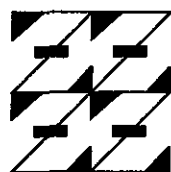




**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ZARAGOZA"**

U.N.A.M.
FES
ZARAGOZA



LO HUMANO ES
DE NUESTRA REFLEXION

**TECNICAS PARA LA DETERMINACION DEL
POTENCIAL DE PELIGROSIDAD EN UNA PLANTA
O PROCESO INDUSTRIAL.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A N :
CALDERON VIVAS ANTONIO
FUENTES GARCIA JOSE LEONARDO
RIVERA NAVA MARIO**

ASESOR: ING. QUIMICO RENE DE LA MORA MEDINA

**TESIS CON
FALLA DE CENSUR**

MEXICO, D. F.

1998.

262451



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

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA
JEFATURA DE INGENIERIA QUIMICA
OFICIO: 082/012/98



C. Antonio Calderón Vivas
José Leonardo Fuentes García
Mario Rivera Nava
P r e s e n t e

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: I.Q. René de la Mora Medina
Vocal: I.Q. Miguel Angel Varela Cedillo
Secretario: I.Q. Arturo Enrique Méndez Gutiérrez
Suplente: I.Q. Andrés Aquino Canchola
Suplente: I.Q. José Antonio Zamora Plata

A T E N T A M E N T E
"LO HUMANO EJE DE NUESTRA REFLEXION"
México, D.F., 21 de Abril de 1998

I.Q. Magín Enrique Juárez Villar
Jefe de la Carrera

RESUMEN

El presente trabajo consiste en una recopilación de documental de algunos de los métodos que se practican en la evaluación de los peligros en las plantas o procesos industriales. Con esta recopilación se pretende dar un panorama global de las ventajas y desventajas que pudiera en un momento determinado proporcionar cada una de las técnicas estudiadas, así como ofrecer un antecedente acerca de la información mínima necesaria para la ejecución de las mismas.

Por otra parte se pretende que este trabajo sirva como un manual de referencia para aquellos profesionales que pretendan incursionar en el campo del análisis y evaluación de peligros, además de servir como base para realizar un estudio que cumpla con la normatividad vigente en nuestro país.

INTRODUCCION

Los sucesos que han tenido lugar en los años recientes, demuestran que es necesario realizar una evaluación de peligros, con el fin de determinar cuales son que se pueden presentar, cual es el área vulnerable a sufrir las consecuencias de dichos eventos y por lo tanto cuales deben ser las medidas tanto preventivas como de atención al incidente para mitigar sus efectos, así como las acciones de restauración después de haberse materializado un evento indeseable. Esto conlleva a determinar cuales son los recursos materiales y humanos necesarios para llevar al cabo dichas acciones.

Con el fin de administrar de la mejor manera las actividades encaminadas la prevención, atención y restauración de eventos indeseables, es necesario definir una serie de etapas para la evaluación de peligros.

Estas etapas son cubiertas en el siguiente trabajo; así en el capítulo uno se presentan los antecedentes y definiciones que son fundamentales para poder realizar una evaluación. En el capítulo dos se mencionan las etapas involucradas en la evaluación de peligros que son básicamente: identificación de peligros, análisis de vulnerabilidad y el análisis de riesgos. Profundizando en las dos primeras etapas en donde se mencionan, por ejemplo los modelos Gaussianos para determinar el radio de afectación cuando se presente la fuga de alguna sustancia tóxica .

El tercer capítulo (tema medular del trabajo) trata acerca de las técnicas de evaluación como son: el HAZOP, el Análisis de Arbol de Fallas, de eventos, ¿Qué pasa si?, por citar algunos. Mientras que en el capítulo cuatro se da la aplicación del método HAZOP en la refinería Antonio M. Amor de Salamanca Gto.

Cabe aclarar que el presente trabajo no pretende fungir como un guía exhaustiva, dado que la información es muy amplia y se actualiza día con día, sino más bien se pretende dar las bases que permitan fundamentar trabajos posteriores.

SUMARIO

CONTENIDO	Pag
CAPITULO I	
Antecedentes	1
Definiciones	5
1.1 Riesgo	5
1.2 clasificación de los tipos de riesgo	7
1.3 Desastres, origen y clasificación	9
1.3.1 Tipos de agentes perturbadores	10
1.3.2 Agentes afectables	12
1.3.3 Mecanismos de los desastres	12
1.3.4 Agentes reguladores	15
1.4 Riesgos industriales graves	15
1.4.1 Tipos de riesgos industriales graves	15
1.4.2 Principales consecuencias de los riesgos industriales	16
1.5 Sistema de reacción al incidente	20
1.6 Propiedades de las sustancias	22
CAPITULO II	
ETAPAS EN EL ANALISIS DE PELIGROS	
2.1 Procedimiento general	38
2.2 Identificación de peligros	40
2.2.1 Objetivo de la identificación de peligros	40
2.2.2 Lineamientos generales para la identificación de peligros	41
2.2.3 Información requerida en la identificación de peligros	43
2.2.4 Métodos en la identificación de peligros	48
2.3 Análisis de vulnerabilidad	52
2.3.1 Descripción general para la estimación de la zona vulnerable	53
2.3.2 Variables en la estimación de la zona vulnerable	58
2.3.3 Análisis de las consecuencias	60
2.3.4 Modelos de dispersión	67
2.4 Análisis de riesgos	98
2.4.1 Aproximación global del análisis de riesgos	99
2.4.2 Información requerida para el análisis de riesgos	100
2.4.3 Evaluación del riesgo	102

CAPITULO III**MÉTODOS DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL RIESGO**

3.1 Planteamiento de los objetivos	124
3.2 Información requerida	125
3.3 Personal y sus habilidades	130
3.4 Técnicas de evaluación	135
3.4.1 Revisión de seguridad	135
3.4.2 Lista de verificación	138
3.4.3 Análisis de árbol de fallas	160
3.4.4 Desfogues de explosiones en equipo a baja presión	193
3.4.5 Análisis que sucede si	218
3.4.6 Análisis de efectos y modos de falla	229
3.4.7 Estudio de riesgo y operabilidad	237
3.4.8 Índice Mond	251
3.4.9 Índice Down de fuego y explosión	283
3.4.10 Rango relativo	307
3.4.11 Análisis preliminar de peligros	314
3.5 Guía para la elaboración del estudio de riesgo modalidad análisis de riesgo	319
3.6 Selección de las técnicas para la evaluación de riesgos	330

CAPITULO IV

4.0 Aplicación del método HAZOP a la planta recuperadora de azufre y tratamiento de gas residual	347
4.1 Motivo del estudio	348
4.2 Alcance del estudio	350
4.3 Enfoque de la ejecución del estudio	351
4.3.1 Conclusiones generales	351
4.3.2 Análisis de HAZOP	353
4.4 Proceso	358
4.4.2 Descripción del proceso	359
4.4.3 Determinación de causas, consecuencias y acciones concretas de corrección	367
4.5 Evaluación de riesgos, identificando y jerarquizando los riesgos del proceso, almacenamiento y transporte	377
4.5.1 Resumen del HAZOP	377
4.5.2 Introducción del HAZOP	378
4.5.3 Metodología del análisis de riesgo del proceso	379
4.5.4 Resultados y acciones	382
4.5.4.1 Interpretación de las hojas de trabajo del HAZOP	383
4.6 Definición de los riesgos de afectación de los eventos probables	397
4.6.2 Metodología del modelado de las consecuencias	398
4.6.2.1 Riesgos de interés	398

4.6.2.2 Selección de los modelos de consecuencias	402
4.6.3 Resultados de los modelos de consecuencias	406
4.6.3.1 Descripción de los accidentes potenciales	406
4.6.3.2 Fuentes de datos	407
4.6.3.3 Resumen de resultados	408
4.6.4 Discusión de resultados	410
4.7 Conclusiones y recomendaciones	412
ANEXOS	414

CAPITULO I

ANTECEDENTES

Aún cuando no existen evidencias precisas la aparición de las primeras metodologías para el análisis de peligros en plantas industriales (Químicas), tiene su origen entre 1910 y 1920. Estas metodologías fueron producto de la *experiencia adquirida a través de accidentes ocurridos*. Una de ellas es "La Investigación de Accidentes" en donde se definen las causas básicas que propiciaron el accidente y se establecen las medidas correctivas o preventivas en instalaciones existentes o en etapa de diseño, con el fin de evitar reincidencia de los peligros.

Los resultados del método de investigación de accidentes, no proporcionan todas las respuestas requeridas para contar con operaciones con grado de confiabilidad aceptable. Las limitaciones propias de la metodología dio como resultado la generación de códigos y estándares, en donde se establecen parámetros generalmente aceptados para peligros reconocidos.

La segunda metodología desarrollada e implantada fue "Inspecciones Planeadas y no Planeadas" en la cual se pretende identificar desviaciones contra lo establecido en los códigos y estándares los cuales a su vez indican las medidas de control a implantar para eliminar o reducir los riesgos.

Muchas organizaciones introdujeron algunas formas de revisiones de seguridad secundaria a través de grupos multidisciplinarios. La metodología "¿Que sucede si ?" (What-if?) empezó a utilizarse por estos grupos aplicando la interrogante "¿que sucede si ?" a cada unidad del proceso, determinando el efecto de las falla en equipos o los tipos de errores. Esta metodología puede ser utilizada para revisar un proceso completo o parte de él. El grupo enfatiza en los factores no detectables al realizar una inspección visual con el fin de identificar los riesgos potenciales en base a experiencia y establecer las medidas de control más apropiadas.

El desarrollo formal de las metodologías para el análisis de riesgos se inició en la industria aeroespacial, como respuesta a la magnitud de las consecuencias al ocurrir una falla como por ejemplo: mal funcionamiento de un misil o aeronaves que pudieran ocasionar pérdidas humanas y económicas millonarias. Era imperativo el detectar fallas potenciales a priori. La industria nuclear y electrónica implementaron los logros de la industria aeroespacial.

A principios de los sesentas se desarrollo la metodología conocida como Modelo de Fallas y Análisis de Efectos (FMEA por sus siglas en inglés), la cual es la formalización del método "¿Qué sucede si ?" lo que significa que puede ser aplicada a procesos complejos.

En 1962 se desarrolló la metodología Análisis de Árbol de Fallas (FTA, por sus siglas en inglés), la cuál consiste en el análisis y cuantificación de un diagrama lógico, el cual identifica las secuencias de todos los eventos que pueden dar como resultado una falla específica.

Durante la década de los sesentas fue creada la metodología "Análisis de Peligros y Operabilidad" (HAZOP, por sus siglas en inglés) por la división Mond de ICI (Imperial Chemical Industries). Esta metodología fue originalmente creada para aplicarse en el diseño de nuevas unidades operativas o modificar alguna, debido al esfuerzo que involucra ha sido aplicada en pocas plantas. El objetivo de la técnica es estimular la imaginación en forma sistemática y 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 analizadas permiten una búsqueda sistemática de los peligros escondidos en la planta.

En 1970, ocurrió un incidente en una planta de cloro (fuga de gas tóxico) de Castner Kellner, de la Div. Mond y el Grupo Chlor Alkali, quienes analizaron el problema y reconocieron que no podría repetirse ya que en éste caso la principal preocupación no eran las pérdidas económicas por la fuga del cloro, sino más bien su efecto sobre la población local y el medio ambiente.

Posteriormente se implantaron dos técnicas mismas que han sido utilizadas en las plantas de la división Mond y vendidas a otras compañías en Inglaterra Europa y Estados Unidos, conocidos como Índice Mond e Índice Dow aplicables solo a casos de fuego y explosión.

Los acontecimientos ocurridos en San Juan Ixhuatepec, México, Nov. 19 de 1984; Bhopal , La India, Dic. de 1984, que dieron por resultado la pérdida de miles de vidas humanas y daños materiales cuantiosos, generó una mayor

presión sobre la Industria de proceso. En Mayo de 1985 La Chemical Manufacturer's Association (CMA) integró un grupo especial de trabajo para tratar de dar a conocer a sus asociados las metodologías existentes en el mercado para el análisis de riesgos. Las metodologías más frecuentemente empleadas son : ¿Qué sucede si ?", HAZOP, Listas de Verificación, HAZAN, Índice Dow, Índice Mond, Árbol de Fallas.

En la Industria química mexicana el uso de sistemas formales es limitado ya que tan sólo algunos grupos industriales importantes han iniciado su aplicación, entre ellos Du Pont y Celanese Mexicana. En 1985 el grupo NEGRO-MEX Aplicó las metodologías HAZOP & HAZAN en el diseño de una planta piloto con excelentes resultados.

La cada vez más fuerte presión social y gubernamental, ha obligado a la industria química a la toma de decisiones oportunas para la eliminación o reducción de los riesgos de manera efectiva, esto está dando por resultado el uso de metodologías más confiables que garantizan la identificación de todos los riesgos reales y potenciales existentes en las unidades operativas. A la fecha la vigencia de las metodologías se debe a su alto grado de confiabilidad, la cual se ha incrementado por la incorporación de ordenadores que han revolucionado su aplicación por el uso de simuladores y programas inteligentes.

DEFINICIONES

1.1 Riesgo.

El origen de la palabra "RIESGO" procede de la palabra árabe RISQ que significa cualquier cosa que le ha sido dada y de la cual se puede sacar beneficio, y tiene connotaciones de resultado fortuito y favorable.

