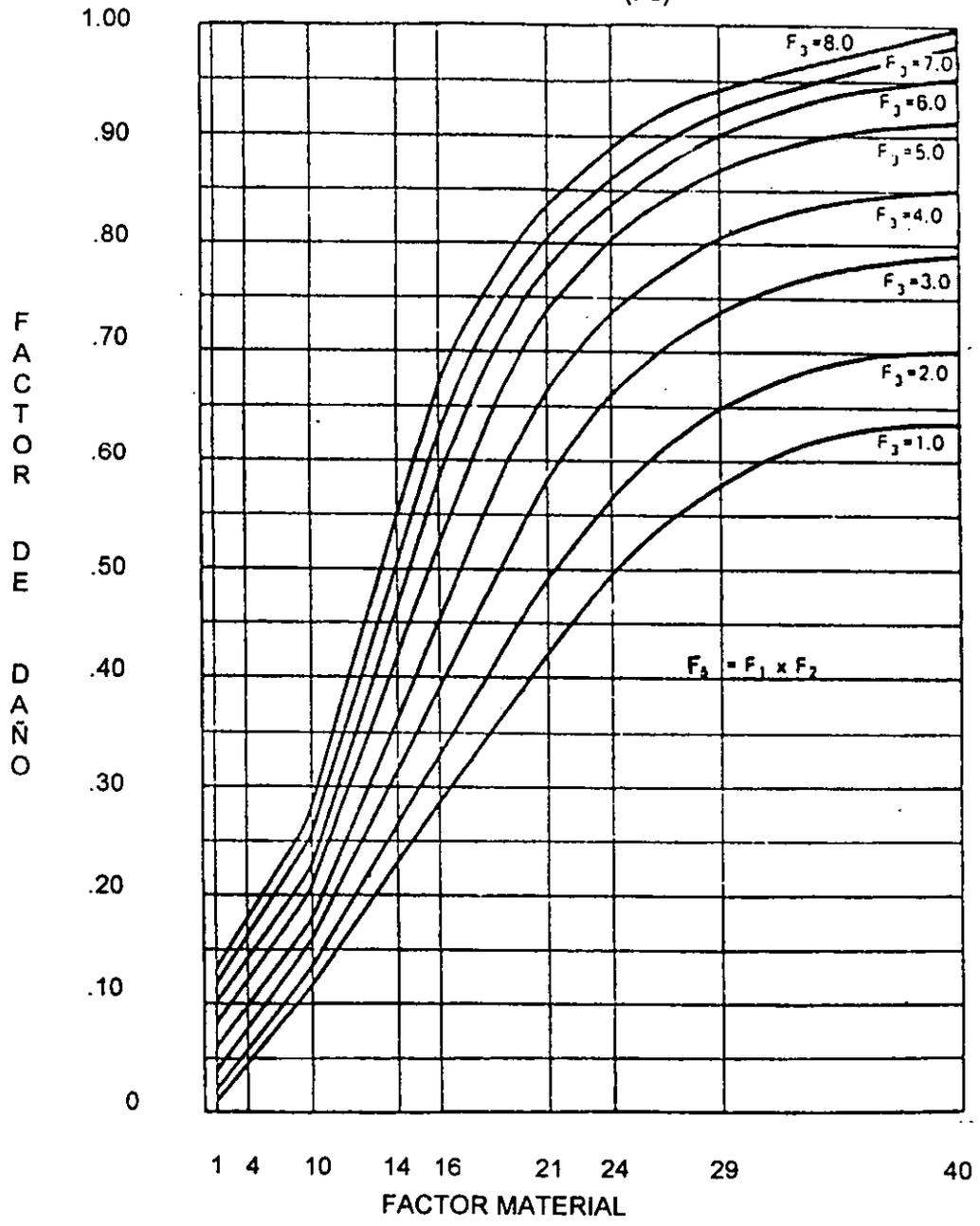
- Sirve como base de decisión en un análisis de riesgo para la aplicación de las demás técnicas.
- Cuantifica anticipadamente el daño originado de incendios y explosiones.
- Identifica los contribuidores o incidentes de incendios y explosiones.

DESVENTAJAS:

- Esta técnica solo sirve para la jerarquización o investigación de riesgos.
- Se utiliza como análisis de riesgo inicial en las unidades de proceso.

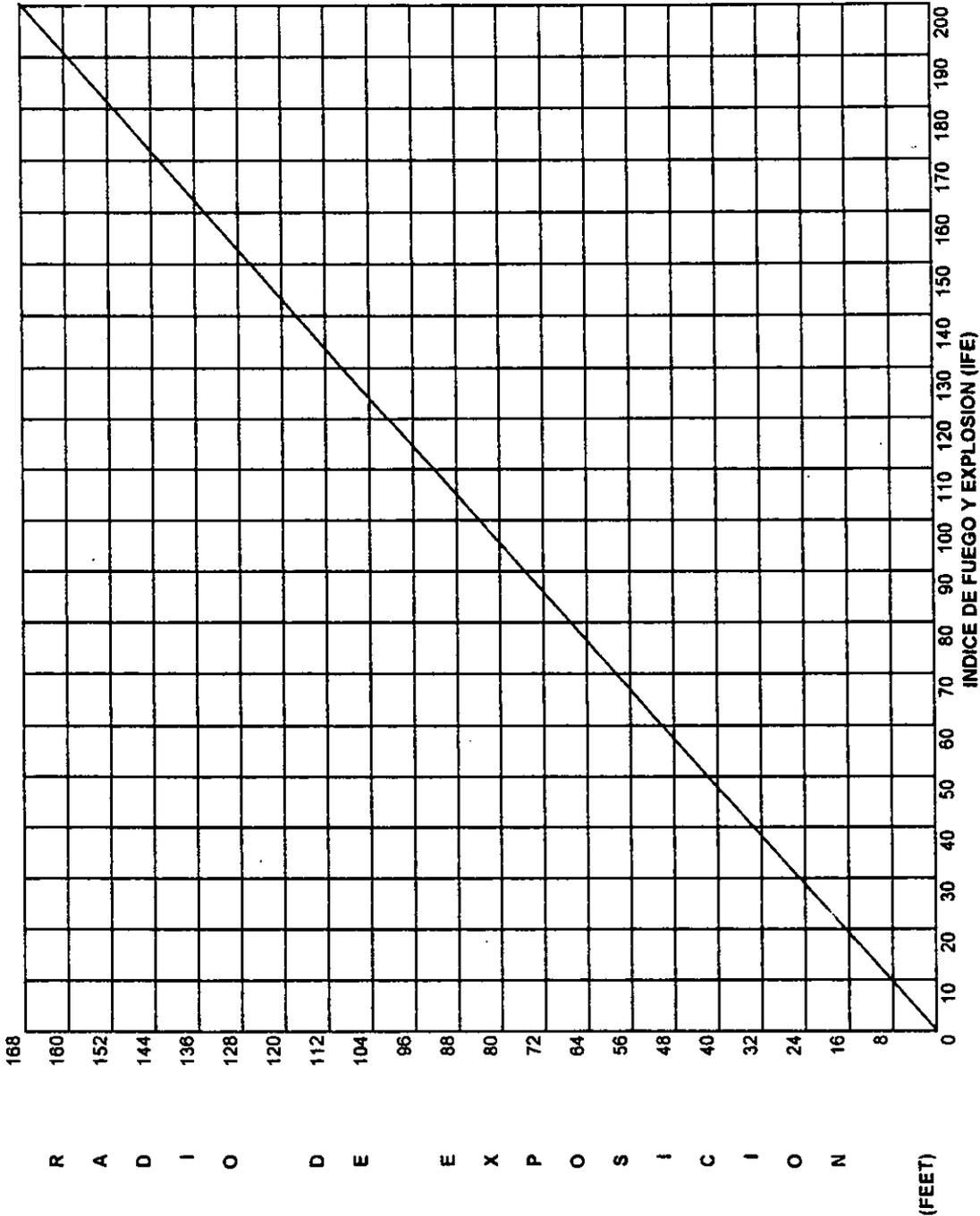
GRAFICA: 3.5-1 FACTOR DE RIESGO DE LA UNIDAD

(F3)



GRAFICA No. 3.5-2

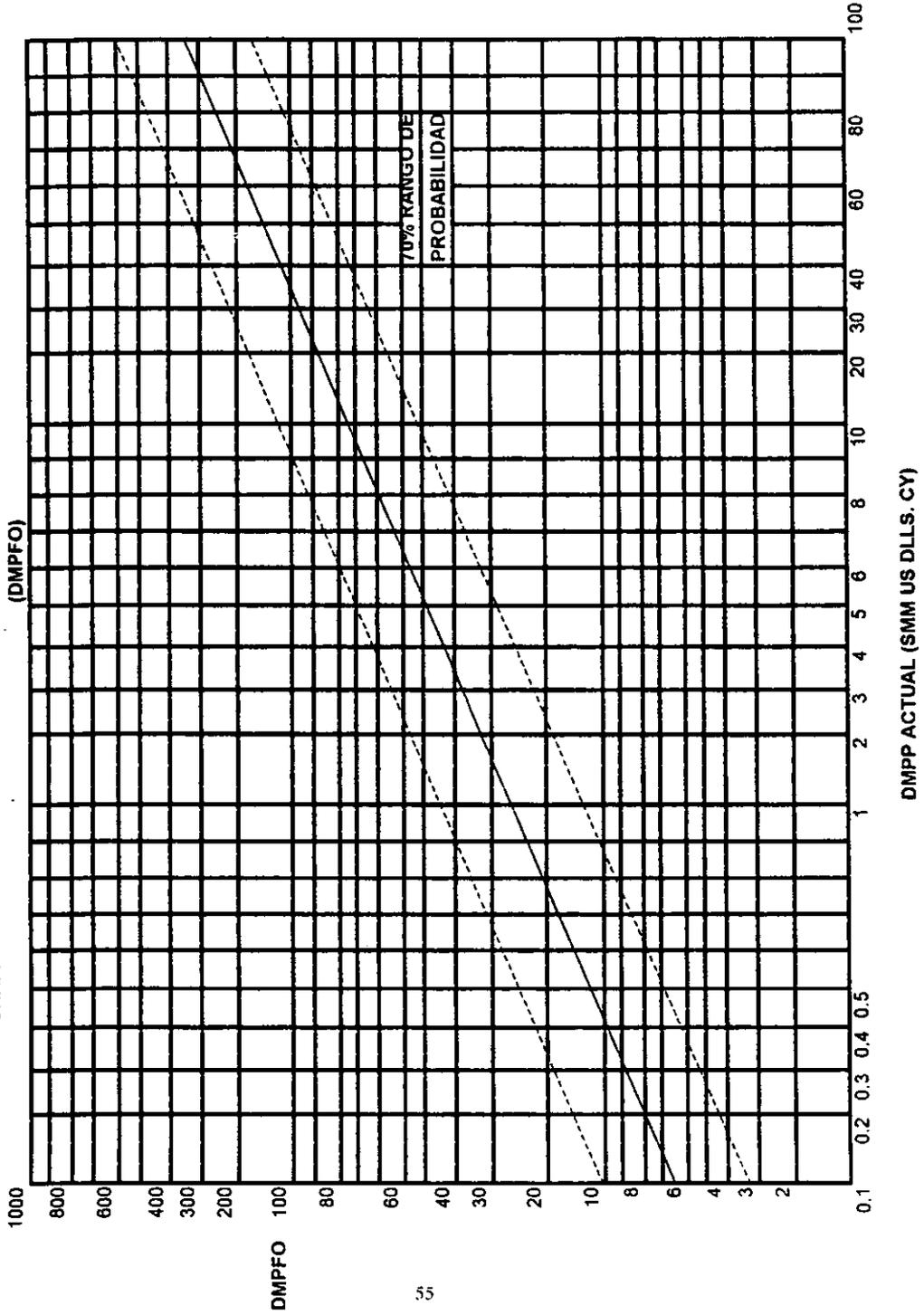
AREA DE EXPOSICION



R A D I O D E E X P O S I C I O N

GRAFICA No. 3.5-3

DIAS MAXIMOS PROBABLES FUERA DE OPERACIÓN



3.4.2 INDICE DE FUEGO, EXPLOSION Y TOXICIDAD (MOND).

Esta metodología es semejante a la técnica del Índice Dow, con la salvedad de que el Índice Mond determina y jerarquiza los riesgos potenciales de áreas que puedan presentar riesgos de incendio, explosión y toxicidad.

La técnica evalúa el grado de riesgo contemplando diferentes aspectos a los cuales asigna un índice parcial, finalmente los cuantifica y obtiene un índice global.

El índice Mond es comúnmente más usado durante la planeación o fase de ingeniería de diseño conceptual de una planta de proceso químico. Las modificaciones se hacen con el fin de reducir en lo posible el valor del Índice Mond y por consecuencia los costos.

DOCUMENTACION REQUERIDA.

Un Plot plan exacto de la planta.

Descripción de las áreas y de las actividades desarrolladas en las mismas.

Lista de materiales manejados en cada área.

Datos de costos de la planta o equipo de proceso bajo consideración.

Apropiados formatos de trabajo y hojas de presentación de resultados del Índice MOND.

Guía de cálculo del Índice MOND.

DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA.

El desarrollo de la técnica MOND, es un cálculo en dos partes. Inicialmente la planta es evaluada sin tomar en cuenta el equipo de seguridad y protección contra fuego de la planta. El segundo cálculo incluye todo el equipo de protección de la planta. La diferencia de los valores en el índice MOND implica un nivel de reducción de riesgo que es atribuido a las instalaciones de equipo de seguridad y protección contra fuego.

Si el segundo valor del Índice MOND se percibe que es altamente inaceptable, las bases para el índice deben ser reevaluadas. Técnicas adicionales de investigación y metodologías de identificación pueden ser aplicadas para encontrar riesgos potenciales, con modificaciones físicas de la planta u operación, el factor usado en el cálculo del Índice MOND puede ser más bajo o estar en un nivel más aceptable.

I. CALCULO DE LOS INDICES SIN CONSIDERAR FACTORES DE SEGURIDAD.

1. Sobre un Plot Plan dividir la planta en secciones; la parte de la planta

- seleccionada como una sección será normalmente el área donde exista una operación y/o riesgo material diferente de aquellos en otras secciones.
2. Selección del material clave. Identificar y listar los materiales para una sección de la planta. a continuación se selecciona uno de estos materiales (o mezcla de los mismos) que represente el mayor riesgo y en mayor cantidad en la unidad (esto se basa generalmente en el grado de toxicidad, reactividad, inflamabilidad y explosividad).
 3. Determinación del Factor Material (B). En este punto se determina el factor material apropiado al material clave (o mezcla de materiales) previamente identificado al listar los materiales, reacciones y operaciones incluidas en la sección.
 4. Determinación de los riesgos Especiales del Material (M). En este punto se tiene por objeto tomar en cuenta las propiedades especiales del material clave. Los factores de riesgo se asignan en función de las circunstancias de uso del material en la sección particular que se esté estudiando, y no se definen por las propiedades del material aislado.
 5. Determinación de los riesgos Generales de proceso (P). Estas consideraciones de riesgo se refieren al tipo básico de proceso u otra operación que se efectúe en la unidad.
 6. Determinación de los riesgos Especiales de Proceso (S). En esta sección los factores que se asignan con respecto a las características y condiciones de operación del proceso, 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.
 7. Determinación de los riesgos por cantidad de material total (Q). En esta etapa se asigna un factor para los riesgos adicionales relacionados con el uso de grandes cantidades de sustancias combustibles, inflamables, explosivos o materiales que pueden descomponerse. La cantidad de material en la sección que está siendo estudiada (incluyendo tubería, tanques de almacenamiento, etc.) se debe calcular por medio del volumen y densidad o directamente como peso del material. La cantidad de material se debe registrar como una cantidad total en peso.
 8. Determinación de riesgos por distribución de la unidad (L). Los factores de riesgo en este encabezado son asignados con respecto a los riesgos de una sección ocasionados por la distribución o arreglo del equipo tales como: altura, área normal de trabajo, etc.
 9. Determinación de los riesgos por toxicidad (T). Esta sección se refiere a la clasificación relativa de riesgos de toxicidad y su influencia en la asignación del riesgo global. Los riesgos para la salud pueden variar tanto en el grado como en la forma en que se presentan. La toxicidad de gases,

vapores y polvos se clasifica normalmente en base a los TLV (Threshold Limit Values).

10. Cálculo de los índices. Los factores individuales incluidos en las formas de reporte de resultados se totalizan en varios subgrupos tales como: Índice general de riesgo (equivalente al DOW), Índice de toxicidad de la unidad mayor, Índice de explosión interna, Índice de explosión externa y el Índice global MOND.

II: CALCULO CONSIDERANDO LOS FACTORES DE SEGURIDAD PARA CORRECCION DE LOS INDICES CALCULADOS.

Los diversos factores de seguridad y medidas preventivas que se pueden incorporar a una unidad se dividen en dos grandes clases que son:

- Reducción de riesgos por disminución de la frecuencia de los accidentes. Tendientes a evitar los accidentes.
 - Reducción de riesgos por disminución del tamaño potencial de los accidentes. Acciones que se toman cuando ha sucedido un accidente.
1. Prevención de riesgos en los sistemas de contención (K1). Este encabezado se refiere a la reducción de riesgo como consecuencia de cualquier mejora en los diseños estándar de los recipientes a presión y sistemas de tubería, así como sistemas de detección de fugas, y sistemas de alivio venteo y eliminación líquida.
 2. Control de proceso (K2). Esta sección se refiere a alarmas y/o sistemas de paro de seguridad activados por condiciones anormales específicas del proceso, tales como sistemas de enfriamiento de emergencia, suministro de energía de emergencia, sistemas de gas inerte, etc., los cuales constituyen un factor esencial para cualquier sistema de paro de seguridad.
 3. Actitud de seguridad (K3). La actitud general de la gerencia hacia normas de seguridad puede contribuir significativamente a la reducción de la frecuencia de accidentes; fomentar los entrenamientos de seguridad a todo el personal, la aplicación de buenas normas de mantenimiento, verificaciones regulares y eficientes de todos los sistemas de seguridad y control, y un informe detallado de circunstancias anormales, fallas y accidentes menores.
 4. Protección contra incendio (K4). Esta sección se refiere a que las estructuras y recipientes de la unidad estén provistos de protección contra el fuego tales como cortinas de vapor, agua, paredes resistentes al fuego, arrestadores de flama, etc., que eviten que se difunda el fuego y humo. Otro aspecto es la protección contra exposición al fuego a los cables de instrumentos, líneas de corriente, cables de potencia, con el fin de que no se interrumpan las funciones de control.

5. Aislamiento de material (K5). El contar con válvulas de corte operadas a control remoto que corten el flujo de material hacia la sección cuando se inicia el accidente, válvulas de exceso de flujo, sistemas de desecho o de relevo, drenajes superficiales adecuados que conduzcan el material lejos de la planta; son medidas que pueden controlar el incidente en su inicio y evitar su desarrollo.
6. Combate de incendios (K6). Esta sección se refiere a los sistemas de inundación y esparcido con agua, extinguidores portátiles, suministro de agua contra incendio, disponibilidad de brigadas, espuma y sistemas de alarma o comunicación. Se encuentra bien establecido que el ataque de un fuego en su inicio lo extinguirá sin mucha dificultad.
7. Cálculo de los Índices corregidos. En este encabezado los índices son corregidos. Índice actual de riesgo de incendio (Corregido por prevención en almacenamiento, protección contra incendio, aislamiento de material); Índice actual de explosión interna (corregido por el control de proceso y actitud es seguridad); Índice actual de explosión externa (corregido por prevención el almacenamiento, protección contra incendio, aislamiento de material); y el Índice global MOND (corregido por todos los factores de seguridad).

III. Evaluación del grado de seguridad del proceso.

IV. Elaboración y control de recomendaciones necesarias para tener un grado aceptable de seguridad del proceso.

RECOMENDACIONES APLICABLES DE LA METODOLOGIA MOND EN LA FASE DE INGENIERIA DE DISEÑO DE UN PROYECTO.

Durante las etapas tempranas de un proyecto, el Índice Mond recomienda los siguientes objetivos para reducir la evaluación de riesgos en la planta:

1. Equipo con un alto potencial de riesgo debe ser localizado lo más lejos posible del personal de la planta y de los ciudadanos que se encuentran en los alrededores.

Localizar unidades de alto riesgo cerca del centro de las instalaciones y separar las unidades de alto riesgo con unidades de menor riesgo con el fin de que sirvan como un amortiguador. Las unidades con un alto potencial de explosión aérea con detonación de nubes de vapor, no deben ser localizadas cerca de los límites de la propiedad. Edificios de alojamiento de personal deben ser localizados cerca del perímetro de la planta. Cuando sea posible, los edificios con un alto alojamiento de personal deben estar protegidos de

unidades de alto riesgo por medio de unidades de bajo riesgo o con edificios que alojen poco personal.

2. Espaciar las unidades de manera que se minimicen los efectos de una explosión o de la liberación de tóxicos de la unidad hacia una unidad adyacente.

Las líneas de tubería que conectan a las unidades dentro de la planta deben ser protegidas para prevenir que por medio de ellas se expandan los incendios de unidades adyacentes.

Las unidades deben ser aisladas, lejos de fuentes de ignición, tales como hornos, quemadores e interruptores de energía eléctrica.

3. El arreglo de una planta debe hacerse de manera que se minimicen los efectos de una explosión o la liberación de tóxicos en propiedades adyacentes.

Las instalaciones de almacenamiento deben ser localizadas lo más lejos posible de equipos de proceso de alto riesgo, carreteras muy transitadas, vías de ferrocarril, unidades habitacionales y edificios con una alta asistencia de ciudadanos.

4. Localizar equipos similares, unidades de menor riesgo deben ser localizados junto con unidades de alto riesgo de manera que se minimicen los efectos en caso de una explosión o liberación de tóxicos.

5. Proporcionar de manera ilimitada accesos para personal de rescate y bomberos. Dos corredores uno de acceso y otro de salida deben existir para la planta y para cada unidad individual. Los corredores de acceso a través de la planta deben de ser lo bastante amplios de manera que los equipos de combate y protección contra incendios se puedan desplazar sin ningún contratiempo.

VENTAJAS:

- Sirve como base de decisión en un análisis de riesgo para la aplicación de las demás técnicas.
- Cuantifica anticipadamente el daño originado de incendios y explosiones.
- Identifica los contribuidores o incidentes de incendios y explosiones.

DESVANTAJAS:

- Esta técnica solo sirve para la jerarquización o investigación de riesgos.
- Se utiliza como análisis de riesgo inicial en las unidades de proceso.

3.4.3 LISTA DE VERIFICACION (CHECK-LIST).

Como una técnica de identificación de riesgos., las listas de verificación son usadas como medios para verificar los diferentes requerimientos que han sido despreciados o pasados por alto. Por lo tanto una auditoria de lista de verificación es usualmente empleada después de que una actividad ha sido completada (Diseño conceptual, desarrollo del diseño, construcción). Las listas de verificación se basan principalmente en la experiencia de los aplicadores, pero también se pueden basar en códigos y estándares. Las listas de verificación pueden ser aplicadas durante todas las etapas de vida de un proyecto. Durante la ingeniería conceptual y desarrollo de diseño, las listas de verificación ayudan a identificar riesgos potenciales, diseñar procedimientos de seguridad, y áreas que pueden requerir posteriores estudios. Las listas de verificación son un medio efectivo para la verificación cualitativa de la seguridad, pruebas, y para establecer "estándares" de diseño. Mientras las listas de verificación deben ser preparadas por personal con experiencia, estas pueden ser implementadas por personal con menos experiencia, los cuales requerirán de un entrenamiento suficiente que les permita complementarlas.

DOCUMENTACION REQUERIDA.

La base para que se tome en cuenta un documento en una lista de verificación, es analizar si el documento contribuye de acuerdo al objetivo de la lista de verificación. El objetivo de la lista de verificación por lo tanto es el que determina el tipo de documentación de soporte necesaria para su desarrollo. La lista de verificación puede ser creada para una variedad de propósitos también como para las diferentes etapas del ciclo de vida de un proyecto, y la documentación de soporte para el desarrollo de una lista de verificación puede variar de lista en lista. Las siguientes recomendaciones son proporcionadas para la identificación de documentos requeridos cuando se desarrollan listas de verificación para operaciones en planta o diseño de plantas:

1. Operaciones en Planta: Procedimientos de operación, incluyendo paro y arranque, inspección y procedimientos de mantenimiento; manual de entrenamiento del operador; dibujos de las instalaciones, incluyendo dibujos soporte y de contribución al sistema especificaciones y manuales del vendedor, plot plan; bitácoras de desarrollo del equipo, descripción de los controles; procedimientos de emergencia; reportes de problemas.
2. Diseño de Plantas: Diagramas de tubería e instrumentación, diagrama de flujo de procesos, diagramas eléctricos en línea, diagramas lógicos de

control, balances de materia y energía, dibujos de clasificación de áreas eléctricas y de fuego, plot plan, criterios de diseño y operación, criterios para el establecimiento de temperaturas y presiones de diseño o materiales de construcción, dibujos de arreglo de equipo, especificaciones de compra del equipo, manuales del vendedor, hojas de datos de seguridad de los diferentes reactivos (relacionado al manejo especial, toxicidad, inflamabilidad, corrosividad o reactivos).

DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA.

1. Para generar una efectiva lista de verificación, el preparador debe reconocer áreas adicionales de expertos que deben ser incluidas. Por ejemplo, una lista de verificación debe incluir controles, eléctricos, mecánicos y aspectos estructurales, también como atributos específicos del proceso tales como límites de explosividad, reactividad o inflamabilidad.
2. Una vez que todas las áreas de riesgo han sido identificadas, deben hacerse los arreglos necesarios para asegurar los servicios de personal competente en cada una de esas áreas.
3. Las listas de verificación deben de empezar con un breve resumen de sus objetivos, la frecuencia recomendada de implementación y el número requerido de personal calificado para complementar la lista de verificación.
4. El nivel de detalle dentro de una lista de verificación específica debe ser directamente relacionado con el nivel de complejidad del sistema que se desea verificar. Los requerimientos deben ser estructurados para identificar los problemas que deben ser reducidos posteriormente, y para asegurarse que los estándares, prácticas industriales, y los procedimientos han empezado a realizarse.
5. Una vez en proyecto, la lista de verificación debe ser revisada individualmente por otras personas que estén familiarizadas con su objetivo.
6. Finalmente, el preparador y los revisadores deben de examinar la lista para confirmar que los atributos apropiados no han sido omitidos de la lista. Ocasionalmente la revisión de una lista de verificación debe ser en orden invertido durante el chequeo del proceso. El chequeo en orden inverso ayuda a identificar pasos o atributos que están fuera de orden u omitidos

durante el desarrollo. El chequeo en orden inverso es típicamente usado para listas de verificación que evalúan sistemas complejos.

7. Las listas de verificación deben de ser usadas y mantenidas durante todas las etapas de vida de un proyecto. Esto requiere una evaluación periódica de la lista de verificación para asegurar su integridad y exactitud.
8. Las listas de verificación deben ser actualizadas después de que cada modificación ha sido implementada y después de cada salida mayor, por ejemplo cuando un equipo principal es reemplazado o modificado substancialmente.

IMPLEMENTACION DE LA METODOLOGIA.

- En el inicio o arranque, las listas de verificación de operación ayudan al operador a alinear el sistema para operaciones unitarias y para el desarrollo de pruebas a equipos. Estas listas de verificación son dirigidas, cuando es necesario al acondicionamiento de equipos o sistemas para operaciones normales, tales como sistemas de evacuación, sistemas de purgado y drenaje, instalación de válvulas, o sellos en válvulas. Las listas de verificación de operación aseguran que las instalaciones son empezadas a operar de acuerdo a los procedimientos y que el personal está desarrollando la calibración en línea, los sistemas de prueba están listos y verificando que los sistemas estén alineados (esto es importante para las operaciones batch).
- Las listas de verificación de paro, verifican el estado anterior del equipo que va a ser separado y llevado a mantenimiento, especialmente cuando se realizan operaciones riesgosas.
- Las listas de verificación pueden asegurar la disponibilidad de diferentes sistemas alternos, los cuales son importantes para procesos continuos donde el mantenimiento en línea debe ser desarrollado, además de proporcionar una referencia cruzada para un apropiado procedimiento de mantenimiento.

VENTAJAS:

- La lista de verificación es la técnica más simple de identificación de riesgos con la que se cuenta.
- El uso de una lista de verificación es una regla basada en el comportamiento, esto significa que alguien puede seguir instrucciones escritas para desarrollar un acto en particular cada vez que es requerido. Así la implementación requiere solamente de un entrenamiento mínimo.
- Una lista de verificación proporciona documentación simple del estado de la unidad (equipo, accesorio, etc.) en cuestión.

DESVENTAJAS:

- No obstante el desarrollo de una lista de verificación requiere de personal con experiencia; relativamente personal inexperto puede usarlas efectivamente si ha sido adecuadamente instruido en la aplicación de las listas de verificación.
- Una lista de verificación puede enfocar solamente a una sola unidad a la vez, así ésta no puede identificar riesgos que son resultado de interdependencia o interacciones entre procesos o procedimientos.
- Una lista de verificación también tiende a limitar el enfoque a atributos inmediatos, restringiendo al personal de usar su imaginación o intuición para identificar áreas con problemas potenciales.
- La desventaja más significativa de una lista de verificación es que es solamente muy buena como la habilidad y principalmente de la experiencia del elaborador de ésta. Una lista de verificación preparada por una persona sin experiencia o no calificada, pudo haber despreciado o pasado por alto puntos críticos que podrían identificar riesgos estimables para posteriores estudios.

3.5 METODOS SEMICUALITATIVOS.

3.5.1 ANALISIS ¿QUE PASA SI...? (WHAT IF?).

La metodología ¿Qué pasa si...? es una de las tres formas más simples de conducir un análisis de riesgos; los otros dos métodos son las listas de verificación y el análisis de riesgos preliminar. Diferente a otros métodos más complicados, tales como el Análisis Dow/Mond, Análisis de árbol de fallas, y el estudio de riesgos y operabilidad (HAZOP); ésta técnica no requiere de métodos especiales cuantitativos o de muchos preparativos. El método no utiliza información específica de los procesos para generar una lista modelo de preguntas. Un equipo especial prepara ésta lista comprensiva de preguntas, llamada, lista de preguntas ¿Qué pasa si...?, las cuales son colectivamente contestadas por el equipo y resumidas en una forma tabular.

La técnica ¿Qué pasa que si...? es ampliamente usada durante las etapas de diseño de desarrollo del proceso, también como durante el tiempo de vida de operación de las instalaciones, cuando se empiezan a realizar mejoras o cambios al proceso o procedimientos de operación. En el último de los casos, las deficiencias necesitan ser identificadas antes de que un cambio sea implementado, y en propósito del método es identificación y prevención de riesgos. Generalmente, los riesgos identificados son críticos o riesgos accidentales.

DOCUMENTACION REQUERIDA.

Descripción Química del Proceso.
Procedimientos de operación.
Procedimientos de mantenimiento.
Descripción de los procedimientos de los Operadores.
Diagramas de flujo de proceso.
Diagramas de tubería e instrumentación.
Inventarios de materiales peligrosos.

Otros documentos. Estos documentos pueden incluir planos del sitio, dibujos de arreglo del equipo, planes de respuesta a emergencias, un sumario de eventos y condiciones climatológicas u otros relacionados con riesgos externos, o dibujos de clasificación de áreas eléctricas del lugar.

SELECCION DEL PERSONAL.

La selección debe resultar en un grupo multidisciplinario que pueda contribuir en las diferentes áreas sometidas tales como operaciones, ingeniería de diseño, procedimientos y prácticas de mantenimiento y prácticas de seguridad y emergencia. El equipo por lo tanto debe incluir en el último de los casos cada una de las siguientes personas:

- Un Operador de procesos.
- Un Ingeniero de procesos.
- Un Ingeniero en mantenimiento.
- Un Jefe de planta o seguridad.

El equipo de trabajo es conducido por su Presidente o director que:

- 1). Define el alcance.
- 2). Organiza los miembros del grupo.
- 3). Organiza las preguntas y su revisión por los miembros del equipo.
- 4). Selecciona un secretario que resuma las respuestas de las preguntas durante la revisión.

DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA.

La metodología detrás de un análisis ¿Qué pasa sí...? es un proceso especulativo en el cual las preguntas en la forma ¿Qué pasa sí...? son formuladas y revisadas. El método tiene las siguientes características básicas:

- Definición de alcance.
- Revisión de documentación.
- Formulación de preguntas.
- Evaluación de las respuestas y resultados.
- Resumen de las preguntas en forma tabular.

Las características básicas de la metodología ¿Qué pasa sí...? y los rasgos que marcan un análisis completo son los siguientes:

- Un análisis ¿Qué pasa sí...? debe ser un estudio sistemático de:
 - Procesos Químicos actualizados.
 - Procedimientos de operación.
 - Procedimientos de mantenimiento.
 - Descripción de labores del operador.
 - Diagramas de flujo de procesos.

Diagramas de tubería e instrumentación.

Inventarios de sustancias químicas.

Otros documentos de diseño de las instalaciones.

- Un análisis ¿Qué pasa sí...? debe ser desarrollado por un equipo multidisciplinario.
- La lista de las preguntas ¿Qué pasa sí...? debe ser preparada por propuestas.
 - Las preguntas de la lista pueden ser preparadas en conferencia o independientemente.
 - El equipo ¿Qué pasa sí...? debe ser formado por personas que sean capaces de responder preguntas con un mínimo de asistencia.
 - El equipo conductor y el registrador son asignados para el tiempo de duración del estudio.
 - Los resultados del análisis deben ser presentados en un formato tabular e incluir la serie de preguntas ¿Qué pasa sí...?

1. Definición del alcance. En este método es muy importante primero definir el tipo de riesgos de proceso y el límite de alcance del estudio. Éstos riesgos pueden incluir algunos de los siguientes: fuego, explosión, liberación de químicos tóxicos gaseosos, liberación de químicos tóxicos líquidos, liberación de radioactivos, reacciones inadecuadas. el siguiente paso es definir los límites físicos de las fuentes de riesgos potenciales y el área de impacto o los receptores resultantes del riesgo potencial. Éstos límites físicos son definidos por el equipo conductor o iniciador del estudio.

Los límites físicos de las fuentes de riesgos potenciales pueden ser:

- 1). Una sola pieza de un equipo.
- 2). Una unidad de proceso con varias piezas de equipamiento.
- 3). Una instalación entera o colección de unidades de proceso.
- 4). Una comunidad.

2. Revisión de Documentación. El segundo paso de un análisis ¿Qué pasa sí...? es la selección y revisión de documentos necesarios para la preparación de las preguntas ¿Qué pasa sí...?. estos documentos básicos deben ser revisados individualmente por cada miembro del equipo antes de que la revisión y el análisis ¿Qué pasa sí...? sean desarrollados por el equipo. Durante la revisión individual de documentos, las preguntas pueden ser formuladas planteando situaciones anormales hipotéticas, o de desviaciones de la operación normal del proceso.

En adición a la documentación, es importante para el equipo conductor realizar un recorrido en los sitios donde se llevan a cabo las operaciones peligrosas, como parte del análisis ¿Qué pasa sí...?. Esto permite al equipo conductor familiarizarse con las condiciones generales e interconexiones de los equipos en el lugar.

3. Formulación de las preguntas. La formulación de las preguntas ¿Qué pasa sí...? por miembros del equipo representa el tercer paso en esta metodología. Las preguntas son formuladas con la frase inicial ¿Qué pasa sí...?. Estas preguntas pueden ser enfocadas a alguna de las siguientes áreas:

Fallas en el equipo.

Condiciones actuales del proceso (debido a temperatura, presión).

Fallas en la instrumentación.

Improvisación de operadores, distracciones o equipos mal operados.

Desviaciones de los procedimientos de operación durante operaciones normales, arranque o paro.

Accidentes relacionados con acciones de mantenimiento .

Actividades en sitio relacionadas con el proceso, tales como transportación , impactos con grúa o accidentes relacionadas con maniobras.

Eventos externos, tales como accidentes aéreos, vandalismo, tormentas.

Combinación de fallas, tales como fallas múltiples en el equipo, o falla del equipo combinada con error del operador.

Las preguntas son mejor formuladas de manera sistemática, empezando desde la alimentación del proceso, y siguiendo el flujo a través de todo el proceso hasta llegar a la corriente de salida del producto. Esta evaluación cronológica también puede ser aplicada (aunque esto no es hecho frecuentemente) a los procedimientos de operación, donde las condiciones pueden ser evaluadas con los pasos de operación.

Algunas veces la formulación de las preguntas ¿Qué pasa sí...?, son aplazadas hasta el quinto paso. Cuando las preguntas son aplazadas , el equipo conductor debe revisar el proceso u operación de manera cronológica, así que las preguntas son meteorológicamente preparadas, contestadas, y registradas con su respectivo grupo de respuestas.

4. Evaluación de las respuestas y resultados. Una vez que las preguntas son preparadas por cada miembro del equipo ¿Qué pasa sí...?, el equipo conductor procede hacia el cuarto paso de este análisis. Las preguntas son colectadas por

el equipo conductor, quien consolida las preguntas dentro de set colectivo de preguntas, el cual debe ser arreglado cronológicamente de acuerdo al proceso u operación. Estas preguntas deben de ser en listadas en una tabla.

La tabla es incompleta antes de que el equipo empiece a revisarla; cada fila en la tabla representa una pregunta individual ¿Qué pasa si...?. La respuesta asociada, peligrosidad, y acciones recomendadas es determinadas por el equipo ¿Qué pasa si...? durante la revisión en equipo. La revisión en equipo es ahora orquestada por el equipo conductor, quien formula las respuestas de equipo para cada categoría de cada pregunta. Es usualmente una buena idea que el equipo conductor utilice una elevada transparencia del proceso que se empieza a discutir, así que las preguntas consideradas para el proceso puedan ser rápidamente resueltas con el auxilio de dibujos (los cuales pueden ser diagramas de flujo de proceso, o diagramas de tubería e instrumentación). El registro de observaciones (respuestas para cada pregunta) es mejor desarrollado por el equipo analista, y no por el equipo conductor, de manera que la discusión pueda proceder rápida y efectivamente.

El equipo QUE PASA SI debe ser capaz de contestar cada pregunta sin la necesidad de alguna asistencia externa. Mientras esto no siempre pueda ser posible, los miembros del equipo seleccionados del área de procesos deben asegurar una alta probabilidad de proporcionar respuestas a todas las preguntas al resto de los miembros del equipo. En el caso de que una pregunta ¿Qué pasa si...? sea incontestable por los miembros del equipo QUE PASA SI, el equipo conductor debe anotar esto en la tabla y aplazar la respuesta hasta que un apropiado asesor externo sea consultado. El equipo conductor debe formular una respuesta en la tabla de resumen antes de la consulta con el asesor externo.