Por otra parte, a palabra latina RISICUM originalmente se refería a los retos que presentaba una barrera de arrecifes a un navegante y tiene connotaciones de un evento igualmente fortuito pero desfavorable.

La derivación griega de la palabra árabe RISQ utilizada en el siglo XII podría parecer relacionada con la posibilidad de un resultado en general, pero sin implicaciones positivas o negativas.

La palabra moderna francesa RISQUE tiene connotaciones negativas, aunque ocasionalmente positivas.

En inglés de uso común la palabra riesgo (RISK) tiene asociaciones negativas muy definidas como: "Correr el Riesgo De " o "Arriesgarse", significando que se expone a un peligro. En español tiene un significado similar al de inglés.

El diccionario Webster enfatiza el aspecto negativo, posibilidad de pérdidas, desventajas o destrucción.

El diccionario de la lengua española lo define como contingencia o proximidad de un daño o un peligro.

A través del tiempo el significado de la palabra riesgo ha cambiado de una simple descripción de cualquier resultado no intentado o no esperado, bueno o malo de una decisión o curso de acción, a un significado que relaciona a un resultado indeseable y la posibilidad de su ocurrencia.

Otras definiciones de riesgo establecidas por especialistas en el tema son :

- ◊ El potencial de consecuencias negativas no deseadas de un evento o actividad (Rowe, 1977)
- ◊ Una medida de la probabilidad y severidad de efectos adversos (Lowrance, 1976)
- ◊ Es la posibilidad de un resultado negativo. Para medir el riesgo se deben medir ambos componentes que lo definen: la probabilidad y la negatividad (Rescher, 1983)
- ◊ La estimación del riesgo usualmente se basa en el resultado esperado de la probabilidad condicional de las veces de ocurrencia de un evento por las consecuencias del evento dado que ha ocurrido (Grantt, 1987)
- ◊ Es cualquier resultado no esperado o no intentado de una decisión o curso de acción (Whanton, 1992)
- ◊ Es la medida de un peligro, combinando una medición de la probabilidad de ocurrencia de un evento indeseable con una medida de sus efectos y consecuencias (Villeneur, 1992)

En el contexto de un desastre potencial, la palabra riesgo puede ser usada ya sea como una medida de la magnitud de un resultado no intentado, por ejemplo: 2000 muertes o la probabilidad de su ocurrencia como uno en mil o aún por el producto de los dos, una probabilidad estadística de dos muertes.

El riesgo se puede definir como "la posibilidad de ocurrencia de un suceso no deseado, o bien, como la probabilidad de pérdidas o daños (a los hombres, a la propiedad y a los bienes)". Desde el punto de vista industrial y con base en lo anterior una definición más específica es la siguiente: "un Riesgo Industrial es la probabilidad anual de que ocurra un siniestro debido a eventos anormales y que pueden causar daños tanto personales, materiales, así como al ambiente".

1.2 Clasificación de los Tipos de Riesgos

a). Según el reglamento para la clasificación y determinación del grado de riesgo del IMSS, los riesgos pueden ser:

TIPO DE RIESGO	CLASE
Ordinario de vida	I
Bajo	II
Medio	III
Alto	IV
Máximo	V

b). Según la Organización Iberoamericana de Protección Contra Incendios y la National Fire Protection Association (NFPA), los Riesgos se clasifican de la siguiente manera:

TIPO DE RIESGO	ALCANCE DEL RIESGO
Por el afectado	*Individual *Colectivo
Por su desarrollo	*Estático *Progresivo
Por la ubicación de la fuente	*Conocido *Desconocido
Por sus consecuencias	*Despreciable *Marginal *Crítico *Catastrófico

c). Una manera convencional de clasificación de los riesgos es aquella basada en la actividad que se realiza.

- En labores del Hogar
- En el Deporte
- En la Recreación
- En el Trayecto o Tránsito
- En el Trabajo

1.3 Desastres, origen y clasificación

Por otra parte, un desastre es un acontecimiento o serie de acontecimientos que perturban seriamente las actividades normales, puesto que supera la capacidad de respuesta de la comunidad afectada y en consecuencia requiere un esfuerzo coordinado multidisciplinario. Sus principales efectos son los que determinan la magnitud de los mismos, siendo los más comunes:

- Pérdida de vidas de seres humanos y animales o lesiones que sufran unos y otros.
- Desorganización de servicios públicos
- Destrucción de propiedades privadas y públicas o daños a las mismas.
- Desorganización de las actividades normales.

De manera condensada definimos a un desastre como un evento concentrado en el tiempo y en el espacio, resultado del impacto de un agente perturbador o calamidad en un agente o sistema afectable y cuyos efectos pueden ser mitigados o evitados por un agente regulador.

Agente Perturbador (Sp): Son fenómenos que pueden alterar el funcionamiento normal de los sistemas afectables y producir en ellos un estado de desastre.

"Las calamidades estan compuestas por fenómenos destructivos ocasionados por procesos físicos-naturales y aquellos provocados por el hombre" (publicado en el diario oficial del martes 6 de mayo de 1986).

Así mismo, los "agentes perturbadores" se dividen en dos categorías generales: a) fenómenos naturales, b) fenómenos humanos

ORIGEN DE LOS AGENTES PERTURBADORES
Natural: provienen de cambios en las condiciones ambientales de los desplazamientos de las grandes placas que conforman el subsuelo o de la actividad volcánica
Humano : son consecuencia de las actividades del hombre y su desarrollo

Figura 1.1 Agentes perturbadores

Los agentes perturbadores también son llamados calamidades las cuales pueden ser clasificadas como:

- Previsibles: fenómenos ciclónicos y contaminación ambiental
- No previsibles: sismos, incendios, explosiones, nevadas, agrietamientos, etc.

1.3.1 Tipos de agentes perturbadores (Sp)

- a) Geológicos: Tienen su origen en la actividad de las placas tectónicas y fallas continentales y regionales.

- b) Hidrometeorológicos: Estos fenómenos se derivan de la acción violenta de los agentes atmosféricos, como los huracanes, las inundaciones fluviales, pluviales, costeras y lacustres; las tormentas de nieve, granizo, polvo y electricidad, y las temperaturas extremas.
- c) Químicos: Se encuentran ligados a la compleja vida en sociedad, al desarrollo industrial y tecnológico de las actividades humanas, y al uso de diversas formas de energía. En esta clase están incluidos los incendios, tanto urbanos -domésticos e industriales- como forestales; las explosiones, derivadas en su mayoría por el uso, transporte y comercialización de productos combustibles de alto potencial explosivo, radiaciones, fugas tóxicas, envenenamientos masivos y otros desastres.
- d) Sanitarios: Se vinculan estrechamente con el crecimiento de la población y la industria. Sus fuentes se ubican en las grandes concentraciones humanas y vehiculares, por ejemplo, la contaminación del aire, suelo y alimentos; la desertificación, las epidemias y plagas, y la lluvia ácida.
- e) Socio-Organizativos: Tienen su origen en las actividades de las concentraciones humanas, y en el mal funcionamiento de algún sistema de subsistencia que proporciona servicios básicos. Por ejemplo los desplazamientos tumultuarios, las concentraciones masivas de individuos en locales o áreas poco idóneas, y los accidentes terrestres, aéreos, fluviales y marítimos que llegan a producirse por fallas técnicas humanas.

1.3.2 Agentes afectables (Sa)

Se trata del sistema compuesto por el hombre y su entorno físico (población, servicios, elementos básicos de la subsistencia; los bienes materiales y la naturaleza) en que pueden materializarse los desastres al presentarse un agente perturbador.

Un sistema afectable puede ser cualquier comunidad o asentamiento urbano, área productiva o ambiente humano.

1.3.3 Mecanismos de los desastres

Mecanismos de generación: Son los procesos a través de los cuales se producen las calamidades, y que constan de:

- a) Preparación: Es la organización de las condiciones necesarias para la formación de la calamidad.
- b) Iniciación: Se refiere a la activación o excitación del mecanismo.
- c) Desarrollo: Es la fase de crecimiento o intensificación del fenómeno.
- d).Traslado: Es el transporte de los elementos o energía impactante del fenómeno, del lugar de iniciación al de impacto.
- e) Producción de Impactos: se refiere a la manifestación y realización del fenómeno en el sistema afectable.

Mecanismos de encadenamiento: Los mecanismos de encadenamiento de alguna calamidad con otras calamidades propician que como consecuencia de

la presencia de una, surja otra. Es decir: una calamidad inicia otra, llamada "calamidad encadenada". Son tres los tipos de encadenamiento, los cuales se describen a continuación:

- a) Encadenamiento corto: Se produce cuando el impacto primario de una calamidad da lugar directamente a otra. Por ejemplo el impacto mecánico de un sismo que produce inmediatamente un colapso de suelos (función Sp-Sp).
- b) Encadenamiento Largo: Se trata de una secuencia lineal de calamidades encadenadas, en la que un sistema afectable se convierte en sistema perturbador, como cuando un sismo provoca la ruptura de ductos y ésta un incendio (función Sp-Sa-Sp). También denominado efecto dominó.
- c) Encadenamiento integrado: Es el caso de la agregación de los impactos de los efectos de una calamidad inicial, como la interrupción del servicio de agua, que provoca efectos en la salud de la población, interrupción de la actividad industrial, daños en ciertos sectores habitacionales (función Sp-Sa-Sa). También denominado efecto en cascada (fig. 1.2).

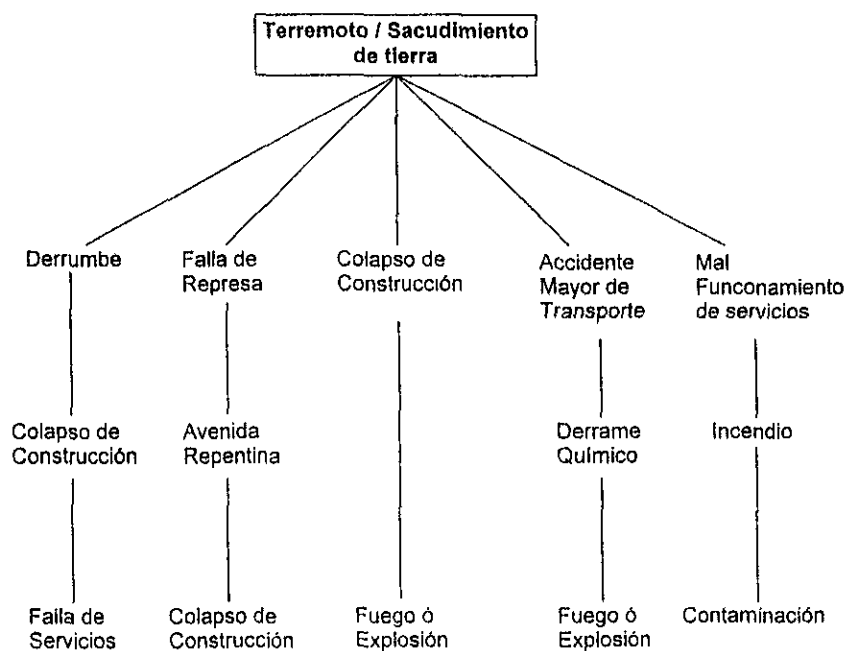


Fig. 1.2 Encadenamiento en cascada

1.3.4 Agentes reguladores

Están constituidos por la organización de las acciones, normas, programas y obras destinadas a proteger a los agentes o sistemas afectables y a prevenir y controlar los efectos destructivos de los fenómenos o agentes perturbadores.

1.4 Riesgos industriales graves

El almacenamiento y la utilización de sustancias químicas inflamables, explosivas o tóxicas que pueden causar desastres, se suelen designar como riesgos de accidentes mayores. Por tanto, este riesgo potencial depende del carácter inherente de la sustancia química y de la cantidad acumulada en la instalación.

1.4.1 Tipos de riesgos industriales graves:

Los riesgos industriales graves suelen estar relacionados con la posibilidad de incendio, explosión o dispersión de sustancias químicas tóxicas y por lo general involucran el escape de material de un recipiente, seguido, en el caso de sustancias volátiles, de su evaporación y dispersión. Entre los accidentes relacionados con los principales riesgos industriales graves, cabe mencionar a los siguientes:

- a) El escape de un material inflamable al mezclarse con el aire da lugar a la formación de una nube de vapor inflamable, que es arrastrada hasta

una fuente de ignición, lo que provocará un incendio o una explosión que afectará al lugar y posiblemente a zonas aledañas.

- b) En el escape de material tóxico, se da la formación de una nube de vapor tóxico y el transporte de la misma, lo que afectará directamente al lugar y posiblemente a zonas aledañas.

1.4.2 Principales consecuencias de los riesgos industriales graves

Explosiones:

Las explosiones se caracterizan por una onda de presión que puede producir un estallido y causar daños a los edificios, romper ventanas y arrojar materiales a varios cientos de metros de distancia.

Los efectos de la onda de presión varían según las características del material, su cantidad y el grado de restricción de la nube de vapor.