5. Preparación del resumen tabular. El quinto y el último de los pasos en el análisis QUE PASA SI es la terminación de la tabla resumen preparada después de la revisión en equipo. La tabla debe incluir no solamente las cuatro columnas tituladas usadas en la revisión de equipo, también puede incluir información, tal como identificación de unidades, localización, fecha, número de dibujo, número de revisión de dibujo, y participantes del equipo. La tabla también debe mostrar algún seguimiento discutido de alguna pregunta irresoluble en su momento, durante la revisión en equipo.

VENTAJAS:

- Es simple no requiere de técnicas especiales y herramientas computacionales.
- Es útil en cualquier tiempo durante las fases del ciclo de vida de la planta.
- Es relativamente bajo en costos, mínimas preparaciones son requeridas y herramientas especiales no son requeridas; el mayor de los costos es el tiempo asociado del personal que lo realiza.
- Es simple, los resultados obtenidos se resumen en una tabla sencilla.

DESVENTAJAS:

- Los requerimientos de un equipo de gente para el desarrollo del estudio. El equipo conductor tiene la dificultad de enlistar a los miembros del equipo ya que varios son del grupo de operación los cuales tienen otras responsabilidades y les es imposible dedicar varias horas por día para el desarrollo del estudio durante un tiempo prolongado.
- La confianza en la experiencia e intuición de los miembros del equipo para desarrollar imaginariamente y resolver las preguntas.
- La naturaleza subjetiva del análisis. El proceso es subjetivo porque este es un método menos analítico que otros, ya que confía en la imaginación para crear y resolver las preguntas.
- Los resultados semicualitativos obtenidos. La clasificación de peligrosidad da solamente un nivel general relativo al objetivo del estudio.

3.5.2 ESTUDIOS DE RIESGO Y OPERABILIDAD (HAZARD AND OPERABILITY STUDIES, HAZOP).

Un estudio de Riesgo y Operabilidad (HAZOP) es una metodología simple y estructurada para la identificación de riesgos. Esta es una técnica que permite al usuario emplear la imaginación pensando en la identificación de riesgos y problemas operacionales.

Un HAZOP involucra una examinación metódica, sistemática de los documentos de diseño que describen las instalaciones. El estudio es desarrollado por un equipo multidisciplinario para identificar riesgos o problemas de operación que podrían resultar en algún accidente. Desviaciones del valor de diseño o parámetros clave son estudiados, usando palabras guía para control de la evaluación. Este presume que los valores de diseño de flujos, temperaturas, y otras variables de proceso son inherentemente seguras y operables.

El estudio es usado para:

Proporcionar administración de riesgos con conocimiento de donde los riesgos potenciales podrían existir y proporcionar un vehículo para dar posteriores recomendaciones del diseño de la planta o modificaciones del proceso.

Proporcionar seguridad relacionada con documentación de cada línea y pieza del equipo en la planta, el cual es muy utilizado cuando modificaciones son realizadas.

Proporciona bases para subsecuentes análisis de riesgos o evaluación de trabajos.

Si un estudio HAZOP es desarrollado y si las modificaciones son subsecuentemente implementadas para mitigar los riesgos, entonces la planta debe operar bajo condiciones más seguras que antes que se realizará el estudio. Desarrollando un HAZOP, no obstante, no garantiza que los riesgos no existan, ni garantiza que los eventos peligrosos o problemas de operación no serán encontrados.

El objetivo de esta metodología es estimular la imaginación en forma sistemática y es lo suficientemente flexible para aplicarse a todo tipo de plantas, procesos, equipos, etc.

A través de la metodología uno imagina desviaciones utilizando ciertas palabras clave que, al ser analizados por un grupo multidisciplinario, permite una búsqueda sistemática de los peligros escondidos en la planta.

1. Es una técnica para identificar riesgos y problemas, los cuales impiden una operación eficiente.
2. Es una técnica que permite a la gente liberar su imaginación y revisar en todas las formas posibles en que los riesgos y/o problemas de operación pudieran surgir.
3. Debe considerarse como un concepto de Seguridad del Proceso para protección del personal, instalaciones y comunidades.

Esta técnica es una de las de aplicación más práctica, además de que proporciona la información más completa y detallada acerca de la operación del proceso, los riesgos asociados y las medidas preventivas necesarias.

DOCUMENTACION REQUERIDA.

Diagrama de flujo.

Diagramas de tubería e instrumentación.

Manual de Procedimientos.

Plot plan.

Descripción del Proceso.

Bitácoras de mantenimiento.

SELECCION DEL PERSONAL.

El grupo de estudio consiste de personal entrenado, con un amplio conocimiento en la tecnología y operaciones además de la necesidad de tener técnicos expertos para contestar preguntas que surgen durante la revisión sin tener que acudir a asistencia externa.

Un equipo multidisciplinario es muy importante en el desarrollo de un HAZOP. La lista de participantes normalmente incluye los siguientes:

Director o Conductor del Equipo.

Ingeniero de Seguridad.

Ingeniero de Proceso.

Ingeniero de operación.
Ingeniero de Mantenimiento.
Ingeniero de Instrumentación.
Secretario.
Ingeniero Eléctrico.
Personal de Mantenimiento.
Personal de operación.
Toxicólogo.

Mucho de este personal solo es llamado para dar asistencia. Para consideraciones toxicológicas, eléctricas, mantenimiento y otros, los participantes en estas áreas pueden ser requeridos solamente para consultas. También es importante tener cuidado en el tamaño del equipo revisor, debe ser un número manejable, entre 5 y 7 de manera que todos los miembros del equipo puedan participar.

DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA.

Definición de alcance y objetivos.

El alcance y los objetivos del Proyecto se deben hacer explícitos lo más pronto posible con el fin de evitar planteamientos que no aportan información nueva.

El alcance y los objetivos se pueden enfocar a los siguientes puntos:

Revisión de un diseño.

Decidir si un sistema o equipo nuevo que se va a adquirir es compatible.

Verificar los procedimientos de operación y seguridad.

Requerimiento legal.

Identificación de riesgos (mejorar la seguridad de la planta).

Para optimizar procesos.

Se deben definir los tipos de daños que serán considerados, de tal forma que se determinen los más representativos:

Daños al personal.

Daños al equipo y la planta.

Pérdidas de producción.

Impacto ambiental.

Seguridad pública.

Conceptos Básicos:

Para desarrollar un estudio de riesgo y operabilidad (HAZOP) se requiere de una descripción completa del proceso y se cuestiona a cada una de las partes del proceso y a cada componente para descubrir qué desviaciones del propósito original para lo cual fueron diseñados pueden ocurrir y determinar cuáles de esas desviaciones pueden dar lugar a riesgos al proceso o al personal, a la comunidad, al medio ambiente o a las instalaciones.

La aplicación de esta técnica consta de los siguientes puntos:

1. El estudio se inicia con la identificación en la instalación en estudio, de distintos subsistemas que corresponden a unidades funcionales relativamente independientes (Ejemplos preparación de las materias primas, reacción, separación, etc.).

2. Selección de Nodos de estudio. En cada uno de los subsistemas se seleccionan los puntos específicos en el proceso de las desviaciones posibles que deben estudiarse, estos puntos son llamados nodos de estudio. Un nodo de estudio puede ser un recipiente, reactores, bomba, compresor, etc., de los cuales se identifican sus componentes, tales como: líneas de materias primas, materiales auxiliares y productos, sistemas de combustión, de calentamiento, de enfriamiento, etc., definiendo claramente su(s) propósito(s) o función(es) específica(s). Cada nodo queda caracterizado por una serie de variables de proceso, como son: Presión, temperatura, caudal, nivel, etc.

Es mejor seleccionar y marcar los nodos de estudio sobre un DTI, un método conveniente es, primero marcar los recipientes mayores de proceso, entonces cada línea mayor (tubería) conectada a cada uno de estos recipientes se designa como nodo de estudio.

3. Explicación del propósito y funcionamiento del equipo. Debe quedar claro a todos los miembros del equipo el propósito para el cual fueron diseñados los equipos; es decir expresar el propósito de diseño y la intención que deben realizar el recipiente sus líneas y accesorios.

4. Aplicación de Palabras guía. El análisis se efectúa con cada uno de los componentes individuales, hasta cubrir toda la unidad de proceso, suponiendo fallas derivadas de las palabras guía, las cuales están concebidas para asegurar que las preguntas exploren todas las posibilidades de que su funcionamiento se desvíe de su intención y propósito de diseño. Las palabras claves o guía son:

| PALABRA GUIA | SIGNIFICADO | APLICACION |
|--------------|---------------------------------------|--|
| NO | Completa negación de la intención. | No se realiza la intención pero no sucede otra cosa. |
| MAS/MENOS | Incremento/disminución cuantitativos. | Se refiere tanto a cantidades como a propiedades. |
| ADEMAS DE | Incremento cualitativo | La intención se realiza además de otra no deseada. |
| PARTE DE | Disminución cualitativa. | solo se realizan ciertas intenciones. |
| INVERSO | Intención lógica opuesta. | Aplicable a intenciones como retroceso de flujo o reacción reversible. |
| DISTINTO | Sustitución completa de la intención. | No ocurre la de diseño, pero si otra completamente distinta. |

5. Causas de desviaciones: El quinto paso del procedimiento HAZOP, es la determinación de las causas de las desviaciones. Las causas de desviaciones normalmente se pueden clasificar dentro de uno de los siguientes grupos:

Fallas de Hardware.

Error humano.

Fuerzas externas.

Estados de composición no anticipados (cambio en la composición).

6. Consecuencia de las desviaciones. El sexto paso es la determinación de las consecuencias de las desviaciones; las consecuencias son los resultados que son esperados si las desviaciones ocurren. Algunas consecuencias no ocurren inmediatamente como resultado de una desviación; por ejemplo (causa) "más concentración "de un contaminante corrosivo puede provocar "incremento en la razón de corrosión" (consecuencia).

7. Acciones sugeridas. El séptimo paso es la determinación de las acciones sugeridas, cuando se selecciona una acción, considérense dos categorías:

Acciones para ayudar a prevenir una causa particular.

Acciones para reducir o mitigar las consecuencias.

Las acciones sugeridas pueden ser simples o extensivas, dependiendo de la seriedad de las consecuencias y del nivel de seguridad u operabilidad.

En general, las acciones sugeridas se relacionan con cualquiera de los siguientes puntos:

Cambios en el diseño.

Mejorar el Mantenimiento.

Cambios en el equipo.

Mejorar capacitación.

Alterar procedimientos de operación.

Investigación adicional.

8. Clasificación de Riesgos. Los riesgos identificados mediante el análisis son jerarquizados por los miembros del equipo Hazop en una matriz de riesgo, tomando en cuenta: la clasificación del daño potencial del accidente y su frecuencia (Anexo B).

VENTAJAS:

- La técnica al realizarse en forma sistemática, reduce las posibilidades de que algo se pase sin analizar.
- No requiere prácticamente de recursos a excepción del tiempo de dedicación.
- Ocasión perfecta y quizás única para contrastar distintos puntos de vista de diferentes áreas de una planta.

DESVENTAJAS:

- Es una técnica cualitativa. no hay una valoración real de la frecuencia de las causas que producen una consecuencia grave, ni tampoco el alcance de la misma.
- Las modificaciones resultantes a la planta, desde el punto de vista técnico y económico pueden ser difíciles de incorporar.
- Los resultados obtenidos dependen de la calidad del equipo de trabajo.
- Es muy dependiente de la información disponible, puede omitirse un riesgo si los datos de partida son erróneos o incompletos.

3.5.3 ANALISIS DE ARBOL DE FALLAS (FAULT TREE ANALYSIS).

Esta es una técnica desarrollada por la NASA en los laboratorios Bell durante el proyecto del misil "Polaris". Primero aplicado en la industria aeroespacial para analizar la confiabilidad de sus sistemas de control, donde no es posible admitir la ocurrencia de un evento de pérdida ni a una primera vez. Posteriormente fue adaptada por DUPONT para aplicarse en industrias de proceso químico y petroquímico, aunque puede utilizarse en cualquier tipo de proceso.

El uso y la aplicación de esta técnica requiere de mayor conocimiento, experiencia y objetividad que cualquiera de las antes descritas.

El análisis de árbol de fallas es una herramienta que utiliza el razonamiento deductivo y diagramas gráficos mostrando la lógica del proceso de razonamiento deductivo para determinar como un evento particular indeseado puede ocurrir. Desde el punto de vista de la seguridad de procesos, el propósito del árbol de fallas es el de permitir un control razonable de pérdidas, sin comprometer la producción, o las utilidades, comparando la probabilidad de ocurrencia de la falla con la magnitud probable de la pérdida.

El punto de partida es el de comprender que para las pérdidas sean cero, debe haber cero capacidad de pérdida, lo cual implica cero capacidad de producción, o lo que es lo mismo, unidad de proceso parada y cero utilidades. Prevención de pérdidas no es realmente prevención, si no control, sin comprometer la producción y las utilidades

DOCUMENTACION REQUERIDA.

Bases de diseño.

Diagramas de flujo de proceso.

Diagramas de tubería e instrumentación.

Manuales de operación.

Descripción del proceso.

Condiciones de proceso.

Balances de materia.

DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA.

Un prerrequisito para la construcción de un árbol de fallas consiste en obtener un profundo conocimiento del diseño y operación del sistema que va a ser analizado.

1. Selección del evento tope. El primer paso es la selección del evento de falla, llamado Evento tope "T" el cual será sujeto al estudio. cada evento siguiente se considerará en términos de sus efectos sobre el evento tope.

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

Existen por lo menos cuatro posibilidades:

- No entrar en el mecanismo estando recibida como tal una señal de operación.
- El mecanismo está experimentando algunas fallas, de esta manera no operará.
- Hay un error humano, tal como una falla en la que se debe accionar un switch debidamente instalado en el mecanismo.
- Algún evento externo puede ocurrir, eso es previniendo la operación del mecanismo, tal como una causa común de falla.

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

3. Construcción del árbol de fallas. El árbol de fallas es un diagrama lógico en el cual cada evento o condición se muestra como una consecuencia de la combinación de otros eventos o condiciones, de acuerdo con las relaciones causales mostradas mediante símbolos llamados puertas de entrada.

La puerta de entrada "Y" (and) se simboliza con un signo de multiplicación "Y" (Figura 3.11-1), indica que para que ocurra un evento de pérdida (T) deben cumplirse todos los eventos de entrada (A, B y C). En este caso la probabilidad del ocurrencia del evento "T" es igual al producto de las probabilidades de ocurrencia de los eventos de entrada.

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

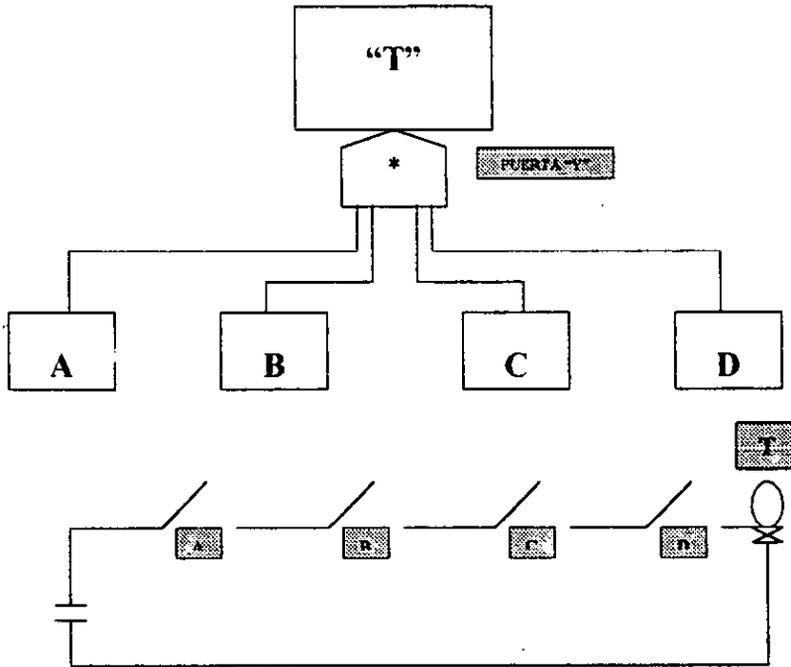


Figura 3.11-1.

La otra puerta de entrada es la puerta "O" (or), simbolizada por el signo "+" (Figura 3.11-2) y significa que para que el evento "T" ocurra, basta con la ocurrencia de uno de los eventos de entrada. Al aplicar esta puerta, la probabilidad de ocurrencia del evento "T" es igual a la suma de las probabilidades de los eventos de entrada, lo que, para fines prácticos, puede considerarse como igual a la probabilidad más grande de los eventos de entrada.

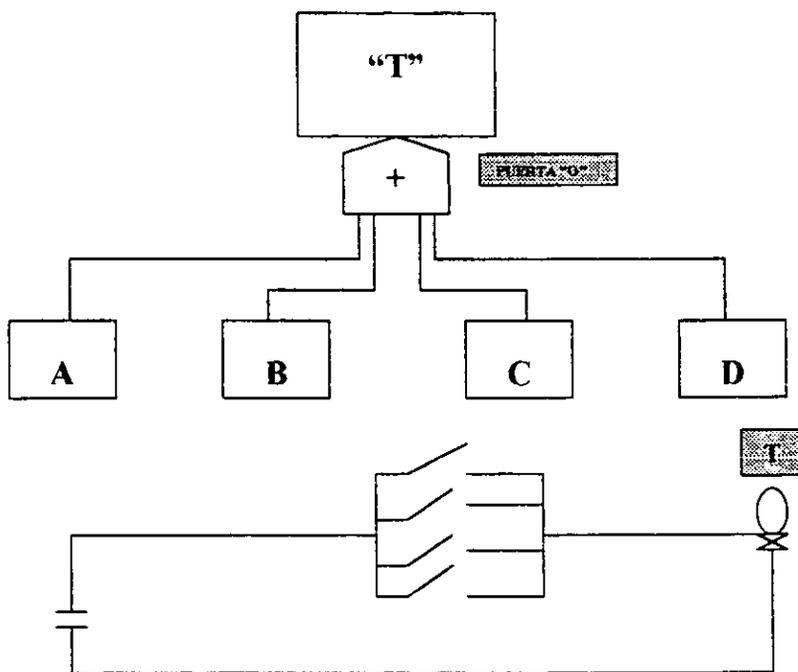


Figura 3.11-2.

Cuando el evento de entrada significa la falla de un componente o de un equipo, se denomina falla funcional.

Se acepta la existencia de tres tipos de fallas funcionales como eventos de entrada y siempre a través de una puerta "O".



Falla primaria: Simbolizada por un círculo, es aquella donde el componente carece de o pierde la capacidad para desempeñar la función de diseño bajo condiciones normales de operación. El ejemplo típico es la instalación de un componente fuera de especificaciones.



Falla Secundaria: Simbolizada por un rombo, es aquella causada por agentes externos a la unidad de proceso, tales como terremotos, vandalismo o inundaciones. Por lo general es una terminación del árbol de fallas que se evalúa considerando aspectos del entorno laboral, de la situación del área de la planta, de las experiencias anteriores, etcétera.



Falla de Mando: Simbolizada por un rectángulo, es causada por condiciones de proceso excesivas o fuera de control, como cargas mecánicas, energía liberada, falla de instrumentos, falla humana, etcétera.

A partir del evento de pérdida "T" y considerando el tipo y la relación causal de las fallas funcionales, el árbol se describe hacia abajo, indicando los eventos necesarios y suficientes para producir cada evento de entrada, utilizando las puertas "Y" y "O" según sea necesario.

4. Análisis Cualitativo. Una vez construido el árbol de fallas se produce una evaluación cualitativa haciendo un análisis empleando las ecuaciones algebraicas de Bool. Utilizando la reglas de álgebra de Bool es posible solucionar dichas ecuaciones expresadas individualmente en términos de Conjunto Mínimo de Corte CMC que involucra sólo a los eventos básicos.

Se define como CMC de un árbol al conjunto mínimo de eventos (círculos ó

rombos) tales que si todos ocurren el evento "T" ocurre. Así resulta de gran interés identificar los CMC de una componente ya que estos representan las fallas de componentes que por si solos pueden conducir al evento "T".

Para el cálculo de un CMC de un árbol de fallas se emplean los siguientes métodos:

Métodos de algoritmo de sustitución arriba-abajo.

Métodos de algoritmo de sustitución abajo-arriba.

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

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

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

5. Análisis Cuantitativo. Los resultados obtenidos de esta evaluación son índices numéricos de fiabilidad y mediciones de importancia probabilística tanto de componentes como de CMC.

A partir de la importancia probabilística pueden encontrarse los puntos débiles del sistema, sugerirse mejoras al diseño y elaborarse estrategias óptimas de localización de fallas.

Para poder evaluar cuantitativamente la fiabilidad el sistema, es necesario asignar tasas de falla (que es la probabilidad por unidad de tiempo, de que el componente o sistema falle en un intervalo de tiempo) y tiempos de reparación (duración de falla) en todos los eventos básicos (círculos, rombos); estos datos pueden obtenerse de los fabricantes y vendedores de equipo, de la experiencia del personal de operación y mantenimiento, de literatura especializada.

VENTAJAS:

- Es una técnica que puede producir buenos resultados tanto cualitativos como cuantitativos
- A partir de este análisis pueden encontrarse los puntos débiles del sistema, sugerirse mejoras al diseño y elaborarse estrategias óptimas de localización de fallas.
- Se evalúa cuantitativamente la fiabilidad del sistema estudiado.

DESVENTAJAS:

- En sistemas complejos se generan árboles de fallas muy extensos
- Para árbol de fallas muy largos es necesario auxiliarse de herramientas computacionales.
- La técnica puede ser muy rigurosa y el tiempo de consumo depende del nivel de detalle y de la amplitud del sistema a analizar.

GAPLUN

Capítulo 4

Empleo del Simulador Siria para la Evaluación en el Análisis de Riesgo Ambiental en Instalaciones Fijas.

4.1. Simulador SIRIA.

El Sistema de Información Rápida de Impacto ambiental (SIRIA) surge de la necesidad de contar con herramientas de apoyo para la evaluación de los Impactos ambientales producidos por los proyectos de desarrollo en el país, la Dirección General de Normatividad Ambiental del Instituto Nacional de Ecología, utiliza actualmente este sistema cuya estructura es:

Módulo de Evaluación de Afectaciones Ambientales.

Banco de Datos.

Banco de Textos.

Modelos de Dispersión de Contaminantes.

Modelos de Simulación de escenarios.

Módulo de Interfase.

Subsistema de Manejo Interactivo.

Subsistema de Impresión de Reportes.

Módulo de Registro de Proyectos.

Información General.

Dictámenes.

Módulo de Apoyo decisional.

Procedimiento de Evaluación de Alternativas.

Módulo de Evaluación de Riesgos Ambientales.

Banco de Datos.

Banco de Textos.

Modelos de Dispersión en Aire.

Modelos de Nubes Explosivas.

4.2 Algoritmos del Simulador.

Si profundizamos en los modelos de Evaluación de Riesgos Ambientales tenemos que:

4.2.1 Modelos de Dispersión en Aire.

En los primeros se consideran dos modelos Gaussianos.

4.2.1.1. Modelos de Dispersión de Fugas y Derrames.

El modelo se aplica para efectuar estimaciones de concentraciones de sustancias peligrosas, a nivel piso, provenientes de una fuga gaseosa o de un derrame de un líquido que se evapora. Los resultados a la salida del modelo son:

La distancia de la pluma para alcanzar una concentración dada y el área de "Exclusión" o área de riesgo, dentro de la cual se pueden tomar acciones preventivas de evacuación de la población en caso de accidente.

4.2.1.2. Modelo de Dispersión de un Puff.

El modelo considera la dispersión de un PUFF Tridimensional, o burbuja, formado por la masa de una sustancia que es liberada a la atmósfera en unos cuantos segundos, tal como una nube de gas provocada por una explosión o ruptura de una esfera de almacenamiento.

El modelo da como salidas la distancia recorrida por el PUFF, el tiempo de recorrido, la concentración en el centro del mismo a nivel piso y considerando la dirección del viento (eje X)..

4.2.2. Modelos de Nubes Explosivas.

El modelo considera como posibles formadores de nubes explosivas:

Gases en Estado Líquido por Enfriamiento.

Gases en Estado Líquido por efecto de una Presión.

Gases sujetos a Presiones de 500 Psi, o mayores.

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).

El modelo lleva implícitas las siguientes suposiciones:

- A. La fuga es instantánea y no se considera el caso de un escape de gas paulatino, excepto para fugas en tuberías de gran capacidad con material transportado desde instalaciones alejadas.
- B. El material fugado se vaporiza y la nube se forma instantáneamente, de acuerdo a las condiciones termodinámicas del gas o líquido inflamable antes de la fuga.
- C. La nube adquiere una forma cilíndrica cuya altura es su eje vertical. No se consideran distorsiones ocasionadas por viento o por estructuras y edificios presentes.
- D. 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.
- E. Se tomará el calor de combustión de la TNT (200 BTU/Lb) para convertir el calor de combustión el material a un equivalente en peso de TNT.
- F. La temperatura ambiente es constante 70 °F (21.1 °C).

A las modelaciones efectuadas con este sistema SIRIA permiten simular escenarios de acuerdo con los datos que se reportan en esta dirección, permitiendo ver el comportamiento de la o las sustancias que se manejan; dándonos una visión amplia de cuáles serían sus consecuencias y afectaciones; dimensionando áreas de las mismas; permitiendo llevar a cabo acciones tendientes a disminuir estos radios de afectaciones como son requerimientos de: bardas perimetrales, sistemas de seguridad más efectivos, fosas de contención, etc. según sea el caso.

Para el alcance de esta tesis se empleo el modelo de dispersión de fuga de gas a la atmósfera, citado en el punto (4.2.1.); específicamente se empleo el modelo de fugas y derrames punto (4.2.1.1.) , el cual se describe a continuación.

4.2.3. Fundamentación del Modelo de Fugas y Derrames.

Este modelo esta basado en la ecuación de Difusión Gaussiana de un gas o vapor. Su algoritmo ha sido diseñado para proveer de una estimación del Area de riesgo o de "exclusión" generada por una fuga continua de un gas o de un vapor proveniente de un líquido que se evapora. para aplicar este modelo es necesario establecer una concentración máxima permisible de exposición (CMPE), la cual permite estimar el área de exclusión o área de evacuación en caso de un accidente. Las ecuaciones gaussianas se emplean bajo el supuesto que las concentraciones máximas se registran a nivel de piso ($z=0$), y que el gasto de emisión es constante durante el tiempo de modelación, así como las características meteorológicas.

La primera etapa del algoritmo de cálculo se refiere al establecimiento del gasto de emisión. En la ocurrencia de una fuga de un gas, el gasto emitido $Q(g/s)$ esta determinado por las características del almacenamiento o línea donde se produzca. En la ocurrencia de una ruptura de un almacenamiento el gasto podrá depender del tamaño de la ruptura y de la presión a la que se encuentre almacenado el gas. Para una fuga en una línea de conducción el gasto será función del diámetro de la misma y de la velocidad a la cual es transportado el gas. Para estos tipos de eventos, el modelo asume que el gasto es conocido por el usuario. Sin embargo, para fines prácticos de prevención se recomienda modelar considerando un gasto máximo probable de gas fugado.

Para el caso de un derrame de un líquido que se evapora, el modelo tiene incorporados dos procedimientos para estimar el gasto de vapor emitido.

El primero se basa en la estimación de un porcentaje de evaporación del líquido. Emplea una función del tipo:

$$\% \text{ Evap} = f(P.V.L./760 \text{ mmHg}) \times 100 \quad (1)$$

Donde:

% Evap = Porcentaje de evaporación del líquido.

P.V.L. = Presión de vapor del líquido (mmHg a 20 °C).

Esta función fue determinada para una gran variedad de combustibles para cohetes, considerando un derrame de 600 m^3 , u viento de 4.3 m/s, una temperatura del aire de 80 °F y asumiendo que no existe absorción o calentamiento por el suelo.

El gasto de la emisión viene dado por:

$$Q = Q_L (\% \text{ Evap}). \quad (2)$$

Donde:

Q = Gasto de la emisión de vapor (g/s),(fuga).

Q_L = Gasto del líquido derramado (l/s) X Densidad.

El segundo procedimiento se basa en las siguientes ecuaciones:

$$Q = Q_e S^2 \quad (3)$$

$$Q_e = 0.001315 (P^{1.353} PM)^{0.60327} \quad (4)$$

Donde:

Q = Gasto de emisión de vapor (g/s).

Q_e = Gasto de evaporación del líquido (g/s m²).

P = Presión de vapor del líquido (mmHg).

PM = Peso molecular del líquido (g/gmol).

S = Longitud del derrame (m).

Como se puede observar en estas expresiones se involucran tanto las características del líquido como la superficie cubierta por el derrame.

La segunda etapa del cálculo corresponde a la determinación de la curva de isoconcentración para CMPE, empleando la ecuación:

$$y = (2 \ln (C(x, 0, 0, He) / C(x, y, He)))^{1/2} Sy \quad (5)$$

Para el caso de fuga de gas:

$$C(x, 0, 0, He) = (Q / Pi.Sy.Sz.U) (Exp (-1/2. (He / Sz)^2)) \quad (6)$$

$$C(x, y, 0, He) = CMPE \quad (7)$$

Donde:

$C(x, 0, 0, He)$ = Concentración del gas (g/m³), x metros del viento abajo de la fuga.

Pi = 3.1416

Sy = Coeficiente de dispersión en la dirección y, (m).

Sz = Coeficiente de dispersión en la dirección z, (m).

He = Altura de la emisión, (m).

$CMPE$ = Concentración máxima permisible de exposición, (g / m³).

U = Velocidad media del viento (m/s).

Para el caso de derrame de líquido, la emisión se estima asumiendo una fuente de área y considerando que su forma es cuadrangular.

Para una fuente de área es necesario efectuar una modificación en el cálculo del coeficiente de dispersión lateral S_y , asumiendo una desviación estándar inicial S_y o que toma en cuenta una emisión en línea cuya dispersión se efectúa en forma gaussiana.

Las ecuaciones de cálculo de la concentración para la dispersión del vapor son:

$$C(x, 0, 0, H_e) = (Q / \pi \cdot S_y \cdot S_z \cdot U) \quad (8)$$

$$C(x, y, 0, H_e) = CMPE \quad (9)$$

Como el derrame ocurre al nivel del piso $H_e = 0$, (m)

Los cálculos anteriores darán como resultado importante la distancia máxima ($X_{m\acute{a}x.}$) alcanzada por la curva de la isoconcentración CMPE y el ancho máximo de la elipse $Y_{m\acute{a}x.}$ Cabe mencionar que en cualquier punto dentro de la elipse se tendrá una concentración superior a CMPE.

La tercera etapa del cálculo se refiere a la determinación del área de exclusión. Debido a que ésta última estará determinada por las condiciones de estabilidad atmosférica y por la dirección del viento, se ha definido un ángulo de variación o fluctuación (θ) de la pluma de gas o vapor, que es función del tipo de estabilidad.

El área de exclusión estará entonces definida por un sector con un ángulo (θ) más la distancia $Y_{m\acute{a}x.}$ a ambos lados.

Cabe recordar que las ecuaciones de dispersión gaussianas y sus parámetros asociados son los mismos que se presentaron en el modelo puntual continuo, y por lo tanto las suposiciones y restricciones asociadas en el mismo deben ser tomadas en cuenta para la aplicación de este modelo.

ALGORITMO DE FUGA DE GAS.

El procedimiento que se escribe a continuación permite estimar la cantidad de gas que fuga de un recipiente que se encuentra a cierta presión.

Primero se define si la fuga tiene una velocidad superior o inferior a su velocidad sónica o velocidad crítica.

Para condiciones de flujo crítico se tendrá que:

$$P / P_a \geq ((\delta + 1)/2)^{\delta/(\delta-1)}$$

Donde:

- P = Presión absoluta del tanque, (N/m²).
- Pa = Presión atmosférica absoluta, (N/m²).
- δ = Cp/Cv, relación de calores específicos del gas.
- Cp = Capacidad calorífica a presión constante.
- Cv = Capacidad calorífica a volumen constante.

Para un gas ideal que fuga a través de un orificio bajo condiciones isotrópicas, el gasto de gas bajo condiciones críticas está dado por:

$$Q = C_o \cdot A \cdot P \left(\frac{\delta \cdot m}{R \cdot T} \right)^{1/2} \left(\frac{2}{(\delta + 1)} \right)^{(\delta + 1)/(\delta - 1)}$$

Donde:

- Q = Gasto de la emisión de gas, (Kg/s)
- Co = Coeficiente de descarga del orificio, (adimensional).
- A = área de la apertura, (m²)
- m = Peso molecular del gas, (Kg/mol)
- R* = Constante de los gases (8.31 joules / mol °K)
- T = Temperatura absoluta del gas en el tanque, (°K)

DETERMINACIÓN DEL GASTO Q EN FUNCIÓN DE UNA CONCENTRACIÓN MÁXIMA A NO REBASAR EN UN PUNTO SITUADO A UNA DISTANCIA PARTICULAR.

Variables utilizadas:

- Q = Gasto de la emisión
- He = Altura efectiva de la emisión
- R = Receptor.
- Xr = Distancia del receptor a la fuente viento abajo de la fuente emisora.
- Cr = Concentración en el receptor.
- CMPE = Concentración máxima permitida de exposición
- U = Velocidad del viento.

Se desea determinar la emisión máxima permitida QMP, de tal forma que a una distancia Xr no se tengan concentraciones superiores a CMPE.

Se asume que el receptor sólo podría estar expuesto a concentraciones tales que:

$$C_r \leq CMPE \tag{1}$$

Dentro del área de exclusión, se tiene un punto sobre el eje de la pluma en el cual la concentración a nivel de piso es máxima $C_{m\acute{a}x}$, situado a una distancia X_{cm} x. $C_{m\acute{a}x}$. y $X_{cm\acute{a}x}$. se determinan con las ecuaciones siguientes:

$$X = X_{cm\acute{a}x} \text{ Para } S_z = H_e / (1/2) \quad (2)$$

y

$$C_{m\acute{a}x} = C(x, 0, 0, H_e)_{m\acute{a}x} = (2Q S_z) / (2.718 \pi U H_e^2 S_y) \quad (3)$$

Así para determinar el Q_{mp} se tienen los siguientes pasos:

Considerar que la distancia a la que se dará la máxima concentración sería en el receptor:

$$X_{cm\acute{a}x} = X_r \quad (4)$$

con X_r se determinan S_y , S_z

En el receptor se considera que la concentración máxima que se puede alcanzar es la máxima permisible de exposición:

$$C_{m\acute{a}x} \leq CMPE \quad (5)$$

Por lo que para el receptor:

$$CMPE = C_r \quad (6)$$

Así de la ecuación (3) se tiene:

$$Q_{mp} = CMPE (2.718 \pi U H_e^2 S_y) / 2S_z. \quad (7)$$

4.3 Ejemplo de Aplicación (Planta de Oxido de Etileno).

4.3.1 Descripción del Proceso.

El Etileno y el oxígeno son las materias primas usadas en la fabricación de óxido de etileno (De Mglie B. "Oxygen best for E.O.", Hydrocarbon Processing, 1976). Además, una gran cantidad de nitrógeno es adicionada a la mezcla reaccionante con el propósito de disipar parte del calor generado por las reacciones y reducir los riesgos de inflamabilidad de las mezclas Etileno-Oxido de Etileno-Oxígeno.

El Etileno es alimentado en límites de batería (L.B.) a una presión de 270 Psig y una temperatura de 60 °F. Asimismo, Nitrógeno proveniente de la planta de oxígeno es alimentado al proceso, aunque ya iniciado el proceso, prácticamente todo el N₂ está siendo recirculado al sistema.

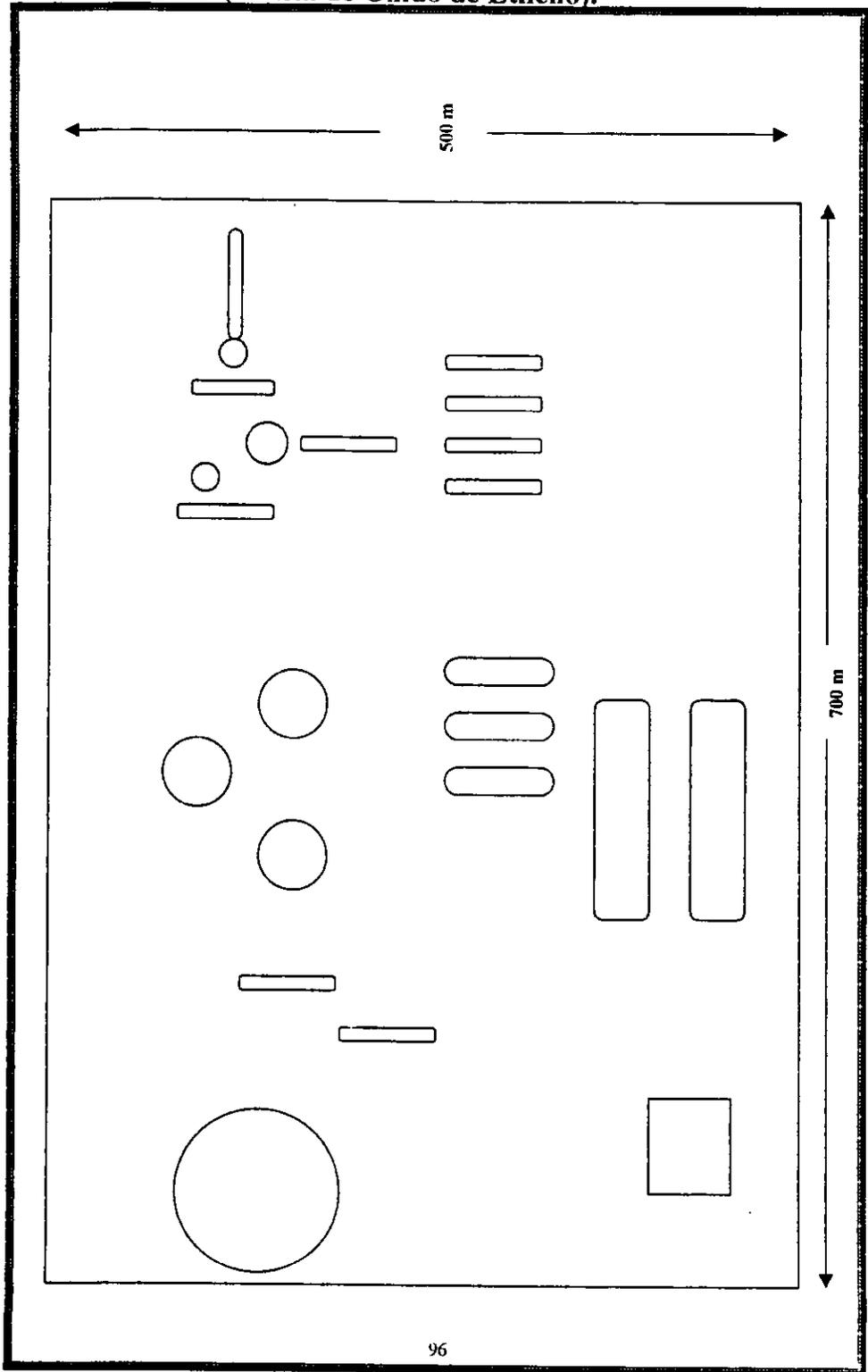
Tanto el Nitrógeno como el Etileno son introducidos a un compresor centrífugo adiabático que eleva la presión de la mezcla hasta 325 PSIG., esta corriente se une a la línea de oxígeno de alta pureza en un par de tanques de almacenamiento de reactivos; se adiciona a la mezcla una cierta cantidad de dicloroetileno que es un inhibidor de la reacción de oxidación, el cual ayudará a evitar la reacción secundaria que produce bióxido de carbono y agua.