Deflagración y Detonación:

Las explosiones pueden producirse en forma de una deflagración o de una detonación en función de la velocidad de combustión durante la explosión. Se produce una deflagración cuando la velocidad de combustión o la velocidad de la llama es relativamente lenta, del orden de 1 m/s. En una detonación en cambio, la velocidad de la llama es extremadamente elevada. El frente de la

llama se desplaza como una onda de choque, con una velocidad normal de 2000 a 3000 m/s. El hecho de que se produzca una deflagración o una detonación dependerá del material de que se trate, así como de las condiciones en que ocurre la explosión. Por lo común, se acepta que una explosión en fase de vapor requiere cierto grado de limitación para que se produzca una detonación.

Explosiones de gases y polvos:

Es posible hacer una distinción entre las explosiones de gases y las de polvo tomando como base el material de que se trate; se producen explosiones de gases que en general son catastróficos cuando se liberan y dispersan con el aire considerables cantidades de material inflamable para formar una nube de vapor explosivo antes de que tenga lugar la ignición. Las explosiones de polvos se producen cuando materiales sólidos inflamables se mezclan intensamente con el aire. El material sólido disperso adopta la forma de material pulverizado con partículas de dimensiones muy pequeñas. La explosión resulta de un hecho inicial como un incendio o una pequeña ignición que motiva que el polvo depositado sobre las superficies pase a ser transmitido por el aire. Al mezclarse con el aire se produce una explosión secundaria que a su vez puede originar una explosión terciaria y así sucesivamente.

Explosión de líquido en ebullición con desprendimiento de vapores en expansión:

Designada algunas veces como una bola de fuego. Una explosión de este tipo es una combinación de incendio y explosión con una emisión de calor radiante intenso en un intervalo relativamente breve de tiempo. El fenómeno puede producirse dentro de un recipiente o depósito en el que se mantenga un gas licuado por encima de su punto de ebullición atmosférico. Si un recipiente a presión se rompe como resultado de un debilitamiento de su estructura el contenido se escapa al instante como una mezcla turbulenta de líquido y gas que se expande rápidamente y se dispersa por el aire como una nube.

Cuando esta nube se inflama se produce una bola de fuego, que origina una radiación térmica de enorme intensidad en unos pocos segundos.

Incendio:

Es la ignición no controlada de los materiales que pueden ocurrir tanto en las industrias (materia prima, productos químicos, etc.), en la vivienda (gas combustible, instalaciones eléctricas, etc.), como en el medio ambiente (forestales). Para que un incendio se inicie y se mantenga se requiere de un material combustible, un comburente (generalmente el oxígeno) y una fuente de energía (calor); estos tres elementos en conjunto constituyen el triángulo del fuego y son tan esenciales que cuando se produce un incendio la única forma de extinguirlo es retirando por lo menos uno de estos tres elementos (fig. 1.3).

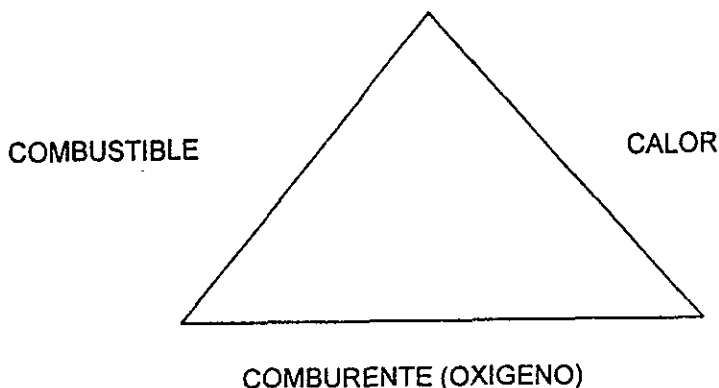


Figura 1.3 Triángulo del fuego

Los incendios pueden adoptar varias formas, entre ellas los de incendios de chorro, depósitos, los producidos por relámpagos y explosiones provocadas por la ebullición de líquidos que expanden vapor. Un incendio de surtidor o chorro podría surgir cuando una larga llama estrecha procedente por ejemplo de una tubería de gas inflamado tiene un escape. Un incendio de depósito se produciría por ejemplo, si una fuga de petróleo bruto de un depósito situado dentro de un muro de protección se inflamara. Un incendio repentino podría originarse si un escape de gas llegara a una fuente de combustión y se quemara rápidamente regresando a la fuente del escape.

Por su magnitud los incendios se clasifican en:

- Conato: Se puede apagar utilizando extintores, los daños pueden ser reparados rápidamente pues no son de considerable importancia.

- Incendio: Requiere para su eliminación y control de hidrantes mangueras y extintores de carro, su grado de destrucción alcanza un 25% del sistema afectado.
- Conflagración: Es aquel que destruye significativamente o totalmente al sistema afectado, comúnmente se conoce como siniestro.

1.5. Sistema de reacción al incidente.

Un incidente de materiales peligrosos es una situación en la cual existe la fuga de un material peligroso que puede escapar al ambiente que lo rodea. Los incidentes con materiales peligrosos varían considerablemente dependiendo de los productos químicos y las cantidades involucradas.

Sin embargo las actividades que se requieren realizar cuando se responde a estos incidentes se pueden agrupar en cinco acciones generales que interactúan entre sí:

- a) Reconocimiento: Identificación de la sustancia involucrada así como de las características que determinan su grado de peligrosidad.
- b) Evaluación: Determinación del impacto o riesgo que la sustancia representa para la salud pública y para el medio ambiente.
- c) Control: son métodos para eliminar o reducir el impacto del incidente.
- d) Información: Conocimiento adquirido concerniente a las condiciones o circunstancias de un incidente en particular.

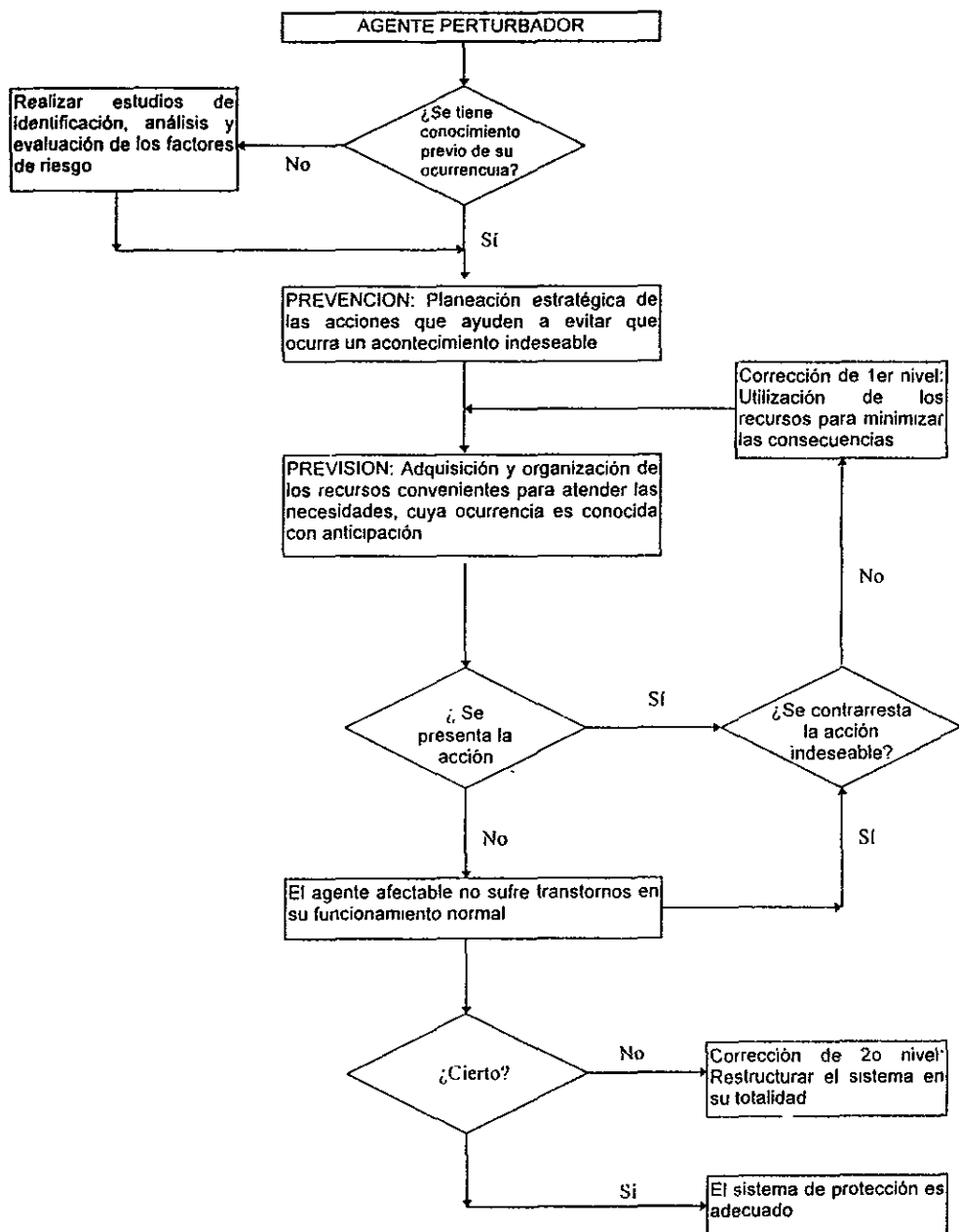


Fig. 1.4 Algoritmo para la evaluación de un programa de seguridad

- e) Seguridad: Protección contra daños para aquellos que responden al incidente.

Hasta aquí un aspecto importante es el poder distinguir entre lo que es un riesgo y lo que es un desastre, ambos conceptos ya se han escrito anteriormente, sin embargo es preciso compararlos más de cerca; mientras que un riesgo es la probabilidad de que ocurra un evento indeseable, un desastre es la ocurrencia de dicho evento concentrado en el tiempo y en el espacio. La diferencia entre ambos conceptos es muy clara pero necesitamos hacer hincapié en que su presencia se determina por los mismos factores, por lo que la parte importante en el desarrollo de un sistema de seguridad para la salvaguarda de la sociedad, claramente se verá favorecida por el análisis de riesgos cuyo principal aporte será el de identificar los factores que atentan en contra de la seguridad, el grado de peligrosidad que estos representan, así como la formulación y desarrollo de planes, medidas, acciones, y mecanismos tanto para la prevención de los desastres, como para la atención y restauración; planificando de esta manera las medidas de respuesta a los mismos, en el diagrama, fig. 1.4 se describe un algoritmo de evaluación de un programa de seguridad, en el que en la parte superior izquierda se localiza la parte importante del mismo en lo que a estudios de riesgos se refiere.

1.6. Propiedades de las sustancias que se manejan.

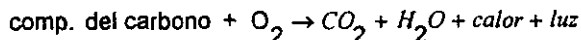
El conocimiento de las propiedades físicas, químicas, toxicológicas y de transporte ya sean de las materias primas, de los productos (intermedios y terminados) e incluso de los subproductos y de los desechos que se manejan

en cualquier instalación industrial, nos proporciona un antecedente del grado y tipo de peligro presente, la manera en que le podemos dar atención para contrarrestar sus efectos en caso de que se suscite un incidente, así como de los lineamientos para llevar a cabo un plan de restauración de las zonas afectadas.

Entre las propiedades que consideramos más importantes, citamos las siguientes con una breve definición de la misma:

- a) **Combustibilidad:** Es la capacidad que tiene un material de funcionar como combustible, es decir, que tienen la capacidad de inflamarse rápidamente y mantener el fuego. Son tres los elementos que deben estar presentes para que exista el fuego (combustible, comburente y energía), por lo que es posible extinguirlo eliminando uno de dichos elementos básicos.

El fuego es consecuencia del calor y la luz que se producen durante las reacciones químicas denominadas de combustión. La mayoría de las reacciones de combustión se llevan a cabo al combinarse el oxígeno del aire con un material combustible o inflamable el cual es por lo general un compuesto orgánico. La reacción general que se produce durante la combustión es la siguiente:



La combustión incompleta de los compuestos orgánicos produce monóxido de carbono y partículas de carbono, las que con pequeños fragmentos de material no quemado, causan humos. La formación del bióxido de carbono en la atmósfera hace difícil la respiración. La mayoría de las muertes en incendios son a consecuencia del efecto tóxico del humo y de los gases calientes y no como consecuencia de las quemaduras.

En general, la reacción de combustión reside en el oxígeno del aire para que este apoye a la combustión; sin embargo, algunos compuestos (por ejemplo celuloide, nitroglicerina, nitrocelulosa, cordita y el nitrato de amonio entre otros) contienen suficientes átomos de oxígeno en su estructura para quemarse sin la ayuda del aire y solamente requieren calor. Es importante mencionar que los materiales combustibles o inflamables no siempre reaccionan con el oxígeno para producir fuego; por ejemplo, el nitrógeno puede arder con materiales reactivos. De esta manera la posibilidad de que un material se queme depende de sus propiedades físicas, a la vez que de sus propiedades químicas.

- b) **Inflamabilidad:** Es la capacidad que tiene un material (gaseoso o líquido), para generar suficiente concentración de vapores combustibles bajo condiciones normales para encenderse y producir una llama. Por lo general, los materiales son inflamables únicamente en estado de vapor, son pocos los sólidos o líquidos que arden directamente. La formación de vapores procedentes de sólidos o líquidos se controla

fundamentalmente mediante su temperatura. En la prevención de fuegos, el conocimiento de la capacidad de un material para formar vapores y de la temperatura requerida para que dichos vapores se inflamen es muy importante. Además se debe de considerar la relación de combustible-aire (% de combustible en el aire) para mantener la combustión.

Existe una amplia gama de concentraciones de combustible en el aire para cada material, teniéndose una concentración óptima, para la ignición y para mantener la combustión; ésta es llamado el rango de inflamabilidad, que consta del "Límite Inferior de Inflamabilidad (LFL)" y el " Límite Superior de Inflamabilidad (UFL)".

Las concentraciones por debajo del LFL no son inflamables porque hay poco combustible, es decir, la mezcla es muy pobre en el elemento combustible. Análogamente las concentraciones por encima del UFL no son inflamables ya que hay un exceso de combustible desplazando al oxígeno (lo que da por resultado poco oxígeno) es decir, la mezcla es muy rica en el elemento combustible o muy pobre en el elemento comburente.

Las concentraciones de combustible entre el LFL y el UFL son óptimas para iniciar y mantener la combustión. El LFL es en general el valor más importante en relación al control de fuego y explosión por ser la situación de riesgo que tiene mayor probabilidad de incidencia. La formación de una mezcla de aire-vapor por encima del LFL hace que los contenedores de solvente inflamable "vacíos" sean más peligrosos

que los que están llenos. En un tanque lleno, la mezcla vapor/aire que hay por encima del líquido supera el LFL. Por otra parte es correcto considerar que un material inflamable es muy combustible ya que se puede quemar a la temperatura ambiente; sin embargo no cualquier material combustible se puede considerar como inflamable, puesto que puede que no sea fácil de encender y mantener la flama. Además, los límites de inflamabilidad y de explosividad son considerados como sinónimos.

Tabla 1.1. Compuestos y Elementos inflamables

LIQUIDOS INFLAMABLES	SÓLIDOS INFLAMABLES	LIQUIDOS REACTIVOS AL AGUA
♦ Aldehídos	♦ Potasio	♦ Fosfóricos
♦ Cetonas	♦ Sodio	♦ Compuestos organometálicos
♦ Aminas	♦ Litio	♦ Dimetilo de zinc
♦ Eteres	♦ Fósforo	♦ Terbutilo de aluminio
♦ Hidrocarburos alifáticos	♦ Polvo de magnesio	
♦ Hidrocarburos Aromáticos	♦ Polvo de circonio	
♦ Alcoholes	♦ Polvo de titanio	
♦ Nitroalifáticos	♦ Polvo de aluminio	
	♦ Polvo de zinc	

La temperatura a la cual una sustancia produce suficientes vapores inflamables para su ignición se le denomina temperatura de inflamación y en base a esta se pueden clasificar los materiales dentro de tres tipos:

- i) Muy inflamables: Punto de inflamación menor a los 100 °F
 - ii) Moderadamente inflamables: Punto de inflamación mayor a los 100 °F y menor de 200 °F
 - iii) Relativamente inflamable: Punto de inflamación mayor a los 200 °F
- c) **Explosividad:** Es la susceptibilidad de una sustancia a sufrir una transformación química muy rápida, produciendo grandes cantidades de gases y calor. Los gases producidos como el nitrógeno, oxígeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y vapor de agua, se expanden rápidamente a velocidades que exceden la velocidad del sonido; esto produce tanto una onda de choque (onda frontal de alta presión), como ruido.

Las explosiones pueden tener lugar como consecuencia de la acción de reacciones entre muchos productos químicos no considerados ordinariamente como explosivos.

En una explosión de gas o vapor, existe una liberación rápida y violenta de energía. Si la combustión es extremadamente rápida se liberan grandes cantidades de energía cinética, calor y productos gaseosos. El factor principal que contribuye para que se lleven a cabo

las explosiones es el confinamiento de una sustancia inflamable; cuando los vapores o gases no pueden dispersarse libremente, son más susceptibles de presentar una reacción de combustión más rápidamente. El confinamiento aumenta la energía asociada con estas moléculas, lo cual incrementa el proceso explosivo.

- d) **Toxicidad:** Un material tóxico es aquel que causa efectos nocivos a uno o varios organismos. La exposición a tales materiales no siempre produce resultados fatales pero sí provoca alteraciones.

Algunos de los efectos fisiológicos son: asfixia, sensibilización o irritabilidad alérgica, envenenamiento, mutagénesis, teratogénesis y carcinogénesis. La posibilidad de que el organismo sufra estos efectos no solo depende de la toxicidad inherente del material (medido por su dosis letal), sino también por la magnitud de la exposición (aguda o crónica) y la ruta de introducción al organismo (ingestión, inhalación, absorción cutánea, etc).

- e) **Corrosividad:** Es el proceso de degradación de un material, debido a la acción de un agente corrosivo, provocando un cambio químico destructivo en el material en el que está actuando. Técnicamente la corrosividad se define como la habilidad de un material de incrementar la concentración del ión hidrónico (H^+) o hidróxido (OH^-) de otro material; puede tener el potencial para transferir pares de electrones desde o hacia sí mismo u otra sustancia.

Tabla 1.2. Corrosivos

HALÓGENOS	ACIDOS	BASES
♦Bromo	♦Ácido Acético	♦Hidróxido de
♦Cloro	♦Ácido Hidroclórico	potasio
♦Fluor	♦Ácido	♦Hidróxido de
♦Iodo	Hidrofluorhídrico	sodio
♦Oxígeno (ozono)	♦Ácido Nítrico	
	♦Ácido Sulfúrico	

f) **Reactividad:** Un material es considerado como reactivo si sufre una cambio químico bajo condiciones específicas. Generalmente es aquella sustancia que sufre una reacción violenta o anormal en presencia del agua o bajo condiciones atmosféricas normales. Un ejemplo de reactividad es la inflamación de los líquidos pirofosfóricos, la cual ocurre al primer contacto con el aire a condiciones normales de temperatura o inclusive por debajo de la misma, sin la necesidad que exista calor adicional, golpes o fricción. Las reacciones químicas exotérmicas pueden ser más peligrosas si no se tiene un control adecuado de las mismas. Se debe tener presente:

i) El área superficial de los reactivos disponibles en el lugar de la reacción, por ejemplo un pedazo grande de carbón es combustible, pero el polvo de carbón es explosivo.

- ii) El estado físico del reactivo (sólido, líquido o gas).
 - iii). Concentración de los reactivos.
 - iv). Temperatura.
 - v). Presión.
 - vi). Presencia de un catalizador.
- g) **Compatibilidad:** Si dos o más materiales peligrosos permanecen en contacto indefinidamente sin reacción, son compatibles; sin embargo, la incompatibilidad no indica necesariamente un peligro (ácido + base = sal + agua). Por otra parte, la incompatibilidad de los materiales sí pueden representar algunos de los peligros que a continuación se listan:

Si los materiales son compatibles pueden ser almacenados juntos en tanques a granel o transferidos a camiones-tanque para su disposición final. Es necesario, por lo tanto, establecer la compatibilidad por medio de un análisis (PM, potencial oxido-reducción, punto de inflamación) antes de reunirlos. La información de la compatibilidad es muy importante en la evaluación de un accidente que comprende diversos materiales peligrosos. La manipulación y tratamiento final de los materiales puede estar basada parcialmente en tal información.

Tabla 1.3. Peligros por incompatibilidad

EFECTO DE LA REACCIÓN	MATERIALES INVOLUCRADOS
♦ Generación de calor	♦ Ácido y Agua
♦ Fuego	♦ Sulfuro de hidrógeno e hipoclorito de sodio
♦ Explosión	♦ Ácido pícrico e hidróxido de sodio
♦ Producción de gas o vapor tóxico	♦ Ácido sulfúrico y plástico
♦ Producción de gas o vapor inflamable	♦ Ácido y metal
♦ Formación de sustancias más tóxicas que los reactivos	♦ Cloro y amoníaco
♦ Formación de compuestos sensibles a la fricción o choque	♦ Ácido hidrocórico y cromo
♦ Presurización de recipientes cerrados	♦ Amoníaco y acrilonitrilo
♦ Solubilización de sustancias tóxicas	
♦ Polimerización violenta	

p) **Viscosidad:** La viscosidad expresa la facilidad que tiene un cuerpo para fluir cuando se le aplica una fuerza externa, la viscosidad absoluta de un fluido es una medida de su resistencia al desplazamiento (deslizamiento) o a sufrir deformaciones internas.

Experimentalmente se observa que al aumentar la temperatura, la viscosidad de los líquidos disminuye y la viscosidad de los gases aumenta. El efecto de la presión sobre la viscosidad de los líquidos es tan pequeña que no tiene interés práctico sin embargo, en el caso de los vapores saturados o poco recalentados la viscosidad es modificada considerablemente por cambios de presión.

Tabla 1.4. Energías de activación

SUSTANCIA QUÍMICA	TEMPERATURA DE AUTOIGNICIÓN AIT (OC)	ENERGÍA MINIMA DE IGNICIÓN MIE (MJ)	RANGO EXPERIMENT AL MÁXIMO DE SEGURIDAD MESG (MM)
Hidrógeno	560	0.019	0.29
Etileno	425	0.070	0.65
Propano	470	0.250	0.92
Disul. de carbono	95	0.009	0.37
Fluor	~450 (G:G)	~100	-
ABS	~450 (G:G)	~10	-
Sulfuro	~250 (G:G)	< 1	-

I) Solubilidad: Es la capacidad que tiene un sólido, líquido, vapor o gas de disolverse en un solvente. La solubilidad de un material es importante para determinar su reactividad, dispersión, mitigación y tratamiento. La solubilidad puede darse en partes por millón o en miligramos por mililitro.

J) Densidad y Gravedad Específica: Es la masa por unidad de volumen, expresada en g/cm^3 . La gravedad específica es la relación de la

densidad de una sustancia (a una temperatura dada) por la densidad de una sustancia de referencia (para líquidos se utiliza al agua como sustancia de referencia a la temperatura de 4°C , a la cual se determina su máxima densidad; para gases, la sustancia de referencia es el aire).

Numéricamente, la gravedad específica es igual a la densidad en g/cm^3 , pero es expresada como un número abstracto (cantidad adimensional). Si la gravedad específica de una sustancia es mayor que la unidad, (la gravedad específica del agua es igual a uno), se hundirá en el agua; de manera análoga, la sustancia flotará en el agua si su gravedad específica es menor de uno. Es muy importante considerar esta propiedad de los materiales al seleccionar métodos de mitigación y tratamiento.

k) Densidad de vapor: La densidad de un gas o vapor puede compararse con la densidad de la atmósfera del medio ambiente. Si la densidad del vapor es mayor que la del medio ambiente tenderá a asentarse por debajo del aire. Si la densidad es cercana a la del aire o es más baja que esta, el vapor o gas tenderá a disiparse en la atmósfera. Al asentarse los vapores densos, se generan los siguientes peligros:

i) Si el vapor desplaza suficiente aire como para reducir la concentración atmosférica del oxígeno a menos de 16%, provoca la asfixia.

- ii) Si el vapor es tóxico, se presentan problemas por inhalación, incluso no habiendo falta de oxígeno en la atmósfera.
 - iii) Si el vapor es una sustancia explosiva y muy densa, el peligro de explosión puede estar más bien cercano suelo.
- l). **Presión de vapor:** Es la presión ejercida por un vapor contra las paredes de un recipiente cerrado, dicha presión depende de la temperatura. Al incrementar la temperatura también se incrementa la presión del vapor, por lo que más líquido es vaporizado. Cuanto menor sea el punto de ebullición, mayor será la presión del vapor que se ejercerá a una temperatura dada
- m) **Punto de ebullición:** Es la temperatura a la cual un líquido cambia a la fase vapor, es decir, es la temperatura en la que la presión de vapor del líquido se iguala con la presión atmosférica. Una característica importante de las sustancias tóxicas es la forma en que estas pueden penetrar en el cuerpo. Con los líquidos de alto punto de ebullición, la manera más factible de ingresar al organismo es por contacto directo con el cuerpo, por otra parte los líquidos de punto de ebullición bajo, la ruta de ingreso mas común es por contacto cutáneo y por inhalación.
- n) **Punto de fusión:** Es la temperatura a la cual un sólido cambia de dicha fase al estado líquido y es equivalente a la temperatura de solidificación. Su importancia radica en que una sustancia puede mostrar propiedades totalmente diferentes dependiendo de su estado

físico. En una fase podría ser prácticamente inerte mientras que en otra se vería incrementada su reactividad.

- n) Presión y Temperatura críticos:** El estado crítico para la transición gas-líquido; es el conjunto de condiciones físicas a las cuales la densidad y otras propiedades del líquido y del vapor llegan a ser idénticas.

La temperatura crítica (T_c) determina si una sustancia pura puede o no existir como líquido. Por encima de la temperatura crítica, la energía de traslación de las moléculas es superior a la energía potencial máxima de atracción entre ellas y no es posible la condensación.

La presión de vapor de un gas a la temperatura crítica es la presión crítica (P_c). Los valores de T_c y P_c fijan el volumen crítico (V_c) y todas las demás propiedades en el estado crítico.

A temperaturas superiores a la crítica, y también a dicha temperatura, el gas no se puede licuar; por tanto las propiedades del gas y el líquido son idénticas.