La mezcla reaccionante es calentada en un intercambiador de calor hasta 410 °F usando como medio de calentamiento la corriente que sale del reactor de oxidación. Para producir el Oxido de Etileno se usarán tres reactores tubulares en serie provistos de 10, 5000 tubos, los cuales son enfriados con mobiltherm, ya que las reacciones son muy exotérmicas. El rango de temperatura para el aceite es de 454 °F - 486 °F.

El aceite mobiltherm es enfriado en un par de cambiadores de calor y usado nuevamente en dos reactores de oxidación como aceite de enfriamiento. Los cambiadores de calor producen agua caliente que podrá emplearse en el proceso.

El reactor de oxidación producirá 37.7 MTPA para poder entregar 20 MTPA en L.B. ya que se pierde o se recircula cantidad de óxido de etileno en las etapas de lavado, agotamiento, reabsorción y refinamiento.

4.3.4 Plot Plan (Planta de Oxido de Etileno).



4.4 Planteamiento HAZOP.

ALCANCE DEL ESTUDIO.

Para la realización del análisis de riesgos en este ejemplo de aplicación, se define el alcance del estudio que se enfoca a los siguientes puntos:

- Identificación de riesgos (mejorar la seguridad de la planta).
- Verificar los procedimientos de operación y seguridad.

Los tipos de daños que serán considerados, son los siguientes:

- Daños al equipo y a la planta.
- Impacto ambiental.

PLANTAMIENTO HAZOP.

| SISTEMA | NODO | UBICACIÓN | PALABRAS GUIAS | VARIABLES DE PROCESO |
|---------|-------|---|-------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 1 y 2 | Líneas de suministro a los tanques de reactivos. | NO MENOS | FLUJO PRESION |
| 2 | 1 | Líneas de alimentación de etileno y oxígeno a reactor. | NO MAS | FLUJO PRESION |
| 3 | 1 | Línea de suministro de aceite de enfriamiento a tanque de almacenamiento. | NO MENOS MAS | FLUJO PRESION |
| | 2 | Bombas de alimentación del aceite de enfriamiento. | NO INVERSO MENOS | FLUJO TEMPERATURA |
| | 3 | Línea de alimentación de aceite de enfriamiento al reactor. | NO MENOS INVERSO MAS | FLUJO TEMPERATURA PRESION |
| | | Reactor | MAS MENOS | FLUJO TEMPERATURA NIVEL |

4.4.1 Resultados del Análisis de Riesgo HAZOP.

| PLANTA: Productora de Oxido de Etileno. PROYECTO: Análisis de Riesgo. DESCRIPCION LINEA/EQUIPO: Sistema 1, Líneas de suministro a los tanques de reactivos FB-101 A/B. | | FECHA: Marzo de 1998. PAGINA: 1 de 10. | | | |
|--|-----------------|---|---|---|---|
| NODO | PALABRA GUIA | DESVIACION | POSSIBLE CAUSA | CONSECUENCIAS | ACCIONES A TOMAR |
| 1 | NO | FLUJO | 1. Válvula de bloqueo cerrada por error de operador. | Posible sobrepresion en la línea de suministro, si la válvula reguladora de sobrepresion no funciona. | Revisiones continuas a la línea de suministro. Verificar la existencia y cumplimiento de programas de calibración de tuberías con sellamientos adecuados de la posición abierto/cerrado de las válvulas. |
| 1 | NO | FLUJO | 2. Ruptura de la línea de suministro/fuga en bridas. | Fuga de Oxígeno a la atmósfera. | Verificar la existencia y cumplimiento de programas de prueba de fugas de bridas. |
| 1 | MENOS | PRESION | 3. Válvulas de bloqueo parcialmente cerradas. | Posible sobrepresion en la línea de suministro. | Verificar la existencia y cumplimiento de programas de calibración de tuberías con sellamientos adecuados de la posición abierto/cerrado de las válvulas. |
| 1 | MENOS | PRESION | 4. Fuga en líneas de suministro bridas/válvulas con escape. | Fuga de Oxígeno a la atmósfera. | Verificar la existencia y cumplimiento de programas de prueba de fugas de bridas. |
| 2 | NO | FLUJO | 5. Válvula de bloqueo cerrada por error del operador. | Posible sobrepresion en la línea de suministro si la válvula reguladora de sobrepresion no funciona. | Verificar programa de calibración de tuberías con sellamientos adecuados de la posición abierto/cerrado de las válvulas. |
| 2 | NO | FLUJO | 6. Ruptura de la línea de suministro/fuga en bridas. | Fuga de material, dispersión de gas tóxico a la atmósfera. | Verificar la existencia y cumplimiento de programas de prueba de fugas de bridas. |

TABLA : ANALISIS DE RIESGO, HAZOP.

| PLANTA: Productora de Oxido de Etileno. | | FECHA: Marzo de 1998. | | | |
|--|--------------|-----------------------|--|--|---|
| PROYECTO: Análisis de Riesgo. | | PAGINA: 2 de 10. | | | |
| DESCRIPCION LINEA/EQUIPO: Sistema 1, Líneas de suministro a los tanques de reactivos FB-101 A/B. | | | | | |
| NODO | PALABRA GUIA | DESVIACION | POSIBLE CAUSA | CONSECUENCIAS | ACCIONES A TOMAR |
| 2 | MENOS | PRESION | 7.- Válvula de bloqueo parcialmente cerrada. | Posible sobrepresion en la línea de suministro. | Verificar programa de calibración de tuberías con señalamientos adecuados de la posición abierto/cerrado de las válvulas. Verificar la existencia y cumplimiento de programas de prueba de fuga en bridas. |
| 2 | MENOS | PRESION | 8. Fuga en la línea de suministro, bridas/válvulas con escape. | Fuga de material, dispersión de gas tóxico a la atmósfera. | Verificar la existencia y cumplimiento de programas de prueba de fugas de bridas. |

DESCRIPCIÓN LINEA/EQUIPO: Sistema 2, Líneas de alimentación de Etileno y Oxígeno a Reactores.

| NODO | PALABRA GUÍA | DESVIACION | POSIBLE CAUSA | CONSECUENCIAS | ACCIONES A TOMAR |
|------|--------------|------------|--|--|---|
| I | NO | FLUJO | 1. Válvula de bloqueo cerrada por error de operador. | Posible sobrepresión en la línea de suministro, si la válvula reguladora de sobrepresión no funciona. Fuga de mezcla Etileno-Oxido de Etileno a la atmósfera, peligro de accidente. | Revisiones continuas a la línea de suministro. Verificar la existencia y cumplimiento de programas de calibración de tuberías con sellamientos adecuados de la posición abierto/cerrado de las válvulas. |
| I | NO | FLUJO | 2. Falla de la válvula controladora de presión. | Posible acumulación de burbujas de gases en el casco de la zona de reacción del reactor con peligro de ruptura de tubos. | No hay acciones a tomar. |
| I | MAS | PRESION | 3. Aumento de sobrepresión en el suministro. | Posible sobrepresión de los tubos en el intercambiador de calor. | Determinar la máxima presión operacional en los tubos del intercambiador. |
| I | MAS | PRESION | 4. Ruptura de los tubos del reactor DC-101A/B/C. | La probabilidad de explosión en algunas partes de la planta es muy alta. | Considerar estudiar el sistema de seguridad. Determinar la máxima presión operacional en los tubos del reactor. |

PLANTA: Productora de Oxido de Etileno.
 PROYECTO: Analisis de Riesgo.
 DESCRIPCION LINEA/EQUIPO: Sistema 3, Lineas de suministro de aceite de enfriamiento al tanque de almacenamiento FB-103.

FECHA: Marzo de 1998.

PAGINA: 4 de 10.

ACCIONES
 A TOMAR

CONSECUENCIAS

ACCIONES
 A TOMAR

| NODO | PALABRA GUÍA | DESVIACION | POSSIBLE CAUSA | CONSECUENCIAS | ACCIONES A TOMAR |
|------|-----------------|------------|---|--|---|
| 1 | NO | FLUJO | 1. Bloqueo de la línea, válvula de bloqueo cerrada por error del operador. | Disminución del nivel en el tanque de almacenamiento. | Instalar una alarma de bajo nivel en el tanque de almacenamiento. Verificar la existencia y cumplimiento de programas de calibración de tuberías con señalamientos adecuados de la posición abierto/cerrado de las válvulas. |
| 1 | NO | FLUJO | 2. Ruptura de la línea de suministro/fuga en bridas. | Escape de aceite a la atmósfera. | Verificar la existencia y cumplimiento de programas de prueba de fugas de bridas. Proveer rondas periódicas de inspección en la línea de suministro. |
| 1 | MENOS | FLUJO | 3. Fuga en la línea de suministro/otro brida/válvulas con escape. | Pérdida de aceite, escape de aceite a la atmósfera. | Verificar la existencia y cumplimiento de programas de prueba de fugas de bridas. Proveer rondas periódicas de inspección en la línea de suministro. |
| 1 | MENOS | FLUJO | 4. Válvula de bloqueo parcialmente cerrada. | Baja el nivel en el tanque de almacenamiento (FB-103). | Verificar la existencia y cumplimiento de programas de calibración de tuberías con señalamientos adecuados de la posición abierto/cerrado de las válvulas. |
| 1 | MAS | FLUJO | 5. Válvula de control de nivel abierta o el "by-pass" de la válvula de control abierta por error. | El tanque de almacenamiento rebosa. | Instalar una alarma de alto nivel en el tanque de almacenamiento. Verificar la dimensión de la válvula de alivio frente al exceso de líquido. Establecer un procedimiento de cierre para el "by-pass" de la válvula de control de nivel cuando no se este utilizando. |

TABLA : ANALISIS DE RIESGO, HAZOP.

PLANTA: Productora de Oxido de Etileno.
 PROYECTO: Analisis de Riesgo.

FECHA: Marzo de 1998.

PAGINA: 5 de 10.

DESCRIPCION LINEA/EQUIPO: Sistema 3, Lineas de suministro de aceite de enfriamiento al tanque de almacenamiento FB-103.

| NODO | PALABRA GUIA | DESVIACION | POSIBLE CAUSA | CONSECUENCIAS | ACCIONES A TOMAR |
|------|-----------------|------------|---|--|--|
| 1 | MAS | PRESION | 6. La válvula de bloqueo esta cerrada por error. | La tubería de suministro queda sometida a presión, sobrepresión en la línea de suministro. Posible fuga válvula/bridas de aceite a la atmósfera. | Verificar la existencia y cumplimiento de programas de calibración de tuberías con señalamientos adecuados de la posición abierto/cerrado de las válvulas. Proveer rondas periódicas de inspección en la línea de suministro. |
| 2 | MAS | PRESION | 7. La válvula de control de nivel se cierra mientras se suministra el aceite. | La tubería de suministro queda sometida a presión, sobrepresión en la línea de suministro. | Proveer rondas periódicas de inspección en la línea de suministro. |

TABLA : ANALISIS DE RIESGO, HAZOP.

PLANTA: Productora de Oxido de Etileno.
 PROYECTO: Análisis de Riesgo.

FECHA: Marzo de 1998.

PAGINA: 6 de 10.

DESCRIPCION LINEA/EQUIPO: Sistema 3, Bombas de alimentación del aceite de enfriamiento.

| NODO | PALABRA GUIA | DESVIACION | POSIBLE CAUSA | CONSECUENCIAS | ACCIONES A TOMAR |
|------|--------------|-------------|--|--|--|
| 2 | NO | FLUJO | 1. Falla de la bomba. Paro intempestivo del motor de la bomba por falla mecánica o eléctrica. | El reactor se queda sin aceite de enfriamiento. No se conserva adecuadamente la temperatura deseada en el reactor, la temperatura aumenta. | Considerar una alarma por paro de motor de la bomba. Verificar la existencia y cumplimiento de programas de mantenimiento continuo de las bombas. |
| 2 | INVERSO | FLUJO | 2. Falla la bomba y el PIC falla/figa. La válvula de bloqueo no esta cerrada/figa. Falla de las válvulas checks. | Aumento de nivel en el tanque. Posible fuga de aceite. | Se sugiere completar instrumentación para prevenir el flujo inverso. Considerar inspecciones periódicas y revisiones del sistema continuamente. |
| 2 | MENOS | TEMPERATURA | 3. Temperatura externa baja (condiciones climatológicas). | Aumento de viscosidad del aceite, posible daño a la bomba. | Considerar una línea de traceado de vapor. |
| 2 | MENOS | FLUJO | 4. Aumento de viscosidad en el aceite. | Posible daño a las bombas. | No hay acciones a tomar. |
| 2 | MENOS | FLUJO | 5. Bajo nivel en el tanque de almacenamiento. | Posible daño a las bombas. | Considerar una alarma por bajo nivel en el tanque de almacenamiento. Cerrado de las válvulas. |

| NODO | PALABRA GUIA | DESVIACION | POSSIBLE CAUSA | CONSECUENCIAS | ACCIONES A TOMAR |
|------|--------------|------------|--|---|--|
| 3 | NO | FLUJO | 1. Falla de la bomba. Paro del motor de la bomba (falla mecánica, falla de energía eléctrica, etc 9. | Aumento de temperatura en el reactor. La reacción no se realiza adecuadamente. presión no funciona. | Considerar una alarma por paro de motor de la bomba. |
| 3 | NO | FLUJO | 2. Bajo nivel en el tanque FB-103. | Riesgo de daño a las bombas, calentamiento. Problemas en el reactor (aumento de temperatura). | Considerar la adición de una alarma de bajo flujo al FRC para evitar el aumento de temperatura en el reactor. |
| 3 | MENOS | FLUJO | 3. Bloqueo de la línea, válvula manual de bloqueo cerrada por error del operador. | La línea de alimentación queda sometida a sobrepresion. | Verificar la existencia y cumplimiento de programas de calibración de tuberías con señalamientos adecuados de la posición abierto/cerrado de las válvulas. |
| 3 | MENOS | FLUJO | 4. La válvula de bloqueo esta parcialmente cerrada. | Posible sobrepresion en la línea de suministro, si la válvula reguladora de sobrepresion no funciona. | Verificar la existencia y cumplimiento de programas de inspecciones regulares a la línea. |
| 3 | INVERSO | FLUJO | 5. Falla la bomba y el PIC falla/fuga. Paro de las bombas y fallo de las válvulas checks. | Retorno de aceite al tanque de almacenamiento. Aumento de nivel en el tanque. | Se sugiere completar instrumentación para prevenir el flujo inverso. Implementar un programa de mantenimiento y revisión continua del sistema. |
| 3 | MAS | PRESION | 6. Fallo y cierre de los FC de los pasos. | Calentamiento de las bombas. | Verificar la existencia y cumplimiento de programas mantenimiento y revisión continua del sistema. |

TABLA : ANALISIS DE RIESGO, HAZOP.

PLANTA: Productora de Oxido de Etileno.
 PROYECTO: Analisis de Riesgo.

FECHA: Marzo de 1998.
 PAGINA: 8 de 10.

DESCRIPCION LINEA/EQUIPO: Sistema 3, Linea de alimentacion de aceite de enfriamiento al reactor.

| NODO | PALABRA GUIA | DESVIACION | POSIBLE CAUSA | CONSECUENCIAS | ACCIONES A TOMAR |
|------|-----------------|-------------|--|--|--|
| 3 | MENOS | TEMPERATURA | 7. Temperatura externa baja (condiciones climatologicas). | Producto mas viscoso y mal rendimiento de las bombas. Posible daño en las bombas. | Considerar una línea de traccado de vapor. |

| PLANTA: Productora de Oxido de Etileno. PROYECTO: Analisis de Riesgo. DESCRIPCION LINEA/EQUIPO: Reactor. | | FECHA: Marzo de 1998. PAGINA: 9 de 10. | | | |
|--|--------------|---|--|--|---|
| NODO | PALABRA GUIA | DESVIACION | POSIBLE CAUSA | CONSECUENCIAS | ACCIONES A TOMAR |
| 1 | MAS | TEMPERATURA | 1. Flujo bajo de aceite de enfriamiento. | Aumento de temperatura en el reactor. Reaccion inadecuada por aumento de temperatura. | Verificar el nivel del tanque de almacenamiento de aceite. Revisar la instrumentación de nivel del tanque de almacenamiento del tanque de almacenamiento del aceite. |
| 1 | MAS | TEMPERATURA | 2. Menor flujo de agua de enfriamiento. | Aumento de temperatura en el reactor. Reaccion inadecuada por aumento de temperatura. | Verificar el flujo de agua de enfriamiento. |
| 1 | MENOS | FLUJO | 3. Fuga en la línea de alimentación. | Disminución en el nivel del reactor. Fuga de mezcla Etileno-Oxido de Etileno a la atmósfera, peligro de accidente Se reduce la producción. | Verificar la existencia y cumplimiento de programas de inspecciones regulares en línea. |
| 1 | MENOS | FLUJO | 4. La válvula está parcialmente cerrada. | Disminución en el nivel del reactor. Fuga de mezcla Etileno-Oxido de Etileno a la atmósfera, peligro de accidente Se reduce la producción. | Verificar la existencia y cumplimiento de programas de calibración de tuberías con sellamientos adecuados de la posición abierto/cerrado de las válvulas. |
| 1 | MAS | NIVEL | 5. Fallo del LIC con interrupción de la línea de suministro. | Sobrellenado del reactor. | Instalar una alarma por alto nivel en el reactor. Revisión de la instrumentación de nivel del reactor. |
| 1 | MENOS | NIVEL | 6. Fallo del LIC con interrupción de la línea de suministro. | Perdida de alimentación al reactor, reducción en la producción. | Instalar una alarma por bajo nivel en el reactor. Verificar la existencia y cumplimiento de un programa de inspección en la línea de suministro. |

TABLA.: ANALISIS DE RIESGO, HAZOP.

PLANTA: Productora de Oxido de Etileno.
 PROYECTO: Analisis de Riesgo.
 DESCRIPCION LINEA/EQUIPO: Reactor.

FECHA: Marzo de 1998.

PAGINA: 10 de 10.

| NODO | PALABRA GUIA | DESVIACION | POSIBLE CAUSA | CONSECUENCIAS | ACCIONES A TOMAR |
|------|--------------|-------------|--|---|---|
| I | MENOS | TEMPERATURA | 7. Intercambio inadecuado de calor en el intercambiador que incrementa la temperatura a la corriente de alimentacion al reactor. | Problemas en la realizacion de la reaccion. | Verificar si el flujo es el adecuado de la corriente caliente que entra al intercambiador |

MATRIZ DE RIESGO

| | A | B | C | D |
|-----|-----------|-----------|-----|-----------|
| I | 2.1 | 2.1 | | |
| II | | | | |
| III | 1.1 - 3.3 | 1.2 - 3.3 | R.1 | |
| IV | 3.1 | 3.1 | | 3.2 - R.1 |

NOTA: LA NUMERACION UTILIZADA, EL PRIMER NUMERO INDICA EL SISTEMA Y SEGUNDO EL NODO. EJEMPLO: 2.1

2: SISTEMA

1: NODO.