- o) Higroscopía:** Este término aplica a las sustancias que tienen la propiedad de absorber humedad del ambiente. Muchos productos químicos secos son higroscópicos y deben ser guardados en botellas bien tapadas o en envases cerrados.

Las características físicas de las sustancias son considerablemente alteradas por efecto del vapor de agua.

- p) Viscosidad:** La viscosidad expresa la facilidad que tiene un cuerpo para fluir cuando se le aplica una fuerza externa, la viscosidad absoluta de

un fluido es una medida de su resistencia al desplazamiento (deslizamiento) o a sufrir deformaciones internas.

Experimentalmente se observa que al aumentar la temperatura, la viscosidad de los líquidos disminuye y la viscosidad de los gases aumenta. El efecto de la presión sobre la viscosidad de los líquidos es tan pequeña que no tiene interés práctico sin embargo, en el caso de los vapores saturados o poco recalentados la viscosidad es modificada considerablemente por cambios de presión.

CAPITULO II

ETAPAS EN EL ANALISIS DE PELIGROS

El análisis de peligros es una etapa esencial en el proceso de planeación así mismo, es de gran importancia en los programas de entrenamiento como por ejemplo en planes de contingencia. Podemos definir de manera general al análisis de peligros como un proceso de tres etapas que son fundamentales para la toma de decisiones, en la planeación de mecanismos de respuesta a emergencias, así como en los esfuerzos de prevención sobre eventos no deseados; para lo cual es necesario recopilar información de acontecimientos históricos indeseables que hayan ocurrido, determinando la probabilidad de ocurrencia así como la frecuencia de situaciones de emergencia. El análisis de peligros debe ayudar a los planificadores a identificar qué capacidad de respuesta adicional es necesaria; sirviendo a la vez como base para desarrollar o revisar los planes de respuesta a emergencias que son regulados por la normatividad vigente. Un proceso de análisis de peligros debe ser diseñado de tal forma que pueda considerar todos los peligros potenciales graves e identificar aquellos de mayor prioridad para poder direccionar viablemente cada plan de emergencia, estableciendo las medidas necesarias para el manejo de riesgos en las plantas o procesos que utilizan materiales altamente peligrosos o bien en proyectos que los utilizarán. Para lograr lo anterior, es necesario llevar a cabo las siguientes actividades.

2.1 Procedimiento general

El procedimiento general de una evaluación de peligros, considerando los accidentes potenciales que podrían surgir de un proceso químico, tiene los siguientes elementos:

1. Identificación de las fuentes de peligros y de eventos potencialmente peligrosos

2. Análisis de los mecanismos por medio de los cuales son identificados los eventos peligrosos que podrían ocurrir.
3. Evaluación de las consecuencias de los eventos peligrosos identificados (dichas consecuencias se refieren a las condiciones que son potencialmente dañinas, medidas en términos de: concentración de gas tóxico, radiación térmica, explosión por sobrepresión, etc.).
4. Evaluación de la probabilidad de que ocurran los eventos identificados como peligrosos
5. Evaluación del potencial del riesgo, a partir de los eventos peligrosos (el riesgo se refiere al nivel de probabilidad de que aparezca un daño, y es una combinación de la frecuencia y de las consecuencias de los eventos peligrosos; lo cual conlleva a considerar o calcular la probabilidad de exponerse a un peligro).
6. Consideración del grado del riesgo.

Este procedimiento general se puede considerar en tres etapas, las cuales conforman el análisis de peligros y que a continuación se describe:

Análisis de peligros

1. Identificación de peligros

2. Análisis de vulnerabilidad

3. Análisis de riesgos

Cada una de estas etapas contiene puntos importantes los cuales tienen que ser cubiertos en la realización del análisis de peligros.

Identificación de peligros.

- Localización
- Identificación de la sustancia química
- Cantidad
- Naturaleza del peligro

Análisis de vulnerabilidad.

- Poblaciones humanas
- Zona vulnerable
- Lugares críticos
- Medio Ambiente

Análisis de riesgos

- Probabilidad de que ocurra un daño
- Severidad de las consecuencias

2.2 Identificación de peligros.**2.2.1 Objetivo de la identificación de peligros.**

Proporcionar información sobre la identificación, las cantidades de materiales peligrosos que se encuentran en la comunidad, la localización de los sitios en donde se producen, se usan, procesan o almacenan; las propiedades físicas y químicas de las sustancias; las condiciones de almacenamiento; las rutas de transporte y la naturaleza de los peligros asociados que pueden dañar a la vida, la propiedad y el medio ambiente.

2.2.2 Lineamientos generales para la identificación de peligros

Si queremos conocer los peligros que pueden ser inherentes a un proceso químico, se deben definir los materiales que se manejan y producen, así como sus cantidades y sus interacciones, cómo se da en el diagrama de flujo de proceso, y además la temperatura, presión, concentración y tiempo de residencia. Debemos en primer lugar verificar las propiedades peligrosas de los materiales manejados y establecer por investigación experimental, si estas no son conocidas.

En una primera revisión, podríamos llegar a encontrar un número alto de peligros básicos diferentes, aun para un simple proceso como el que se muestra en la figura 2.1.

El primer paso en la identificación de estos peligros, es comparar las propiedades peligrosas y el estado de nuestros materiales; como se realiza en numerosos experimentos con los parámetros de proceso (en particular: presión, temperatura y concentración). Para escoger los parámetros de procesos apropiados, debemos estar seguros de que ninguno de los peligros básicos identificados, se presente durante la operación normal.

Este objetivo puede ser alcanzado por medio de un plan que prevenga el escape de materiales volátiles y debe permitir escoger los parámetros de proceso que aseguren que los materiales inflamables no puedan alcanzar su punto de ignición y que los posibles desprendimientos de energía de una reacción química en algún momento sea lo suficientemente baja para que pueda ser controlada; por ejemplo por medio de un enfriamiento normal. Estos recursos son los que podrían limitarlo, por ejemplo temperatura y concentración para fijar valores máximos seguros, y con esto mantener en orden la proporción de una reacción indeseable, cerca de cero.

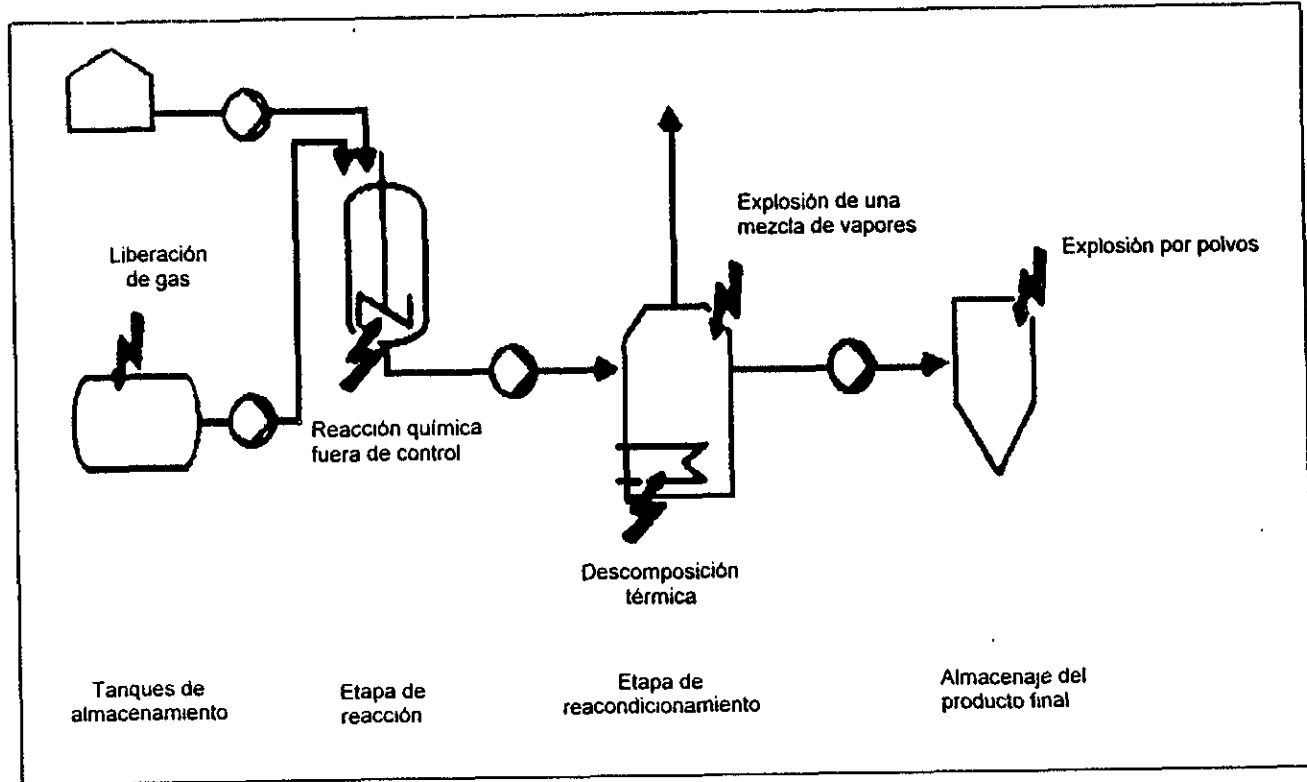


Fig. 2.1 Peligros típicos en un proceso químico

Cualquier proceso químico esta sujeto a diferentes etapas, por ejemplo:

- Arranque
- Operación normal
- Paros de trabajo
- Mantenimiento de equipo

Se requiere la intervención en gran medida del factor humano los cuales incrementan la posibilidad de error. Además, el proceso debe contar con un correcto funcionamiento de los equipos, los cuales también pueden fallar.

La tarea principal en la identificación de todos los posibles peligros en un proceso químico es por consiguiente el inicio a través de todas las etapas mencionadas anteriormente y para la investigación de todas las posibles vías por las cuales los peligros pueden ser accionados. Mientras que estos hechos se tengan que anticipar al error humano y sus consecuencias, se deben inspeccionar las posibles fallas del equipo para determinar sus consecuencias. Todo esto es un trabajo arduo, el cual solamente puede ser realizado si se aplica un procedimiento riguroso.

2.2.3. Información requerida en la identificación de peligros

La identificación de peligros, es la primera etapa en el análisis de peligros, es el proceso de recolección de información sobre:

- Los tipos y cantidades de materiales peligrosos en una comunidad.
- La localización de los lugares que usan, producen, procesan o almacenan materiales peligrosos

- Condiciones de manufactura, almacenaje, procesado y uso.
- Rutas de transportación usadas para trasladar materiales peligrosos; y.
- Peligros potenciales asociados con derrames o fugas.

La información derivada a partir de la identificación de peligros puede subsecuentemente ser usada en el análisis de vulnerabilidad y en el análisis de riesgos.

Los peligros son situaciones que tienen el potencial para causar daño a la vida y/o a la propiedad y al medio ambiente. Las sustancias químicas pueden ser potencialmente peligrosas, debido a su toxicidad o a sus propiedades físico-químicas, como por ejemplo: inflamabilidad y reactividad. En la identificación de peligros, en forma más específica se debe de obtener la siguiente información:

1. Identificación de la sustancia química. Incluye el nombre químico y el número CAS (Chemical Abstrac Service), número para las sustancias que no son restringidas comercialmente.

2. Las cantidades de las sustancias extremadamente peligrosas (EHS) normalmente presentes, incluyendo:

a) Cantidad total de cada EHS en el lugar. La cantidad de la sustancia química puede variar de un día a otro, dependiendo de las operaciones. Se debe determinar la cantidad que es típicamente manejada en algún día dado. Esta información es necesaria para evaluar el impacto potencial si ocurre un accidente y que involucre esta cantidad.

b) La cantidad máxima que puede estar presente en cada almacenaje ó lugar de procesamiento. Se puede usar la misma sustancia química en diferentes situaciones y tener la capacidad para almacenar más de lo que típicamente se maneja. Los peligros asociados con la cantidad máxima puede ser muy diferente, a los peligros asociados con la cantidad normalmente empleada.

c) La configuración del almacenaje. Incluyendo la cantidad potencial máxima en un solo almacén ó recipiente de proceso. Algunos lugares manejan cantidades de sustancias químicas en recipientes de almacenaje aislados, algunos otros pueden tener dos o más recipientes interconectados, para lograr una gran flexibilidad en la capacidad de almacenamiento. Esto último hace posible, que al originarse un accidente, un recipiente involucrará a los demás que están interconectados. La cantidad potencial máxima en un solo recipiente o en un grupo de recipientes interconectados puede ser conocida, y con esto se pueden estimar el impacto que puede tener una fuga accidental de dicho material.

3. Si la sustancia química a identificar es considerada como confidencial o que sea restringida comercialmente; la información puede obtenerse a partir de ciertas propiedades de la sustancia. Permitiendo que el análisis de peligros proceda, esta además debe incluir:

a) Estado físico; condiciones ambientales (temperatura del lugar y presión atmosférica); el estado de agregación de la sustancia (gas, líquido o sólido); si es sólido, ¿éste es un polvo (con tamaño de partícula menor a 100 micras) en solución o fundido?

La efectividad de la etapa de identificación de peligros podrá ser evaluada mediante el grado de satisfacción en la respuesta a los siguientes cuestionamientos los cuales estan en función de lo anteriormente expuesto. ¿Dónde, dentro de la planta o sistema de operación, existe la posibilidad de que ocurra un accidente grave como resultado de una de las rutinas normales de operación, como puede ser: un incendio, una explosión, una liberación o derrame de productos químicos tóxicos?

- ¿Está lo suficientemente lejos cualquier punto "débil" de las instalaciones industriales vecinas de tal manera que se evite un efecto "dominó", donde una falla en un punto acarrea fallas más graves en otra parte?
- ¿La zona en cuestión está lo suficientemente alejada de la comunidad circundante (casas, escuelas, hospitales, vías públicas, etc.)?
- Permite el diseño y la disposición de la planta o el sistema de operación de una empresa, que los efectos de accidentes menores se limiten sin riesgo de que se propague en el resto de la planta o de áreas circundantes?
- ¿Qué tan adecuados son los recursos y sus arreglos para controlar la emergencia previsible más grave?

Toda la información derivada de la identificación de peligros será utilizada subsecuentemente en el análisis de vulnerabilidad y en el análisis de riesgos.

b) La presión de vapor aproximada (en mm de Hg ó atm.). Si la sustancia es un líquido o es un sólido manejado en forma fundida; para el líquido, la presión de vapor a la temperatura de proceso puede ser obtenida, mientras que la presión de vapor para el sólido fundido puede ser obtenida por medio del punto de fusión.

c) Nivel aproximado de afectación (LOC). Es la concentración de sustancia extremadamente peligrosa (EHS) en el aire, a la cual se pueden tener efectos serios o irreversibles a la salud o causar la muerte como resultado de una sola exposición durante un período de tiempo relativamente corto. La determinación de esta concentración en el aire, en gr/m^3 , es necesaria como dato en el análisis de la zona vulnerable. El valor aproximado calculado, puede ser lo suficientemente pequeño como para no alterar significativamente el tamaño de la zona vulnerable estimada.

4. Las condiciones bajo las cuales las sustancias químicas son procesadas, manejadas o almacenadas, incluyen:

a) Temperatura. Los lugares pueden tener ciertas sustancias a diferentes temperaturas, algunas otras a temperatura ambiente, dependiendo de su uso.

b). Presión. Algunas sustancias pueden ser almacenadas bajo presión (por ejemplo: los gases licuados).

c) Otras características únicas sobre el manejo de los sistemas empleados en manufactura, procesado, almacenaje, u otra forma en que se manipulen las sustancias en el lugar. Esta información es útil para el análisis de riesgos.

2.2.4 Métodos para la identificación de peligros

Para la identificación de peligros se cuenta con una serie de métodos, algunos de ellos se mencionan en seguida bajo una clasificación generalizada y más adelante, en capítulos posteriores se describirán más detalladamente.

EXPERIENCIA

1. Publicación de "tópicos de seguridad".
2. Estándares de diseño.
3. Reuniones de grupos interdisciplinarios para revisiones de seguridad.
4. ¿Qué pasa si...? Análisis de causa-consecuencia.

ANALITICOS

1. Árboles lógicos (redes lógicas)
 - Árbol de eventos
 - Árbol de fallas.
 - Diagramas de causa-consecuencia
2. Lista de inspección.

CREATIVOS

1. Tormenta de ideas.
2. Estudio de riesgo y operabilidad (HAZOP).
 - Palabras guía.
 - Lista de inspección.

I. EXPERIENCIA.

1. Publicación de "tópicos de seguridad". Recolección y descripción de incidentes que son publicados periódicamente.

2. Estándares de diseño. Elaboración de estándares de diseño, códigos y procedimientos o bien aprovechar los que organismos internacionales ya han desarrollado para aplicarlos a equipos o procesos específicos.

3. Reuniones de grupos multidisciplinarios para revisiones de seguridad. Reuniones para revisión y discusión de aspectos de seguridad, a las que asisten especialistas de todas las áreas incluyendo las de seguridad.

4. ¿Qué pasa si...?. Sólo se hacen preguntas "¿qué pasa si...?" para cada operación a fin de detectar los efectos de alguna falla en los equipos, o errores en la operación de procesos. Se elabora un reporte en el que se incluyen sugerencias, medidas correctivas y alternativas. El reporte es enviado a los directivos para su revisión y seguimiento.

II. ANALITICOS.

1. ARBOLES LOGICOS

a) Arbol de fallas.

Se define un incidente de riesgo, tal como "fuego", "ruptura de recipiente", etc. como "evento tope o primer evento. La combinación lógica de las fallas que pueden conducir u ocasionar este "evento tope" son estructuradas y analizadas en forma de árbol.

b) Arbol de Eventos.

Trabaja en el sentido opuesto al árbol de fallas. Se empieza con un evento inicial y se exploran sus consecuencias para determinar si puede originar un "evento tope".

c) Diagrama de Causa-Consecuencia.

Es una combinación del árbol de fallas y eventos, se hace una descripción más detallada en la sección de evaluación de riesgos.

2. LISTA DE INSPECCION.

Elaboración de listas de inspección que pueden ser divididas por áreas como: edificios, procesos, equipos, etc., o por proyectos específicos como: control ambiental, protección contra incendio, etc.

III. CREATIVOS.**1. TORMENTA DE IDEAS.**

Es una actividad en grupo, que se realiza a través de reuniones de media hora, en las cuales se clasifican y evalúan todos los caminos propuestos por el grupo para identificar un riesgo o resolver un problema. El objetivo es obtener todas las ideas que sea posible, las cuales son clasificadas y evaluadas al finalizar la sesión.

2. ESTUDIOS DE RIESGO Y OPERABILIDAD (HAZOP).

Este tipo de estudios se basa en el principio de que todos los riesgos "intrínsecos" (originados por el mal funcionamiento o mala operación de una unidad), son causados por "desviaciones" de las intenciones del diseño del equipo u operación. Si se identifican las posibles desviaciones se puede identificar los riesgos que originan.

a) HAZOP Basado en "palabras Guía".

El método consiste en crear una imagen del tipo específico de desviación, acoplando las palabras guía con la intención de diseño u operación de una unidad. Una vez que se exponen las desviaciones, se exploran las consecuencias para identificar los riesgos.

Existen siete formas en las que se puede desviar un sistema, las cuales están identificadas y asociadas por las "palabras guía".

•NO

•PARTE DE

•MAS

•REGRESO (U OPUESTO)

•MENOS

•MAS QUE

•TANTO COMO

b) HAZOP Basado en "Listas de Inspección"

Se determina la sección de la unidad que se va a estudiar y se prepara una lista de todos los materiales presentes en ella. Se aplica una lista de verificación de riesgos de cada material, y se toma nota de todos los riesgos asociados a cada uno y la intensidad numérica de cada riesgo. Entonces se aplica una "Lista de creatividad de riesgos" para formar una "imagen hipotética" de cada riesgo en particular. Para eso se analizan y se formulan una serie de preguntas prácticas sobre:

- Incendio
- Radiación
- Explosión
- Energía mecánica
- Detonación
- Energía Eléctrica
- Energía Química
- Toxicidad
- Energía térmica
- Corrosión
- Presión
- Seguridad
- Molestias (ruido, olores, etc.)
- Efuentes
- Riesgos provenientes del ambiente
(temblores, inundaciones, etc.)

2.3 Análisis de vulnerabilidad

El análisis de vulnerabilidad es la segunda etapa en el análisis de peligros, y es en la cual se determina la susceptibilidad que tiene una zona para que en ella ocurra un desastre, y su posible encadenamiento con las áreas circundantes; es decir, que los efectos de un accidente se pudieran extender más allá de los límites de una planta química, alcanzando áreas de alguna comunidad.

Cuando se dirige un análisis de vulnerabilidad, el analista identifica la zona geográfica de la comunidad que puede ser afectada por la presencia de un peligro potencial, la población que está sujeta a daños, las instalaciones susceptibles así como propiedades y sistemas ambientales que pueden ser dañados.

El análisis de vulnerabilidad, provee información que es útil para los requerimientos de un plan. Esta información incluye:

- 1) Una estimación de la zona vulnerable para cada sustancia extremadamente peligrosa (EHS) reportada y las condiciones, al igual que las suposiciones que fueron hechas para estimar cada zona vulnerable.
- 2) La población en términos de número y tipos (ejemplo: residentes; densidad de población transiente como son: trabajadores y espectadores en auditorios o estadios; poblaciones sensibles en hospitales, escuelas, guarderías y centros de cuidado) que pueden ser considerados dentro de las zonas vulnerables.
- 3) Los lugares de servicio esencial como son Hospitales, estación de policía y de bomberos, centros de respuesta a emergencia y centros de comunicación.

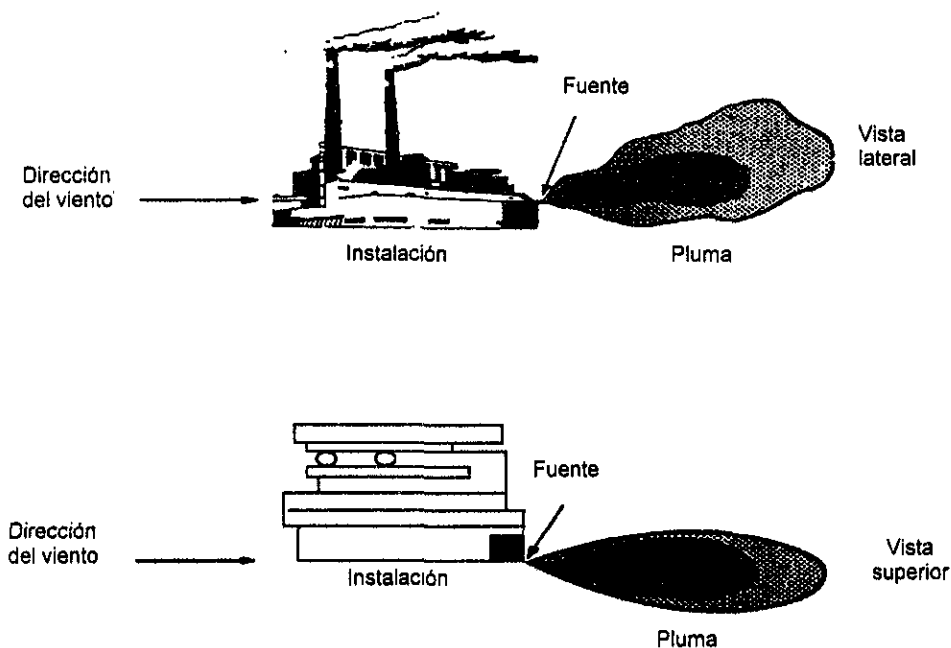
2.3.1 Descripción general para la estimación de la zona vulnerable.

Una zona vulnerable, es un área estimada geográficamente, que puede estar sujeta a concentraciones de una sustancia extremadamente peligrosa (EHS) y cuyos niveles pueden causar efectos irreversibles a la salud o la muerte en poblaciones humanas, dentro del área donde se presenta una fuga accidental. La determinación de las zonas vulnerables, se basa en la estimación de la cantidad de EHS que se desprende al aire, la

proporción del desprendimiento, la dispersión y la concentración en el aire, que puede causar efectos irreversibles a la salud o la muerte. Las metodologías para determinar el desprendimiento y la dispersión, no son precisas y proporcionan únicamente una aproximación acerca de las distancias y de las áreas que pueden ser afectadas por una fuga accidental. Muchos métodos son viables para evaluar tanto las fugas como la dispersión en el aire, estos varían en las suposiciones que hacen y por lo tanto los resultados obtenidos pueden diferir.

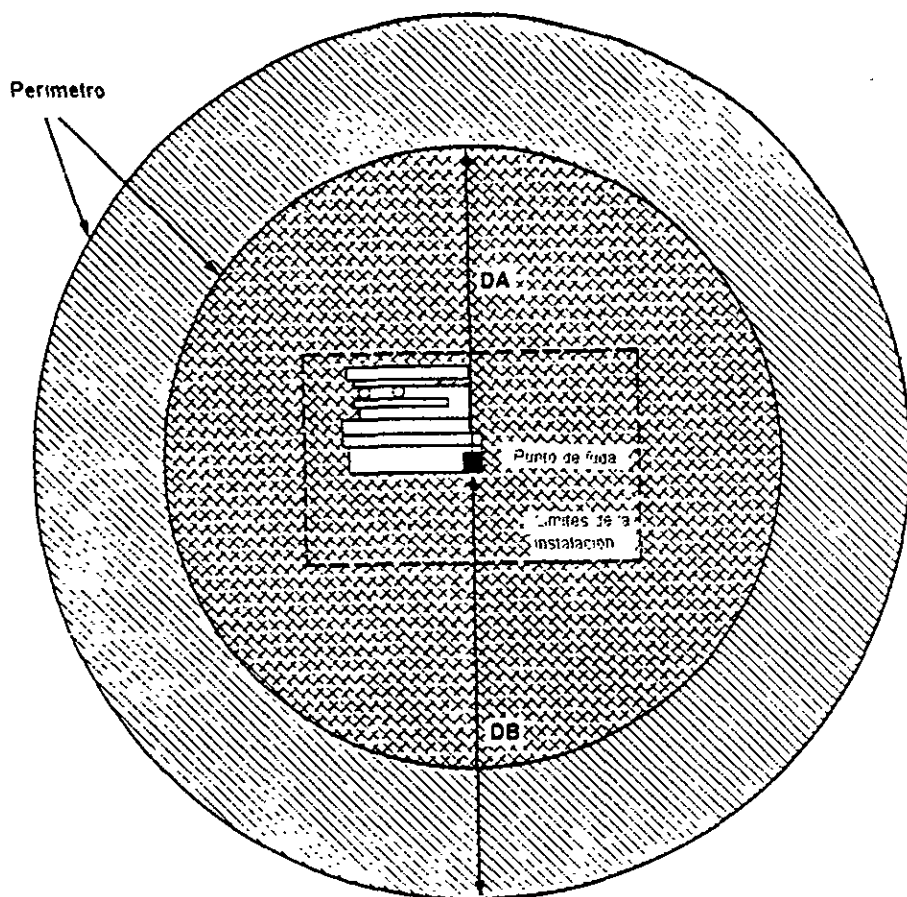
Cuando ocurre una liberación accidental, con el viento moviéndose generalmente en una sola dirección, el área afectada por el desprendimiento es el área bajo dicha dirección únicamente. Pero debido a que la dirección del viento durante el tiempo en el que ocurre una fuga accidental, no puede predecirse, se debe considerar todas las posibles direcciones del viento y su subsecuente pluma que nos da la trayectoria (una pluma es la formación de una nube de sustancia química que resulta de una fuga al mezclarse el material con el aire y ser transportado por el mismo, ver figura 2.2). Consecuentemente las zonas vulnerables estimadas son áreas circulares en donde el potencial de que ocurra una liberación se incrementa en el centro (figura 2.3). Debido a que no es posible predecir la ubicación exacta de los accidentes ocasionados por el transporte de EHS, la estimación de la zona vulnerable para una liberación potencial asociado con la transportación de una EHS, es un círculo al rededor de la unidad en movimiento (figura 2.4).