4.4.2 Conclusiones del HAZOP.

De acuerdo al análisis aplicado al problema propuesto, se observa que de los riesgos identificados, el riesgo que puede ocasionar daños catastróficos es el de la ruptura de los tubos del reactor con la cual la probabilidad de explosión es alta y además ocurre fuga de mezcla Etileno-Oxido de Etileno a la atmósfera, la cual causaría daños al medio ambiente.

4.5 Empleo del Simulador SIRIA para el Proceso Propuesto.

4.5.1. Datos Requeridos para la Simulación Empleando el Modelo de Dispersión de Fuga y Derrames.

CALCULO DEL GASTO DE LA EMISION

$$Q = V \cdot \rho \cdot A \dots \dots \dots (8)$$

Donde:

Q = Gasto de la emisión de gas, (g/s)

A = área de la apertura, (cm²)

ρ = Densidad del gas (g/cm³)

V = Velocidad del gas en la tubería (cm/s)

DATOS:

A = 45.606 cm²

ρ = 16.017 (g/cm³)

V = 70 (cm/s)

Sustituyendo los datos en la ecuación (8), se obtiene el siguiente gasto de emisión:

$$Q = 51133.67 \text{ g/s}$$

Ejemplo de simulación empleando el SIRIA, para el Oxido de Etileno en caso de que llegue a presentar una ruptura en la tubería principal que alimenta al Reactor.

| Oxido de Etileno | |
|---|----------|
| Concentración 1 de interés, (mg/m ³). | 9.00 |
| Concentración 2 de interés, (mg/m ³). | 0.18 |
| Concentración 3 de interés, (mg/m ³). | 0.00 |
| Gasto de la emisión, (g/s). | 51133.67 |
| Altura de la emisión, (m). | 10 |
| Velocidad del viento, (m/s). | 9.0 |
| Angulo de fluctuación. (θ) | 30.0 |
| Diámetro de la ruptura, (m). | 0.2032 |

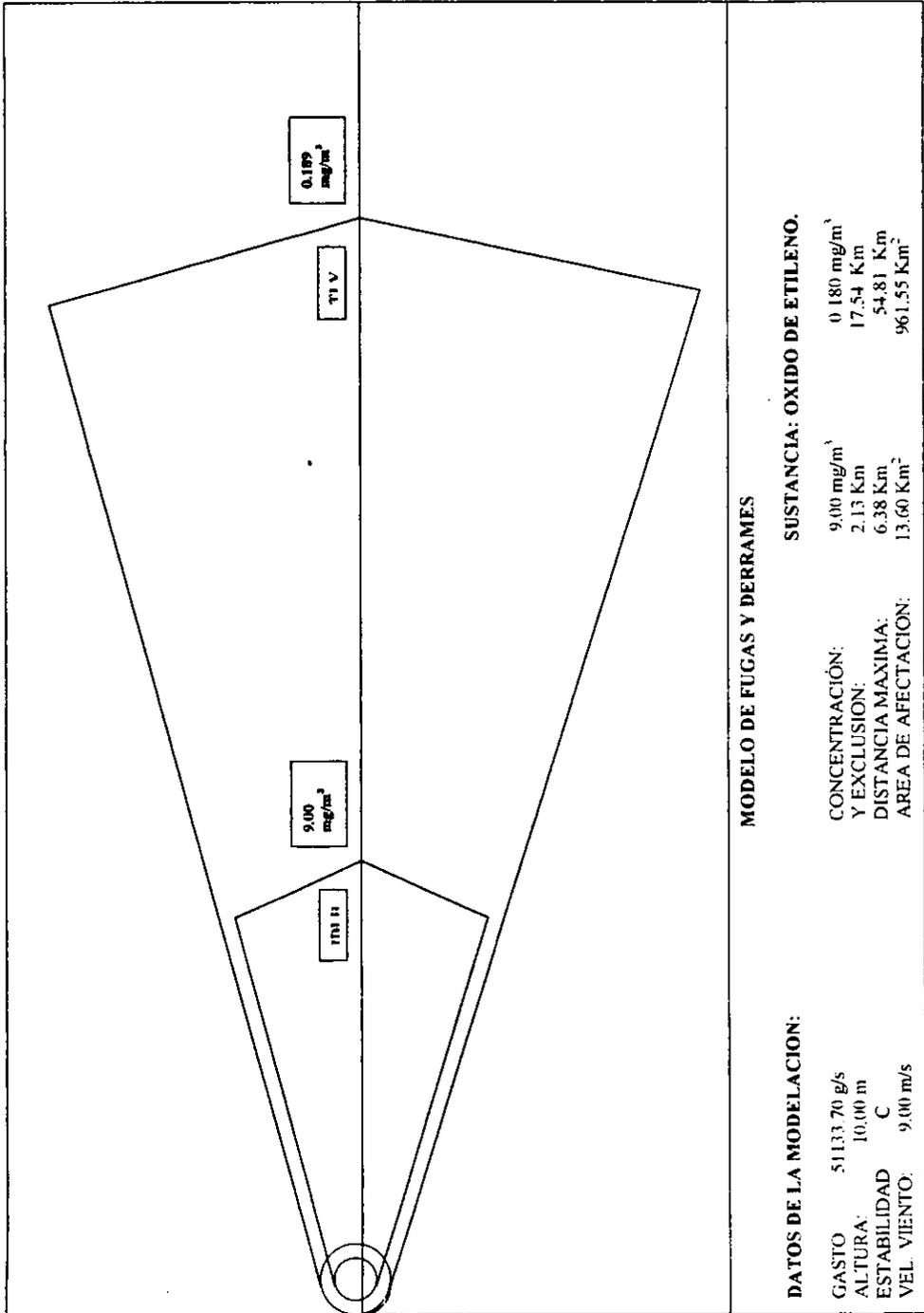
4.5.2. Resultados.

| Area de exclusión 13.60 Km ² . Para concentración 1= 9.00 mg/m ³ | | Yexc.(max.)l= 2129.52 m En X= 6.155 Km | | |
|--|----------------------------------|--|--------|--------|
| Dist. X (Km) | Conc.(X,0,0)(mg/m ³) | Yexc.(m) | Sy (m) | Sz (m) |
| 0.53 | 795.21 | 622.60 | 59.29 | 36.98 |
| 1.06 | 231.54 | 764.88 | 110.86 | 69.73 |
| 1.60 | 111.38 | 907.16 | 159.88 | 101.06 |
| 2.12 | 66.15 | 1049.45 | 207.31 | 131.49 |
| 2.65 | 44.14 | 1191.73 | 253.58 | 161.27 |
| 3.19 | 31.70 | 1334.01 | 298.96 | 190.55 |
| 3.71 | 23.97 | 1476.29 | 343.62 | 219.42 |
| 4.25 | 18.80 | 1618.57 | 387.65 | 247.93 |
| 4.80 | 15.18 | 1760.85 | 431.15 | 276.15 |
| 5.31 | 12.53 | 1903.13 | 474.19 | 304.09 |
| 5.84 | 10.54 | 2045.41 | 516.81 | 331.80 |
| 6.38 | 9.00 | 0.00 | 559.05 | 359.30 |
| 6.90 | 7.78 | 0.00 | 600.95 | 386.60 |

| Area de exclusión 961.55 Km ² | | Para concentración 2= 0.18 mg/m ³ | | |
|--|----------------------------------|--|---------|---------|
| Yexc.(max.)2= 17541.68 m | | En X= 52.95 Km | | |
| Dist. X (Km) | Conc.(X,0,0)(mg/m ³) | Yexc.(m) | Sy (m) | Sz (m) |
| 4.57 | 16.48 | 4578.48 | 413.92 | 264.96 |
| 9.14 | 4.68 | 5802.45 | 774.01 | 499.61 |
| 13.70 | 2.24 | 7026.42 | 1116.23 | 724.02 |
| 18.27 | 1.33 | 8250.39 | 1447.35 | 942.04 |
| 22.84 | 0.88 | 9474.36 | 1770.45 | 1155.43 |
| 27.41 | 0.63 | 10698.33 | 2087.30 | 1365.19 |
| 31.97 | 0.48 | 11922.30 | 2399.09 | 1571.99 |
| 36.54 | 0.38 | 13146.27 | 2706.48 | 1776.29 |
| 41.11 | 0.30 | 14370.24 | 3010.20 | 1978.42 |
| 45.68 | 0.25 | 15594.21 | 3310.66 | 2178.64 |
| 50.25 | 0.21 | 16818.18 | 3608.21 | 2377.17 |
| 54.81 | 0.18 | 0.00 | 3903.15 | 2574.17 |
| 59.38 | 0.15 | 0.00 | 4195.71 | 2769.77 |

NOTA: LOS RESULTADOS SON SIN MEDIDAS DE MITIGACION.

4.5.3 Gráfica de la Pluma de Emisión de Gas Tóxico.



MODELO DE FUGAS Y DERRAMES

DATOS DE LA MODELACION:

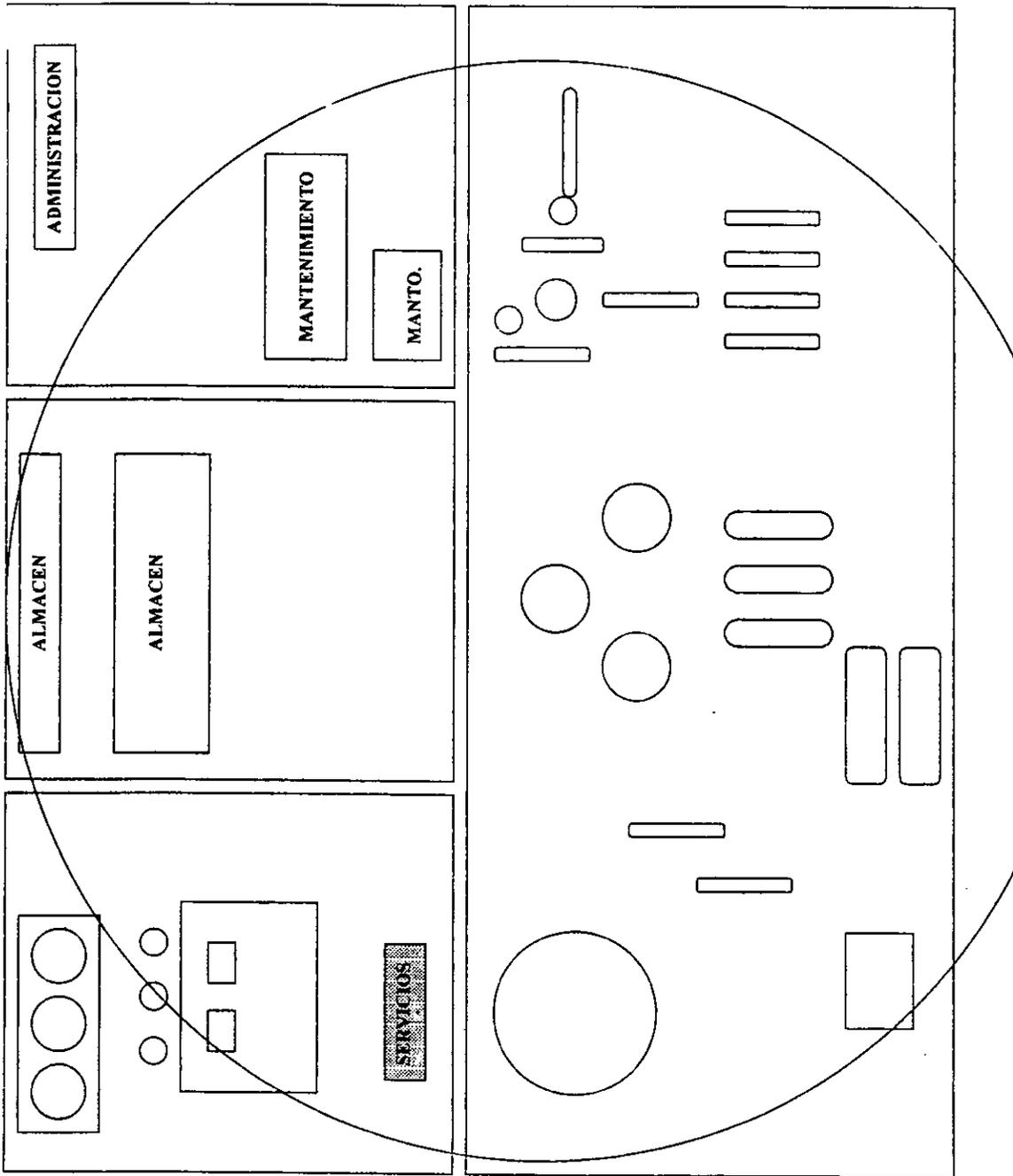
GASTO: 51133.70 g/s
 ALTURA: 10.00 m
 ESTABILIDAD: C
 VEL. VIENTO: 9.00 m/s

SUSTANCIA: OXIDO DE ETILENO.

CONCENTRACION: 9.00 mg/m³
 Y EXCLUSION: 2.13 Km
 DISTANCIA MAXIMA: 6.38 Km
 AREA DE AFECTACION: 13.60 Km²

0.180 mg/m³
 17.54 Km
 54.81 Km
 961.55 Km²

Tamaño de la Nube de Gas Tóxica.



4.5.4 Análisis de Resultados.

Basándose en la metodología de análisis de riesgo HAZOP, que se utilizó para analizar los riesgos posibles que pudieran presentarse en el proceso para la obtención de Oxido de Etileno, se escogió el punto más crítico que pudiera generar un riesgo ambiental, se analizó en el simulador SIRIA la fuga de la sustancia por la posible ruptura de la tubería que alimenta al Reactor.

Los resultados obtenidos marcan el área de afectación que abarcaría la emisión del gas, dándonos una área de 961.55 Km^2 y la distancia a la que llegaría la emisión sería de 54.82 Km, tomando en cuenta estas distancias se debe contar con una área delimitada, es decir que a de terminada distancia no debe de existir población cercana a la planta por que va hacer expuesta a un impacto destructivo que puede repercutir en un elevado número de pérdidas humanas, daños materiales y en sensibles cambios del medio ambiente, si llega a presentarse el siniestro, la empresa debe contar con un plan de respuesta de emergencia que contenga medidas de mitigación que incluyen barreras físicas, dispersores de agua, cortinas de vapor y espumas, las cuales desvían, limitan o dispersan al o los químicos que han sido liberados a la atmósfera. Además la población debe conocer dicho plan porque en el se encuentra la información requerida para tomar la decisión correcta para ver si se lleva a cabo la evacuación de la población en caso que se presente una contingencia.

La gráfica obtenida del modelo de fuga y derrame en la que simula la dispersión de una nube de gas, desprendida por un accidente, observándose en esta las concentraciones máximas que alcanzarían y las distancias a partir de su origen; tomándose en consideración las condiciones climatológicas de la zona donde ocurre la fuga o el derrame. La distancia de afectación que abarcaría la pluma de emisión de gas a diferentes concentraciones; la concentración (1) 9.00 mg/m^3 llegaría afectar una distancia de 06.38 Km. y la concentración (2) 0.180 mg/m^3 llegaría afectar una distancia de 54.81 Km., como se puede observar estas distancias rebasan las instalaciones de la planta lo cual afectaría los asentamientos humanos que se encuentren cercanos a ella, porque comparando dichas concentraciones con los niveles máximos permitidos (dosis) que aseguren el bienestar y salud del ser humano; tal como el IDLH (Dosis Inmediata Peligrosa para la Vida y la Salud del Hombre), que

es el valor que se utiliza para delimitar la zona de alto riesgo hasta donde llegaría afectar la salud humana en un periodo de tiempo mayor a 30 minutos y el TLV (Valor Límite Umbral), este valor se utiliza para delimitar la zona de amortiguamiento.

Entre menor es la concentración la distancia de afectación es mayor esto se debe a que conforme el viento va arrastrando la nube tóxica su desplazamiento es más rápido y el gas se va dispersando en un área mayor, hasta llegar a una concentración, la cual no causaría daños severos a la población y medio ambiente.

Conclusiones.

- Toda unidad de proceso involucra riesgos de ocurrencia de eventos de pérdida, por si misma o por falla de alguno de sus componentes.
- Estos riesgos deben ser determinados, evaluados y prevenidos, para lo cual se cuenta con una gran variedad de técnicas para el análisis de riesgos, pero el uso de ellas debe ser selectivo y deben aplicarse de acuerdo con el campo de riesgo que se considere (Fuego y explosión, nubes explosivas, operabilidad, sistemas crítico, y efectos de paro y arranque) con el fin de optimizar resultados.
- Antes de aplicar un método en particular, se deberán analizar sus ventajas y desventajas, preguntándose invariablemente si nos dará las respuestas esperadas, en función de profundidad, tiempo, costo y aplicabilidad de resultados.
- Si bien, la premisa es garantizar la optima protección del ser humano, la propiedad y el ambiente; el costo de las medidas para lograrlo afectara los costos de producción, por lo que se requiere de una alta creatividad en la propuesta de soluciones para lograr el balance optimo entre el costo del control y la efectividad en la eliminación o reducción de los riesgos.
- Un sistema de análisis de seguridad en procesos requiere de una organización que asegure la operación del sistema, la integración de grupos de trabajo y el cumplimiento de las recomendaciones.
- Los sistemas de prevención y control de perdidas son una inversión redituable, ya que aseguran la preservación de la integridad fisica del personal, la continuidad del proceso, la protección de las comunidades y la conservación del medio ambiente.
- En la aplicación de cualquier metodología tendremos que partir de las siguientes premisas:
 - Administración competente de las unidades operativas.
 - Operación y mantenimiento de las industrias de acuerdo al diseño y tecnología utilizada.
 - Sistemas de protección de alta confiabilidad, probados regularmente, y en caso necesario, reparados y puestos en operación tan pronto como sea posible.

ANEXOS

ANEXO A

Primer Listado de Actividades Altamente Riesgosas.

Publicado en el Diario Oficial de la federación el día 28 de marzo de 1990 [5R].

Considerando

Que mediante este acuerdo se expide el primer listado de actividades altamente riesgosas y que corresponde a aquellas en que se manejan sustancias tóxicas. En dicho listado quedan exceptuadas en forma expresa el uso y aplicación de plaguicidas con propiedades tóxicas, en virtud de que existe una legislación específica para el caso, en la que se regula esta actividad en lo particular.

Que las Secretarías de Gobernación y Desarrollo Urbano y Ecología, previa opinión de las Secretarías de Energía, Minas e Industrial, de Salud, de Agricultura y Recursos Hidráulicos y del Trabajo y Previsión Social, llevaron a cabo los estudios que sirvieron de sustento para determinar los criterios y este primer listado de actividades que deben considerarse altamente riesgosas.