El tamaño de una zona vulnerable depende de la distancia que recorre la sustancia química liberada, antes de que se disperse o se diluya en el aire a una concentración por debajo del nivel límite o "nivel umbral", para generar efectos agudos a la salud o causar la muerte. Esta distancia depende de diferentes variables.



Nota: El movimiento de la pluma es en la misma dirección que el viento, tendiendo a ser más alargada y su concentración es cada vez menor conforme se desplaza el viento. Esto debido a la dispersión de la sustancia

Fig. 2.2 Movimiento de la pluma de una sustancia extremadamente peligrosa. Seguimiento de una fuga accidental



Estimación de la zona vulnerable para la sustancia A



Estimación de la zona vulnerable para la sustancia B

DA Distancia a partir del sitio de la fuga al punto en el que la concentración de la sustancia en el aire es igual al nivel límite para la sustancia A

DB Distancia a partir del sitio de la fuga al punto en el que la concentración de la sustancia en el aire es igual al nivel límite para la sustancia B

Nota: Las diferencias para las zonas vulnerables estimadas para las sustancias A y B bajo condiciones meteorológicas idénticas puede deberse a la cantidad liberada, velocidad con la que se libera (volatilización), nivel de afectación (nivel umbral) o una combinación de todas estas variables

Fig. 2.3 Zonas vulnerables a lo largo de una ruta de transporte en la que puede ocurrir la fuga de las sustancias A y B

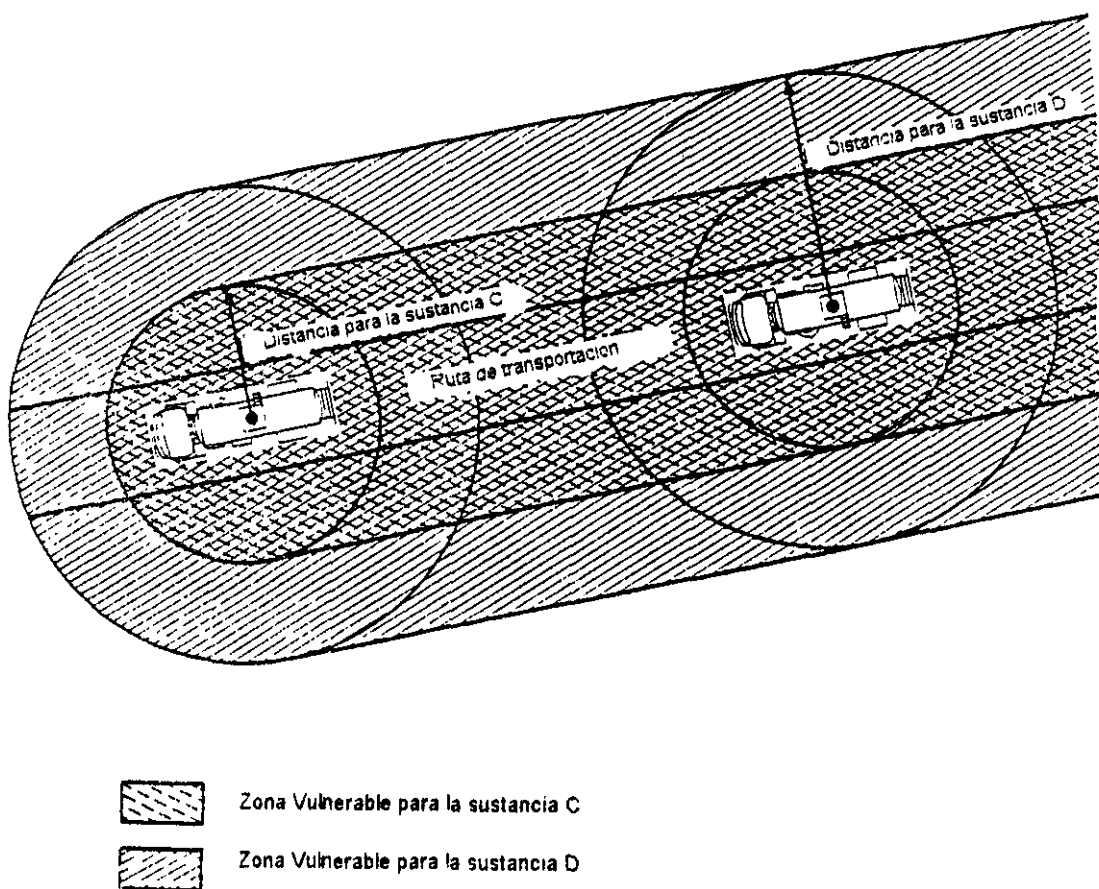


Fig. 2.4 Zonas vulnerables resultantes de una fuga de las sustancias C y D

2.3.2 Variables en la estimación del tamaño de la zona vulnerable.

Los factores más importantes que afectan el tamaño de la zona vulnerable son los siguientes:

a) Cantidad y proporción del material liberado al aire.

No todos los desprendimientos químicos podrán necesariamente llegar a ser transportados por el aire, la cantidad que se necesita para que llegue a ser transportada y la proporción a la cual se difunde en el aire depende de:

- La cantidad que se fuga o se derrama.
- El estado de agregación (sólido, líquido o gas).
- Las condiciones (por ejemplo: temperatura, presión) bajo las cuales la sustancia química es almacenada o manejada.

Típicamente los gases se difunden más fácilmente en el aire que los líquidos. Los líquidos y sólidos fundidos generalmente llegan a difundirse en el aire por evaporación. La cantidad que puede llegar a ser transportada por el aire (proporción de volatilización) depende de su presión de vapor, del peso molecular, la temperatura a la que se maneja, área superficial del derrame (tamaño de la mancha) y de la velocidad del viento, en el momento del derrame. Un líquido derramado con una presión de vapor alta, puede llegar a ser transportado por el aire (a través de evaporación) más rápidamente que un líquido con una presión de vapor baja, a la misma temperatura. Además un líquido puede ser evaporado más rápidamente si el área superficial o el tamaño de la mancha formada por el derrame se incrementa, si se encuentra a una temperatura más alta que la del ambiente y si está expuesta a grandes velocidades del viento. Los sólidos fundidos pueden volatilizarse más fácilmente que los que se encuentran en dicho estado. Los

sólidos, como los polvos, probablemente pueden ser transportados por el aire, solamente si son impulsados (al medio ambiente) por una fuerza, como por ejemplo la generada por la onda de choque de una explosión o por la pérdida de aire en la filtración en un sistema de transporte neumático. Los sólidos que no se encuentran en forma de polvos tienen menor probabilidad de ser transportados por el aire.

En resumen, la magnitud de una zona vulnerable esta en función de la cantidad de material liberado y de la proporción de este con respecto al aire. Para pequeños volúmenes derramados, se basa en suposiciones similares. Al producirse un bajo porcentaje de derrame o fuga se reduce el tamaño de la zona vulnerable estimada.

b) Condiciones meteorológicas

Dentro de los muchos factores meteorológicos, tenemos la velocidad del viento y la estabilidad atmosférica, que son los que tienen un gran efecto en la estimación del tamaño de la zona vulnerable. Incrementando la velocidad del viento y si se encuentra acompañado de una disminución en la estabilidad atmosférica, dará como resultado una gran dispersión en el medio ambiente (dilución) de una sustancia química, resultando un decremento en el tamaño de la zona vulnerable estimada.

c) Topografía circundante

La topografía del área circundante al sitio en donde puede ocurrir un derrame o fuga potencial, afectará el tamaño de la zona vulnerable estimada.

Los principales factores topográficos son las obstrucciones naturales como cerros, montañas y las estructuras hechas por el hombre, como los grandes edificios.

d) Niveles de concentración

Un nivel límite de afectación (LOC), es definido como la concentración de una sustancia extremadamente peligrosa (EHS) en el aire, por arriba de la cual puede coaccionar efectos irreversibles a la salud o causar la muerte, como resultado de una sola exposición durante un periodo de tiempo relativamente corto.

Un límite de afectación puede ser estimado, a partir de los IDLH (nivel inmediatamente peligrosos ala vida y a la salud), publicados por el instituto nacional de salud y seguridad ocupacional (NIOSH); a partir de las aproximaciones de los IDLH, que son obtenidos por pruebas de toxicidad en animales de laboratorio. Otras guías de exposición que pueden ser utilizadas son los "valores limite umbral" (TLV), publicados por la conferencia americana del gobierno e higienistas industriales (ACGIH), y las guías de planeación de respuestas a emergencias (ERPGs) desarrolladas por un consorcio de compañías de la industria química.

2.3.3 Análisis de las consecuencias.

Existe una gran cantidad de información que permite estimar las consecuencias de eventos peligrosos, que involucran el escape de sustancias tóxicas, flamables o el desprendimiento repentino de energía. Las estimaciones pueden ser hechas por comparación con incidentes actuales, pruebas o por cálculos. A través de los métodos de cálculo casi siempre se pueden hacer algunas suposiciones exactas al igual que las simplificaciones que frecuentemente son requeridas; así mismo debe ser apreciado que la exactitud de los resultados puede ser limitada.

Dentro de un procedimiento general se define primero el término "origen", que es la cantidad o velocidad de escape del material, a partir de este punto el cálculo para determinar los efectos se van realizando hacia fuera de la zona determinada, usando métodos y criterios apropiados para este fin; por ejemplo, el "rango de peligro" para definir el nivel de daño (ver fig. 2.5). La tabla 2.1 da algunos criterios típicos.

Una vez determinada la fuente o el origen, se define la falla que puede ocurrir (por ejemplo la fractura de alguna tubería o un recipiente, etc.) y con esto se inician los cálculos apropiados para el flujo del fluido, ya sea en una o dos fases. El régimen de flujo es importante para determinar el rumbo del peligro, para una presión y un tamaño de abertura dados. El flujo másico del escape puede ser aproximadamente cuatro veces menor si ocurre solamente el flujo del líquido que se encuentra en las dos fases, y aproximadamente cuatro veces menor si el flujo fuera solamente vapor.

Los cálculos realizados para el punto de origen (fuente a partir de la cual se genera el escape) puede servir para calcular la vaporización de la descarga del líquido, que puede ser inmediatamente inflamado o evaporarse después de una cantidad acumulada. Las condiciones pueden cambiar con el tiempo y por lo cual se deben de incluir medidas de acción para tratar de detener el flujo del fluido que se escapa; la figura 2.6 muestra un ejemplo.

15

Tabla 2.1. Criterios típicos, usados para estimar la extensión del daño que proviene de eventos peligrosos

	ALTA PROBABILIDAD DE MUERTE	INICIO DE FATALIDAD	INICIO DEL DAÑO
Explosión (sobre presión)	0.3 - 0.5 bar	0.1 - 0.2 bar	0.03 - 0.06 bar
BLEVE/Bola de fuego	450 - 600 Kj/m ²	200 - 300 Kj/m ²	50 - 100 Kj/m ²
Nube de vapor tóxico	LC ₅₀ *	LC ₁₀ *	IDLH*

LC₅₀* Concentración probable, para causar la muerte del 50% de los que se exponen

LC₁₀* Concentración probable, para causar la muerte del 10% de los que se exponen

IDLH* Concentración inmediatamente peligrosa a la vida y a la salud

Una vez definida la fuente, el análisis subsecuente, depende principalmente en saber si el peligro es por flamabilidad o toxicidad.

Si la liberación es la de un vapor flamable, varios resultados pueden ser posibles; por ejemplo, si la ignición es rápida, el fuego puede ser el resultado; si la ignición es más retardada es más probable que se presente una explosión. Un análisis de árbol de eventos puede ayudar a predecir cuál será el resultado (ver fig 2.7).