Artículo 3º. Con base en lo previsto en el artículo primero, se expide el primer listado de actividades altamente riesgosas, que corresponde a aquellas en que se manejen sustancias tóxicas. Estas actividades son la producción, procesamiento, transporte, almacenamiento, uso y disposición final de las sustancias que a continuación se indican, cuando se manejen volúmenes iguales o superiores a las cantidades de reporte siguientes:

I Cantidad de reporte: a partir de 1 Kg

a). En el caso de las siguientes sustancias en estado gaseoso:

Ácido cianhídrico

Ácido fluorhídrico (fluoruro de hidrogeno)

Arsina

Cloruro de hidrógeno

Cloro (1)

Diborano

Dióxido de nitrógeno

Fluor

Fosgeno

Hexafluoruro de telurio
Óxido nítrico
Ozono (2)
Seleniuro de hidrógeno
Tetrafluoruro de azufre
Tricloruro de boro

b). En el caso de las siguientes sustancias en estado líquido:

Acroleína
Alil amina
Bromuro de propargilo
Butil vinil éter
Carbonilo de níquel
Ciclopentano
Clorometil metil éter
Cloruro de metacrililo
Dioxolano
Disulfuro de metilo
Fluoruro cianúrico
Furano
Isocianato de metilo
Metil hidracina
Metil vinil cetona
Pentaborano
Sulfuro de dimetilo
Tricloroetil silano

c). En el caso de las siguientes sustancias en estado sólido:

2 clorofenil tiourea
2,4 ditiobiuret
4,6 dinitro-0-cresol
Ácido bencen arsénico
Ácido cloroacético
Ácido fluoroacético
Ácido metil-o-carbamilo
Ácido tiocianico 2-benzotianico
Aldicarb
Arseniato de calcio
Bis clorometil cetona
Bromodiolona

Carbofurano (furadán)
Carbonilos de cobalto
Cianuro de potasio
Cianuro de sodio
Cloroplatinato de amonio
Cloruro crómico
Cloruro de dicloro benzalkonio
Cloruro platinoso
Cobalto
Cobalto (2, 2-(1,2-etano)
Complejo de organorodio
Decaborano
Dicloro xileno
Difacionona
Didisocianato de isoforona
Dimetil-p-fenilendiamina
Dixitoxin
Endosulfan
Epn
Estereato de cadmio
Estricnina
Fenamifos
Fenil tiourea
Fluoroacetamida
Fósforo (rojo, amarillo y blanco)
Fósforo de Zinc
Fosmet
Hexacloro naftaleno
Hidruro de litio
Metil anzifos
Metil paration
Monocrotofos (azodrin)
Óxido de cadmio
Paraquat
Paraquat-metasulfato
Pentadecilamina
Pentóxido de arsénico
Pentóxido de fósforo
Pentóxido de vanadio
Pireno

Piridina, 2 metil, 5 vinil
Seleniato de sodio
Sulfato de estricnina
Sulfato taloso
Sulfato de talio
Tetracloruro de iridio
Tetracloruro de platino
Tetraóxido de osmio
Tiosemicarbazida
Triclorofón
Trióxido de azufre.

II. Cantidad de reporte: a partir de 10 kg.

a). En el caso de sustancias en estado gaseoso:

Ácido sulfhídrico
Amonio anhidro
Fosfina
Metil mercaptano
Trifluoruro de boro

b). En el caso de las siguientes sustancias en estado líquido:

1, 2, 3, 4 diepoxibutano
2, cloroetanol
Bromo
Cloruro de acrililoilo
Isofluorfato
Mesitylileno
Oxicloruro fosforoso
Pentacarbonilo de fierro
Propionitrilo
Pseudocumeno
Tetracloruro de titanio
Tricloro (clorometil) silano
Vinil norborneno

c). En el caso de las siguientes sustancias en estado sólido:

Acetato de metoxietilmercurio
Acetato fenil mercúrico
Acetato mercúrico

Arsenito de potasio
Arsenito de sodio
Azida de sodio
Bromuro cianógeno
Cianuro potásico de plata
Cloruro de mercurio
Cloruro de talio
Fenol
Fosfato etilmercúrico
Hidroquinona
Isotiosianato de metilo
Lindano
Malonato taloso
Malononitrilo
Níquel metálico
Óxido mercúrico
Pentaclorofenol
Pentacloruro de fósforo
Salcomina
Selenito de sodio
Telurio
Telurito de sodio
Tiosemicarbácida acetona
Tricloruro de galio
Warfarin

III. Cantidad de reporte: a partir de 100 kg.

a). En el caso de las siguientes sustancia en estado gaseoso:

Bromuro de metilo
Etano (3)
Óxido de etileno

b). En el caso de las siguientes sustancias en estado líquido:

2,6 -diisocianato de tolueno
Acetaldehído (3)
Acetato de vinilo
Ácido nítrico
Acilonitrilo
alcohol alílico

Beta propiolactona
Cloroacetaldehído
Crotonaldehído
Disulfuro de carbono
Éter bis-cloro metílico
Hidracina
Metil tricloro silano
Nitrosodimetilamina
Óxido de propileno
Pentacloroetano
Pantafluoruro de antimonio
Perclorometil mercaptano
Piperidina
Propilenimina
Tetrametilo de plomo
Tetranitrometano
Tricloro benceno
tricloro de arsénico
Trietoxisilano
Trifluoruro de boro

c). En el caso de las siguientes sustancias en estado sólido:

Ácido cresílico
Ácido selenioso
Acrilamida
Carbonato de talio
Metomil
Óxido tálico
Yoduro cianógeno

IV. Cantidad de reporte: a partir de 1000 kg.

a). En el caso de la siguiente sustancia en estado gaseoso:
Butadieno

b). En el caso de las siguientes sustancias en estado líquido:
acetonitrilo
Benceno (3)
Cianuro de bencilo
Cloroformo

Cloruro de bencal
Cloruro de bencilo
2, 4 -diisocianato de tolueno
Epiclorohidrina
Isobutironitrilo
Oxicloruro de selenio
Peróxido de hidrógeno
Tetracloruro de carbono (3)
Tetraetileno de plomo
Trimeticloro silano

V. Cantidad de reporte: a partir de 10 000 kg.

a). en el caso de las siguientes sustancias en estado líquido:

2, 4, 6, trimetil anilina
Anilina
Ciclohexilamina
Cloruro de bencen sulfonilo
Diclorometil fenil silano
Etilen diamina
Forato
Formadehído cianohidrina
Gas mostaza; sinónimo (sulfato de bis (2-cloroetilo))
Hexacloro ciclo pentadieno
Lactonitrilo
Mecloretamina
Metanol
Oleum
Percloroetileno
Sulfato de dimetilo
Tiocianato de etilo
Tolueno (3)

VI. Cantidad de reporte: a partir de 100 000 kg.

a) En el caso de las siguientes sustancias en estado líquido:

1,1 -dimetil hidracina
Anhídrido metacrílico
Cumeno
Dicloros

Éter dicloroetilico
Éter diglicidilico
Fenil dicloro arsina
Nevinfos (fosforín)
Octametil difosforamida
Tricloro fenil silano

VII. Cantidad de reportes a partir de 1 000 000 kg.

a). En el caso de las siguientes sustancias en estado líquido:

adiponitrilo
Clordano
Dibutilftalato
Dicrotofos (bidrín)
Dimetil 4 ácido fosfórico
Dimetilftalato
Dioctilftalato
Fosfamidón
Metil-5-dimetón
Nitrobenceno
Tricloruro fosforoso.

*(1) Se aplica exclusivamente a actividades industriales y comerciales

*(2) Se aplica exclusivamente a actividades donde se realicen procesos de ozonización.

*(3) En virtud de que esta sustancia presenta además propiedades explosivas o inflamables, también será considerada, en su caso, en el proceso para determinar los listados de actividades altamente riesgosas, correspondientes a aquellas en que se manejen sustancias explosivas o inflamables.

Segundo Listado de Actividades Altamente Riesgosas.

Publicado en el Diario Oficial de la federación el día 04 de mayo de 1992 [6R].

Considerando que mediante este acuerdo se expide el segundo listado de actividades altamente riesgosas que corresponde a aquellas en que se manejen sustancias inflamables y explosivas, en cantidades tales que de producirse una liberación, ya sea por fuga o derrame de las mismas en la producción, procesamiento, transporte, almacenamiento, uso o disposición final provocaría la formación de nubes inflamables, cuya concentración sería semejante a la de su límite inferior de inflamabilidad, en un área determinada por una franja de cien metros de longitud en torno de las instalaciones o medio de transporte dados, y en el caso de formación de nubes explosivas, la presencia de ondas de sobrepresión de 0.5 lb/In^2 , en esa misma franja.

Que las Secretarías de Gobernación y Desarrollo Urbano y Ecología, previa opinión de las Secretarías de Energía, Minas e Industria Paraestatal, de Comercio y Fomento Industrial, de Agricultura y Recursos Hidráulicos, de Salud y del Trabajo y Previsión Social, así como con la participación de la Secretaría de la Defensa Nacional, llevaron a cabo los estudios que sirvieron de sustento para determinar los criterios y este segundo listado de actividades que deben considerarse altamente riesgosas.

En mérito a lo anterior, hemos tenido a bien dictar el siguiente

Artículo 1º. Se expide el segundo listado de actividades altamente riesgosas que corresponde a aquellas en que se manejen sustancias inflamables y explosivas.

Artículo 4º. Las actividades asociadas con el manejo de sustancias inflamables y explosivas que deben considerarse altamente riesgosas son la producción, procesamiento, transporte, almacenamiento, uso y disposición final de las sustancias que a continuación se indican, cuando se manejen cantidades iguales o superiores a las cantidades de reporte siguientes:

I. Cantidad de reporte: A partir de 500 kg.

a) En el caso de las siguientes sustancias en estado gaseoso:

Acetileno
Ácido sulfhídrico
Anhídrido hipocloroso
Butano (N, iso)
Butadieno
1-Buteno
2-Buteno (cis, trans)
Cianógeno
Ciclobutano
Ciclopropano
Cloruro de metilo
Cloruro de vinilo
Difluoruro 1-Cloroetano
Dimetil amina
2, 2- Dimetil propano
Etano
Éter metílico
Etileno
Fluoruro de etilo
Formaldehído
Hidrógeno
Metano
Metilamina
2-Metil propeno
Propano
Propileno
Propino
Sulfuro de carbonilo
Tetrafluoroetileno
Trifluorocloroetileno
Trimetil amina

b). En el caso de las sustancias en estado gaseoso no prevista en el inciso anterior y que tengan las siguientes características:

Temperatura de inflamación \leq (37.8 °C)
Temperatura de ebullición < (21.1 °C)
Presión de vapor > (760 mm Hg)

c). En el caso de las siguientes sustancias en estado líquido:

2-Butino Cloruro de etilo

Etilamina

3-Metil-1-Buteno

Metil etil éter

Nitrito de etilo

Óxido de etileno

1-Pentano

II. Cantidad de reporte: A partir de 3 000 kg.

a). En el caso de las siguientes sustancias en estado líquido:

Acetaldehído

Ácido cianhídrico

Amileno (cis, trans)

Colodión

Disulfuro de carbono

2-Metil-1-Buteno

2-Metil-2-Buteno

Óxido de propileno

Pentano (N, iso)

1-Penteno

2-Penteno

Sulfuro de dimetilo

III: Cantidad de reporte: A partir de 10 000 kg.

a) En el caso de las siguientes sustancias en estado líquido:

Acroleína

Alil amina

Bromuro de alilo

Carbonilo de níquel

Ciclopentano

Ciclopenteno

1-Cloro propileno

2-Cloro propileno

Cloruro de alilo

Cloruro de acetilo

Cloruro de propilo (N, iso)

1, 1-Dicloroetileno

Dietilamina

Dihidropirán

2, 2 Dimetil butano

2, 3 Dimetil butano

2, 3 Dimetil 1-Buteno

2, 3 Dimetil 2-Buteno

2-Etil 1-Buteno

Éter dietílico

Éter vinílico

Etilico mercaptano

Etoxiacetileno

Formiato de etilo

Formiato de metilo

Furano

Isopreno

Isopropenil acetileno

2-Metil pentano

3-Metil pentano

2-Metil-1-Penteno

2-Metil-2-Penteno

4-Metil-1-Penteno

4-Metil-2-Penteno

2-Metil-2-Propanotiol

Metil propil acetileno

Metil triclorosilano

Propil amina (N, iso)

Propenil etil éter

Tetrahidrofurano

Triclorosilano

Vinil etil éter

Vinil isopropil éter

IV. Cantidad de reporte: A partir de 20 000 kg.

a). En el caso de las siguientes sustancias en estado líquido:

Acetato de etilo

Acetato de metilo

Acetato de vinilo
Acetona
Acrilato de metilo
Acrinitrilo
Acohol metílico
Alcohol etílico
Benceno
1-Bromo-2-Buteno
Butilamina (n, iso, sec, ter)
Ciclohexano
Ciclohexeno
Cicloheptano
2-Cloro-2-Buteno
Cloruro de butilo (n, iso, sec, ter)
Cloruro de vinilideno
Dicloroetano
Dicloroetileno (cis, trans)
1, 2Dicoroetileno
Dimetil diclorosilano
1, 1-Dimetil hidrazina
2, 3 Dimetil pentano
2, 4 Dimetil pentano
Dimetoxi metano
Diisobutileno
Diisipropilamina
Dioxolano
Éter etil propílico
Éter propílico (N, iso)
Etil butil éter
Etil ciclobutano
Etil ciclopentano
Etil diclorosilano
Etil metil cetona
Etilenimina
Formiato de propilo (N, iso)
Fluorobenceno
1-Hexeno
2-Hexeno (cis, trans)
Heptano (n, iso y mezclas de isómeros)
Hepteno

Heptileno
Heptileno 2-trans
1, 4-Hexadieno
Hexano (N, iso y mezclas de isómeros)
Isobutiraldehído
2-Metil furano
Metil ciclohexano
Metil ciclopentano
Metil diclorosilano
Metil éter propílico
2-Metil hexano
3-Metil hexano
Metil hidrazina
2-Metil-1, 3-Pentadieno
4-Metil-1, 3-Pentadieno
Metil pirrolidina
2-Metil tetrahidrofurano
Metil vinil cetona
Monóxido de butadieno
Nitrato de etilo
2, 5 Norbornadieno
Óxido de butileno
Óxido de pentametileno
1, 2-Óxido de butileno
Pirrolidina
Propionaldehído
Propionato de metilo
Propionato de vinilo
Trietilamina
2, 2, 3 Trimetil butano
2, 3, 3 Trimetil, 1-Buteno
2, 3, 4 Trimetil, 1-Penteno
2, 4, 4-Trimetil 2-Penteno
3, 4, 4-Trimetil 2-Penteno
Trimetilclorosilano
Vinil isobutil éter

V. Cantidad de reporte: A partir de 50 000 kg.

a). En el caso de las siguientes sustancias en estado gaseoso:
Gas L.P. comercial (2)

VI. Cantidad de reporte a partir de 100 000 kg.

a). En el caso de las siguientes sustancias en estado líquido:

Acetato de propilo (N, iso)

Alcohol alílico

Alcohol desnaturalizado

Alcohol propílico (iso)

Amilamina (N, sec)

Bromuro de N-Butilo

Butirato de metilo

Butironitrilo (N, iso)

1, 2-Dicloropropano

2, 3-Dimetil hexano

2, 4-Dimetil hexano

P-Dioxano

Éter alílico

Formiato de isobutilo

2- Metil-2-Butanol

2-Metil butiraldehído

2-Metil-3-Etil pentano

3-Metil-2-Butanotiol

Metil metacrilato

Piperidina

Piridina

Propianato de etilo

Propionitrilo

Tetrametilo de plomo

2, 2, 3-Trimetil pentano

2, 2, 4-Trimetil pentano

2, 3, 3-Trimetil pentano

Tolueno

VII. Cantidad de reporte: A partir de 200 000 kg.

a). En el caso de las siguientes sustancias en estado líquido:

Acetal

Acetato de butilo (iso, sec)

Acetato de isoamilo

Acetato de isopropenilo

Acetonitrilo

Acrilato de isobutilo

Alcohol amílico (N, sec)

Alcohol butílico (iso, sec, tert)

Amil mercaptan

Benzotrifluoruro

1-Butanol

Butil mercaptan (N, sec)

Butirato de etilo (N, iso)

Clorobenceno

Cloruro de amilo

Crotonaldehído

Cumeno

Dietilcetona

Dietílico carbonato

1, 3-Dimetil butilamina

1, 3-Dimetil ciclohexano

1, 4-Dimetil ciclohexano (cis, trans)

Estireno

Etil benceno

Etil butilamina

2-Etil butiraldehído

Etil ciclohexano

Etilendiamina

Etileno-glicol dietílico éter

Ferropentacarbonilo

Isobromuro de amilo

Isoformiato de amilo

Metacrilato de etilo

Metil isobutil cetona

Metil propil cetona

Nitroetano

Nitrometano

Octano (N, iso)

Octeno (iso)
1-Octeno
2-Octeno
Óxido de mesitilo
2, 2, 5-Trimetil hexano
Vinil triclorosilano
Xileno (M.O.P.)

VIII. Cantidad de reporte: A partir de 10 000 kg.

a). En el caso de sustancias en estado líquido, no previstas en las fracciones anteriores y que tengan las siguientes características:

Temperatura de inflamación \leq (37.8 °C)
Temperatura de ebullición \geq (21.1 °C)
Presión de vapor \leq (760 mm Hg)

IX. Cantidad de reporte: A partir de 10 000 barriles.

a). En el caso de las siguientes sustancias en estado líquido:

Gasolinas (3)

Kerosenas, incluye naftas y diáfano (3)

*(2) Se aplica exclusivamente a actividades industriales y comerciales

*(3) Se aplica exclusivamente a actividades industriales y comerciales.

Anexo B: Formatos de Presentación de Resultados.

| INDICE DOW DE FUEGO Y EXPLOSION | | |
|---|-----------------|----------------------|
| EMPRESA O PLANTA: | | FECHA: |
| AREA O UNIDAD DE PROCESO: | | |
| MATERIALES: | | |
| MATERIAL CLAVE: | | FACT. MATERIAL (FM): |
| INDICE DE INCENDIO Y EXPLOSION | | |
| I.- RIESGOS GENERALES DEL PROCESO | | RGP |
| CARACTERISTICAS | FACTOR SUGERIDO | FACTOR USADO |
| 1.- REACCIONES EXOTERMICAS | 0 A 1.25 | |
| 2.- REACCIONES ENDOTERMICAS | 0 A 0.40 | |
| 3.- MANEJO DE MATERIALES | 0 A 0.85 | |
| 4.- UNIDAD CERRADA DE PROCESO | 0 A 0.90 | |
| 5.- ACCESO A EQUIPO DE EMERGENCIA | 0-0.35 | |
| 6.- DRENAJES | 0 A 0.50 | |
| RPGP_i = SUMA DE RGP | | |
| II.- RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO | | |
| 1.- TEMPERATURAS DEL PROCESO: | | |
| a) Sobre el punto de Inflamabilidad. | 0 A 0.30 | |
| b) Sobre el punto de Ebullición. | 0 A 0.65 | |
| | 0 A 0.75 | |
| 2.- BAJA PRESION (SUBATMOSFERICA) | 0 A 0.50 | |
| 3.- OPERACIÓN EN O CERCA DE CONDICIONES DE INFLAMABILIDAD. | | |
| a) Patios de tanques de almacenamiento. | 0 A 0.50 | |
| b) Derrames y/o falla de purga. | 0 A 0.30 | |
| c) Operación permanente en intervalos de inflamabilidad. | 0 A 0.80 | |
| d) Operaciones de carga y descarga de carros y/o pipas. | 0 A 0.40 | |
| 4.- POLVOS EXPLOSIVOS | 0 A 2.0 | |
| 5.- PRESION DE OPERACIÓN | 0 A 1.30 | |
| 6.- BAJA TEMPERATURA | 0 A 1.50 | |
| 7.- CANTIDAD DE MATERIAL INFLAMABLE | | |
| a) Líquidos y/o gases en proceso. | 0 A 3.0 | |
| b) Líquidos y/o gases en alimentación. | 0 A 2.0 | |
| c) Sólidos en almacenamiento. | 0 A 4.0 | |
| 8.- CORROSION Y/O EROSION. | 0 A 0.75 | |
| 9.- FUGAS EN UNIONES Y/O EMPAQUES. | 0 A 1.50 | |
| 10.- EQUIPO CALENTADO A FUEGO DIRECTO. | 0 A 1.00 | |
| 11.- INTERCAMBIO DE CALOR CON ACEITE TERMICO. | 0 A 1.15 | |
| 12.- EQUIPO ROTATORIO. | 0 A 0.50 | |
| REPT = SUMA DE REPT | | |
| FACTOR DE RIESGO DE PROCESO (FRP) = (1 + RGP _i) (1 + REP) | | |
| INDICE DE INCENDIO Y EXPLOSION: IFE = (FM) (FRP) | | |
| FACTOR DE DAÑO | | |

Anexo B: Formatos de Presentación de Resultados.

| CLASIFICACION DE RIESGOS INDICE DOW | | |
|---|-----------------|--------------|
| TIPO DE RIESGO | INDICE | GRADO |
| INCENDIO Y EXPLOSION | | |
| RADIO DE EXPOSICION | | |
| OBSERVACIONES: | | |
| CARACTERISTICAS | FACTOR SUGERIDO | FACTOR USADO |
| L- CONTROL DE PROCESO. | | |
| a) Energía de emergencia. | 0.97 A 1.0 | |
| b) Enfriamiento. | 0.95 A 1.0 | |
| c) Control de explosiones. | 0.75 A 1.0 | |
| d) Paro de emergencia. | 0.94 A 1.0 | |
| e) Control por computadoras. | 0.89 A 1.0 | |
| f) Gas inerte. | 0.90 A 1.0 | |
| g) Procedimientos de operación. | 0.86 A 1.0 | |
| h) Revisión de reactivos químicos. | 0.85 A 1.0 | |
| PRODUCTO DE FACTORES POR CONTROL DE PROCESOS = C1 = | | |
| II- AISLAMIENTO DE MATERIALES. | | |
| a) Válvulas de control remoto. | 0.91 A 1.0 | |
| b) Descarga a vertederos. | 0.85 A 1.0 | |
| c) Sistemas de drenaje. | 0.85 A 1.0 | |
| d) Interlocks | 0.96 A 1.0 | |
| PRODUCTO POR FACTORES POR AISLAMIENTO DE MATERIALES = C2 = | | |
| III- PROTECCION CONTRA INCENDIOS | | |
| a) Deteccion de fugas. | 0.90 A 1.0 | |
| b) Acero estructural. | 0.92 A 1.0 | |
| c) Tanques subterranos. | 0.75 A 1.0 | |
| d) Suministro de agua. | 0.90 A 1.0 | |
| e) Sistemas de rociadores. | 0.85 A 1.0 | |
| f) Sistemas especiales. | 0.60 A 1.0 | |
| g) Cortinas de agua. | 0.95 A 1.0 | |
| h) Espuma. | 0.87 A 1.0 | |
| i) Extinguidores. | 0.92 A 1.0 | |
| j) Protección a líneas eléctricas. | 0.90 A 1.0 | |
| PRODUCTO DE FACTORES POR PROTECCION CONTRA INCENDIO = C3 = | | |
| PRODUCTO DE FACTORES DE SEGURIDAD (C1) (C2) (C3) | | |
| FACTOR DE SEGURIDAD DEFINITIVO (CD) | | |
| INDICE DE FUEGO Y EXPLOSION CORREGIDO. (IFE) (CD) | INDICE | GRADO |

Anexo B: Formatos de Presentación de Resultados.

| INDICE MOND DE FUEGO, EXPLOSION Y TOXICIDAD | | |
|---|------------------------|---------------------|
| EMPRESA O PLANTA: | FECHA: | |
| AREA O UNIDAD DE PROCESO: | | |
| MATERIALES: | REACCION QUIMICA: | |
| MATERIAL CLAVE: | FORMULA QUIMICA: | |
| I.- FACTOR PROPIO DEL MATERIAL CLAVE (FM). | | POR: |
| II.- RIESGOS ESPECIFICOS DEL MATERIAL (REMC). | | |
| CARACTERISTICAS | FACTOR SUGERIDO | FACTOR USADO |
| 1.- Material oxidante. | 0 A 20 | |
| 2.- Reacción peligrosa en agua. | 0 A 30 | |
| 3.- Características de dispersión y mezclado (DM). | 50 A 60 | |
| 4.- Combustión espontánea. | 30 A 250 | |
| 5.- Polimerización espontánea. | 25 A 75 | |
| 6.- Sensibilidad a la ignición. | 75 A 150 | |
| 7.- Descomposición explosiva. | 75 A 125 | |
| 8.- Detonación en fase gaseosa. | 0 A 150 | |
| 9.- Explosión en fase gaseosa. | 200 A 1500 | |
| 10.- Otros. | 0 A 150 | |
| SUMA DE FACTORES DE (REMC) (M) = | | |
| III.- RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (RGP). | | |
| 1.- Manejo y cambios físicos. | 10 A 60 | |
| 2.- Reacción única continua. | 25 A 50 | |
| 3.- Reacción única por lotes. | 10 A 60 | |
| 4.- Reacciones múltiples en un mismo equipo. | 0 A 75 | |
| 5.- Transferencia de materiales. | 0 A 160 | |
| 6.- Contenedores portátiles. | 10 A 100 | |
| IV.- RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO (REP). | | |
| 1.- Baja presión (1 Kg/cm ² abs). | 0 A 100 | |
| 2.- Alta presión (AP). | 0 A 160 | |
| 3.- Baja temperatura. | | |
| a) Acero al carbón (-10 °C a 0 °C). | 15 | |
| b) Acero al carbón (debajo de -10 °C). | 60 A 100 | |
| c) Otros materiales. | 0 A 100 | |
| 4.- Alta temperatura. | | |
| a) Materiales inflamables. | 0 A 40 | |
| b) Resistencia de materiales de construcción. | 0 A 25 | |
| 5.- Corrosión y erosión. | 0 A 150 | |
| 6.- Fugas en juntas y empaques. | 0 A 60 | |
| 7.- Vibración. | 0 A 50 | |
| 8.- Proceso o reacciones difíciles de controlar. | 20 A 300 | |
| 9.- Operación en o cerca del intervalo de inflamabilidad. | 0 A 150 | |
| 10.- Riesgo de explosión mayor. | 40 A 100 | |
| 11.- Polvos o nieblas riesgosas. | 30 A 70 | |

Anexo B: Formatos de Presentación de Resultados.

| | | |
|--|--------------|------------------|
| 12.- Materiales fuertemente oxidantes. | | |
| 13.- Sensibilidad a la ignición. | | |
| 14.- riesgo electrostático. | | |
| SUMA DE FACTORES (REP) (S) = | | |
| V.- RIESGOS POR CANTIDAD (RPC). | | |
| 1.- Volumen (m3). | | |
| 2.- Densidad (Ton). | | |
| 3.- Temperatura de proceso. | | |
| RIESGOS POR CANTIDAD (RPC) (Q) = | | |
| VL- RIESGOS POR CONSTRUCCION Y DISTRIBUCIÓN DE EQUIPO (RCDE). | | |
| 1.- Altura de la unidad H(m). | | |
| 2.- Superficie de trabajo N(m2). | | |
| 3.- Diseño estructural. | 0 A 200 | |
| 4.- Efecto domino. | 0 A 250 | |
| 5.- Instalaciones subterráneas. | 0 A 150 | |
| 6.- Drenaje superficial. | 0 A 100 | |
| 7.- Otros. | 0 A 250 | |
| SUMA DE FACTORES (RCDE) (L) = | | |
| VII- RIESGOS POR TOXICIDAD (RPT). | | |
| 1.- Penalización por TLV (TRESHOLD LIMIT VALUE ⁹). | 0 A 300 | |
| 2.- Forma de material. | 25 A 200 | |
| 3.- Exposición corta. | 100 A 150 | |
| 4.- Absorción por la piel. | 0 A 300 | |
| 5.- Factores físicos. | 0 A 300 | |
| SUMA DE FACTORES (RPT) (T) = | | |
| VIII- CALCULO DE INDICES DE RIESGO. | | |
| INDICES | VALOR | CATEGORIA |
| 1.- INDICE GENERAL DE RIESGO (EQUIVALENTE AL DOW). D= FM (1 +M/100) (1 + (S + Q + L)/100 + T/4009 | | |
| 2.- INDICE DE RIESGOS DE INCENDIO. F= (FM) K/N (20500) (=) BTU/FT2 | | |
| 3.- INDICE DE TOXICIDAD DE LA UNIDAD. U= T/100 (1 + (M + P S)/100) | | |
| 4.- INDICE DE TOXICIDAD MAYOR C= (Q) (U). | | |
| 5.- INDICE DE EXPLOSION INTERNA. E= 1 + (M + P S)/100 | | |
| 6.- INDICE DE EXPLOSION EXTERNA. A= M(1 + DM/100) (Q) (H) (E) (TP)/300 (1 + AP)/100 | | |
| 7.- INDICE GLOBAL DE RIESGO (INDICE MOND). | | |
| R= D(1 + ((F) (U) (E) (A)0.5 /100 | | |

Anexo B: Formatos de Presentación de Resultados.

| IX.- FACTORES DE REDUCCION POR MEDIDAS DE SEGURIDAD (FRMS). | | |
|--|--|--|
| 1.- SISTEMAS DE CONTENCIÓN (SDC). | | |
| a) Recipientes a presión. | | |
| b) Tanques verticales atmosféricos. | | |
| c) Tuberías de transferencia. | | |
| C.1) Diseño mecánico. | | |
| C.2) Juntas y empaques. | | |
| d) Contención adicional. | | |
| e) Detección y respuesta a fugas. | | |
| f) Sistemas de alivio, venteo y eliminación líquida. | | |
| PRODUCTO TOTAL DE (SDC) (K1) = | | |
| 2.- CONTROL DE PROCESO (CDP). | | |
| a) Sistemas de alarma de proceso. | | |
| b) Suministro de servicios auxiliares de emergencia. | | |
| c) Sistemas de enfriamiento. | | |
| d) Sistemas de gas inerte. | | |
| e) Estudio de análisis de riesgo. | | |
| f) Sistema de paro de seguridad (emergencia). | | |
| g) Control automático por computadora. | | |
| h) Control automático explosiones. | | |
| i) Instrucciones de operación. | | |
| j) Supervisión de la planta. | | |
| PRODUCTO TOTAL DE FACTORES (CDP) (K2) = | | |
| 3.- ACTITUD SEGURIDAD (ADS). | | |
| a) Involucramiento de la gerencia. | | |
| b) Entrenamiento en seguridad. | | |
| c) Procedimiento de seguridad y emergencia. | | |
| PRODUCTO TOTAL DE FACTORES (ADS) (K3) = | | |
| 4.- PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO (PCI). | | |
| a) Protección a estructuras. | | |
| b) Barreras contra incendio. | | |
| c) Protección a equipos. | | |
| PRODUCTO TOTAL DE FACTORES (PCI) (K4) = | | |
| 5.- AISLAMIENTO DE MATERIALES (ADM). | | |
| a) Sistemas de válvulas. | | |
| b) Ventilación. | | |
| PRODUCTO TOTAL DE FACTORES (ADM) (K5) = | | |
| 6.- COMBATE DE INCENDIOS (CDI). | | |
| a) Alarma de emergencia. | | |
| b) Extintores portátiles. | | |

Anexo B: Formatos de Presentación de Resultados.

| | | |
|---|--------------|------------------|
| c) Suministro de agua contra incendio. | | |
| d) Sistemas de rociadores o monitores. | | |
| e) Espuma y gas inerte. | | |
| f) Brigada. | | |
| g) Apoyo externo o interno. | | |
| h) Extracción de humo. | | |
| PRODUCTO TOTAL DE FACTORES (CDD). | | |
| X.- CALCULO DE INDICES ACTUALES DE RIESGO. | | |
| INDICES ACTUALES. | VALOR | CATEGORIA |
| 1.- INDICE ACTUAL DE RIESGO DE INCENDIO. FA = (F) (K1) (K3) (K5) (K6). | | |
| 2.- INDICE ACTUAL DE EXPLOSIÓN INTERNA. EA = E (K2) (K3). | | |
| 3.- INDICE ACTUAL DE EXPLOSIÓN EXTERNA. AA = A (K1) (K2) (K3) (K5). | | |
| 4.- INDICE GLOBAL DE RIESGO ACTUAL (MOND). RA = R (K1) (K2) (K3) (K4) (K5) (K6). | | |

Anexo B: Formatos de Presentación de Resultados.

| PLANTA: Productora de Oxido de Etileno. PROYECTO: Análisis de Riesgo. DESCRIPCION LINEA/EQUIPO: Sistema J. Bombas de alimentación del aceite de enfriamiento. | | FECHA: Mayo de 1998. PAGINA: 1 de 1. |
|---|---|--|
| WHAT IF? ¿QUE PASA SI? | CONSECUENCIAS | RECOMENDACIONES |
| 1. Falla la bomba. Paro intempestivo del motor de la bomba por falla mecánica o eléctrica?. | El reactor se queda sin aceite de enfriamiento. No se conserva adecuadamente la temperatura descada en el reactor, la temperatura aumenta. | Considerar una alarma por paro de motor de la bomba. Verificar la existencia y cumplimiento de programas de mantenimiento continuo de las bombas. |
| 2. Fallan las válvulas checks?. | Aumento de nivel en el tanque. Posible fuga de aceite. | Se sugiere completar instrumentación para prevenir el flujo inverso. Considerar inspecciones periódicas y revisiones del sistema continuamente. |
| 3. La temperatura externa es baja (condiciones climatológicas). | Aumento de viscosidad del aceite, posible daño a las bombas. | Considerar una línea de traccado de vapor. |
| 4. Aumenta la viscosidad en el aceite?. | Posible daño a las bombas. | No hay acciones a tomar. |
| 5. Baja el nivel en el tanque de almacenamiento?. | Posible daño a las bombas. | Considerar una alarma por bajo nivel en el tanque de almacenamiento. Cerrado de las válvulas. |

HAZOP. PARAMETROS PARA LA ELABORACION DE LA MATRIZ DE RIESGO.

| CLASIFICACION DEL DAÑO POTENCIAL | |
|----------------------------------|---|
| I. CATASTROFICO | RESULTAN EN UNO O AMBOS MUERTE DENTRO Y FUERA DE LA PLANTA DAÑOS Y GRANDES PERDIDAS DE PRODUCCION |
| II. SEVERO | RESULTAN EN UNO O AMBOS VARIOS LESIONADOS DAÑOS Y MUCHAS PERDIDAS DE PRODUCCION |
| III. MODERADO | RESULTAN EN UNO O AMBOS UN SOLO LESIONADO DAÑOS Y MEDIANAS PERDIDAS DE PRODUCCION |
| IV. MINIMO | RESULTAN EN UNO O AMBOS NINGUN LESIONADO DAÑOS Y POCAS PERDIDAS DE PRODUCCION |

FRECUENCIA

- | |
|------------------------------------|
| A. OCURRE MAS DE 1 VEZ POR AÑO. |
| B. OCURRE ENTRE 1 Y 10 AÑOS. |
| C. OCURRE ENTRE 10 Y 100 AÑOS. |
| D. OCURRE ENTRE 100 Y 10,000 AÑOS. |

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

1. American Institute of Chemical Engineering. "Fire δ Explosion Hazard Clasificacion Guide", New York., (1989).
2. American Institute of Chemical Engineering. "Fire, Explosion δ Toxicity Hazard Clasificacion Guide", New York., (1989).
- 3.- Baca U. G. "Análisis y administración del riesgo". Ed. Mc Graw Hill, segunda edición, México, (1990).
- 4.- Batstone R. J., & Tomi D.T. "Hazard Analysis in Planning Industrial Development in Chemical Engineering Progres" (De.) prevention; Loss Vol. 13.
- 5.- Campos I.R. "Orientaciones para evaluar la calidad de los estudios de Análisis de riesgos" IMIQ México D.F., (1984).
- 6.- Chávez G.M.. "Análisis de Riesgos en plantas Petroquímicas" IMIQ, México D.F..(1994).
- 7.- COAAPPA. "Guía para la elaboración de los programas para la prevención de accidentes" Secretaria de Desarrollo Social (1993).
- 8.- Cohrssen, J.J. and Covello, V.T. "Risk Analysis: A Guide to Principles and Methods for Analyzing Health and Enviromental Risks", USA (1990).
- 9.-Continuing Engineering Studies. UT. "Hazard Asseesment and Risk Analisis techniques for Process Industries (1993).

- 10.-Continuing Engineering Studies. UT. "HAZOP Study Methodology" (1993).
11. Dirección General de Normatividad Ambiental del Instituto Nacional de Ecología. "Sistema de Información Rápida de Impacto ambiental (SIRIA)".
- 12.- Gibson S.B. "The Desing on New Chemical Plants using Hazard Analysis" Hydrocarbon Processing FMEA (1993).
- 13.- Goyal R.K. "The Alternative Process Hazard Method" Hydrocarbon Processing FMEA (pp. 95-99), (1993).
- 14.- Green A.E., & Bourne A.J. "Reability Technology" Ed. Jhon Wiley and Sons,(1972).
- 15.- Jones D.W. "Lessons from experiences" Hydrocarbon Processing (pp. 77-80), (1992).
- 16.- Katz M.J. "Hazard and Risk evaluation" Chemical Engineering Progress (Ed.) Loss Prevention Vol 10 (pp 127-133) (1991).
- 17.- Kelly W.J. "Oversights and mytology in a Hazop program" Hydrocarbon Processing (pp. 114-16) (1991).
- 18.- Lewis D.J. "The Mond Fire, Explosion and Toxicity Index Applied to Plant Layout add Spacing" Chemical Engineering Progress (De.) Loss Prevention Vol. 13 (pp.20-26) (1980).

- 19.- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al ambiente, Décima cuarta Edición, Editorial Porrúa, México (1997).
- 20.- National Fire Protection Association, "Fire Hazard Properties of Flammable Liquis, Gases, and Volatile Solids, (1991).
- 21.- National Fire Protection Association, NFPA 704. "Standar System for the Identification of the Fire Hazard of Materials", (1990).
- 22.- Reglamento de Impacto Ambiental de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Decimocuarta Edición Editorial Porrúa, México 1997.
- 23.- Ed. Harris, R.G. and Cramer J. "Risk assessment and risk managmet for chemical process industry" Ed. Stone and Webster Engineering Corporation de Van. New York,(1991).

Referencias

- 1R.- Butron S. J.A. "Curso Análisis de Riesgos" CONIQQ, IMP División Editorial, México D.F. (1993).
- 2R.CENAPRED. "Riesgos Químicos", Prevención, México D.F. No. 8, (1996).
- 3R. CENAPRED. "Experiencias del Procedimiento de Evaluación de Riesgo Ambiental en México", México D.F. No. 6, (1996).
- 4R. CENAPRED. "Banco de Datos de Accidentes Químicos", México D.F. (1993).
- 5R. Diario Oficial de la Federación. "Primer Listado de Actividades Altamente Riesgosas", 28 de Marzo de 1990.
- 6R. Diario Oficial de la Federación. "Segundo Listado de Actividades Altamente Riesgosas", 4 de Mayo de 1992.
- 7R. Muravchik G. O. "Desastre y Protección Civil", Fomento Editorial UNAM, México D.F., (1996).
- 9R. NIOSH "Pocket Guide to Chemical Hazards", Ed. Jhon Wiley Sons, (1993).
- 10R.Periódico "Excélsior" "Accidente ocurrido en el Estado de Veracruz, en la Planta Química Anaversa", (1991).

- 11R. Rivero J.A. "Curso de Capacitación en Materia de Riesgo Ambiental", Corporación Radian, (1993).
- 12K. Terradas J. "Ecología y educación ambiental", Ed. Omega, Barcelona, (1979).
- 13R.- Yañes V. C. "Deterioro ambiental sus causas y efectos", (1992).