Cuando el fuego es el evento peligroso, ya sea en forma de flama o bolas de fuego, existen métodos adecuados para predecir el flux de la radiación térmica o la concentración que se tiene a una cierta distancia a partir de la fuente del peligro. Cuando la explosión es el evento peligroso, algunos métodos permiten predecir la probabilidad de que la energía pueda ser liberada, además de que la sobrepresión puede ser generada por una onda de choque. En ambos casos los "rangos de peligros" pueden ser estimados.

Para el caso de que la fuga sea la de un vapor tóxico, el análisis debe involucrar los cálculos sobre la dispersión del gas, para predecir su concentración que puede tener a ciertas distancias a partir de la fuente del peligro. Los trabajos recientes han tratado de refinar los modelos sobre dispersión de gases, particularmente los llamados modelos de "gas denso"; los cuales pueden usarse cuando el vapor es igual de denso que el aire. Sin embargo, para estos modelos se tienen que hacer muchas suposiciones y son más válidos para casos ideales que para situaciones reales, en donde para una situación dada, las obstrucciones de los edificios y árboles pueden afectar la dispersión que en ese momento ocurra. La dispersión del gas depende de la velocidad del viento y de las condiciones ambientales (estabilidad atmosférica), lo cual puede ser una dificultad para especificar el rango máximo del peligro (ver figura 2.8).

Los cálculos para la dispersión de un gas, da una aproximación del rango de los peligros para diferentes gases tóxicos; dadas un conjunto de circunstancias, las áreas son similarmente afectadas por las concentraciones

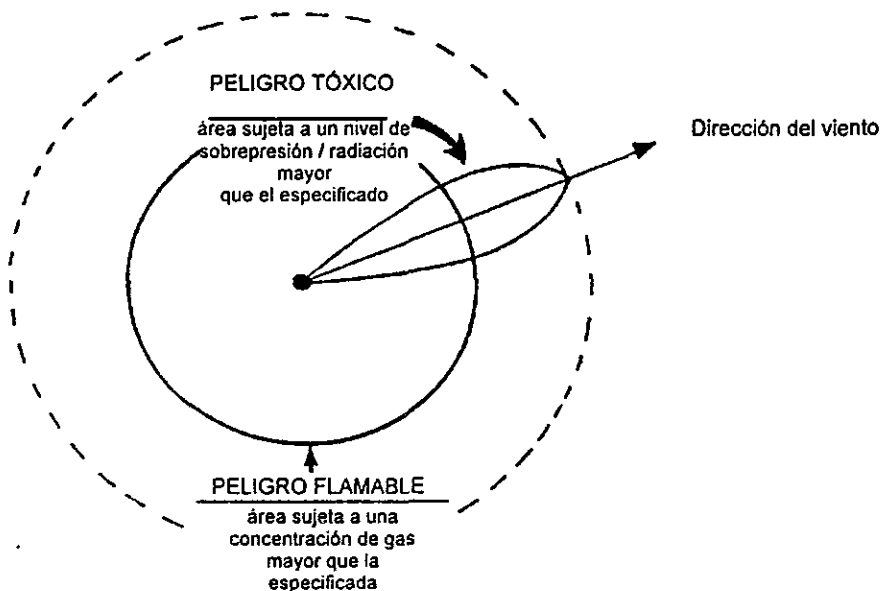
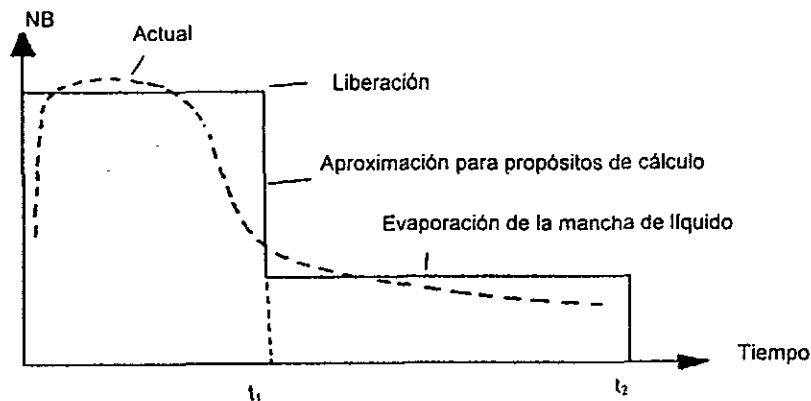
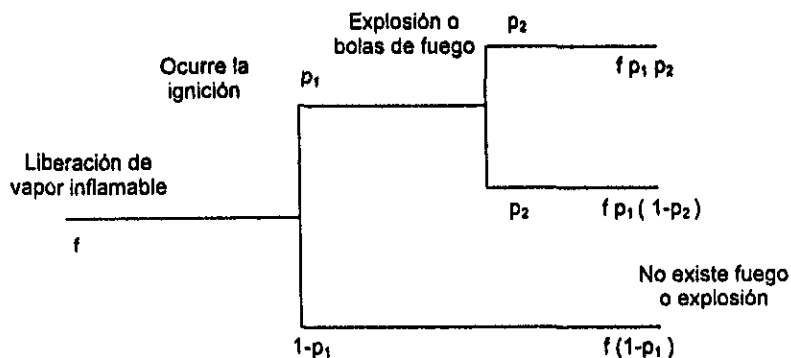


Fig. 2.5 Análisis de las consecuencias - rango de peligros y área afectada



t_1 : tiempo para detener el derrame o tiempo de descarga de la sustancia almacenada
 t_2 : tiempo en el que se evapora todo el derrame

Fig. 2.6 Evolución de la evaporación del derrame de un líquido altamente volátil (NB no tiene escala)



f = Frecuencia de liberación
 p_1 = Probabilidad de ignición
 p_2 = Probabilidad de explosión (ignición retardada)

Fig. 2.7 Árbol de eventos mostrando diferentes consecuencias a partir de la liberación de vapor inflamable

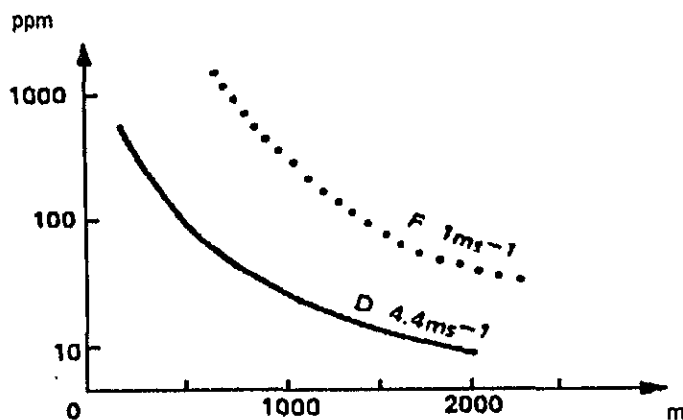


Fig. 2.8 Estimación de la variación en la concentración de gas tóxico con la distancia a partir del punto de liberación; para dos tipos de estabilidad atmosférica y velocidad del viento (F inversión, D neutra)

de gases que son capaces de producir efectos similares. La tabla 2.2 muestra los resultados obtenidos a partir de la fuga de 1 kg/seg de diferentes gases tóxicos. Similarmente variando las condiciones (por ejemplo la cantidad del gas) las situaciones tienen el mismo grado de peligro (el área afectada es similar), pudiendo ser definidas (ver ejemplo, fósgeno/cloro en la tabla 2.2).

Tabla 2.2 Comparación de los efectos para diferentes gases tóxicos

Área de afectación / hectáreas (10^4 m^2)

GAS TÓXICO	IRRITACIÓN SEVERA (HUMANOS)	LC ₅₀ VALOR INFERIOR (ANIMALES)
Amoniaco	0.44	0.14
Cloro	5.1	0.26
Fósgeno	18.3 (5.1*)	0.39
MIC	47.6	18.6

Bases:

- Emisión de 1 kg/seg
- Velocidad del viento 4.4 m/s
- Condición atmosférica categoría D

Nota: Estos valores no se derivan de una revisión crítica de todos los datos disponibles, por lo tanto no pueden ser tomados como un indicador definitivo de los peligros relativos.

- Área para una emisión de 0.3 kg/s

2.3.4 Modelos de dispersión.

El análisis de dispersión provee los medios por los cuales, la concentración de un gas peligroso puede ser estimada tanto dentro como fuera de los límites de la planta, dando las bases para la cuantificación del riesgo.

Los procesos físicos involucrados en la emisión y dispersión de muchas sustancias químicas peligrosas, son muy complejos. La complejidad del problema se deriva de la gran cantidad de posibles escenarios, durante la liberación y dispersión, que pueden existir en una instalación dada. A diferencia de la dispersión de contaminantes emitidos a partir de una fuente bien definida y casi en estado estacionario, por ejemplo una planta de energía, en la cual también en cualquier momento puede ser difícil de establecer correctamente el modelo; las liberaciones de las sustancias químicas peligrosas no están típicamente bien definidas y se encuentran en estado transiente. Las fugas pueden ser instantáneas o continuas a partir de los recipientes o tuberías que contienen o transportan gases a presión, líquidos refrigerados o presurizados, líquidos contenidos a presión y temperatura ambiente, dando como resultado emisiones de vapor que pueden ser o no ser transportadas por el aire. Las emisiones de vapor pueden estar en estado estacionario relativo o pueden variar con el tiempo, si parten de un recipiente presurizado o a partir de una mancha de líquido que se evapora. Las liberaciones pueden involucrar cambios de fase e interacciones termodinámicas con el medio ambiente, con la posibilidad de que el líquido se desprende en forma de lluvia a partir de una pluma. Con frecuencia, la estructura de la planta y las irregularidades del terreno afectan significativamente el comportamiento de las sustancias

químicas que se escapan, dando una futura complicación al proceso de evaluación.

a) Definición de la Fuente

El primer paso en cualquier análisis de dispersión es la caracterización de la fuente, en donde se puede tener un desprendimiento potencial de vapor.

Las liberaciones pueden originarse a partir de un gran número de componentes de la planta, incluyendo tanques de almacenamiento, reactores y tuberías, los cuales pueden estar presurizados, refrigerados, a presión atmosférica, etc. La sustancia que se escapa puede ser un gas almacenado bajo presión o un líquido que está presurizado, refrigerado o almacenado a presión y temperatura ambiente. El tiempo en que se lleva a cabo la fuga puede ser un rango que va desde pocos segundos a varias horas. La fuga puede ocurrir en una área no obstruida, en una área de terreno irregular o en medio de estructuras complejas. Es necesario considerar todos estos factores para seleccionar apropiadamente el modelo para la fuga.

Las liberaciones accidentales son generalmente más definidas, lo cual es todo lo contrario a una fuga controlada de gases a partir de contenedores y desfuegos, los cuales se llevan a cabo en estado estacionario.

Los escapes a partir de tanques de almacenamiento o recipientes pueden ser el resultado de una ruptura catastrófica debido a algunos eventos externos, tales como: una fractura de la pared, una fisura resultante de la corrosión o fatiga del material, una perforación causada por un proyectil o la ruptura de la

tubería. La cantidad que se escapa en estos casos depende de la causa específica y el rango de duración que puede ir desde unos pocos segundos en el caso de una ruptura catastrófica a una hora o más para una fisura fina.

En un tanque o recipiente a presión una perforación puede dar como resultado un vapor o líquido que se escapa en forma de chorro. Otros tipos potenciales de fugas incluyen la fractura de tuberías, las cuales pueden dar como resultado un derrame de líquido o la fuga de un gas o líquido a alta velocidad. Los escapes no controlados a partir de un arrestador de flama o venteos son el resultado de una reacción incontrolada.

La formación de una nube de vapor tóxico o explosivo, puede ser el resultado de varios escenarios de fuga, dependiendo de la naturaleza de la sustancia química peligrosa que se libera y de las condiciones ambientales. Para sustancias peligrosas almacenadas como líquidos bajo presión, que tienen un punto de ebullición por debajo de la temperatura ambiente, una parte de la fuga puede ser instantáneamente evaporada (flasheada), formando una nube de vapor, mientras que lo restante de la porción no evaporada, forma una mancha sobre el suelo. La mancha puede extenderse fuera del confinamiento o puede ser contenida en un dique. La mancha puede producir una pluma por vaporización, que disminuye gradualmente con el tiempo. La vaporización ocurre en dos etapas; primero ocurre una vaporización rápida, posteriormente el calor es transferido desde la superficie del suelo y el aire, originando que la cantidad que se evapora sea más lenta o menor a medida que la transferencia de calor llega principalmente a partir del aire (posteriormente la superficie del suelo se enfría). Así, para este tipo de almacenamiento químico, se debe

considerar el efecto combinado de la liberación (gas evaporado) con un desprendimiento continuo de una pluma gaseosa (vaporización a partir de la mancha) para realizar la evaluación.

Para químicos peligrosos que se encuentran almacenados como líquidos con puntos de ebullición por arriba de la temperatura ambiente, el total de la liberación puede ser evaluada como una pluma gaseosa continua originada por la evaporación de la mancha. Los químicos peligrosos almacenados como gas, pueden ser liberados como una nube de vapor, como una nube finita para desprendimientos instantáneos o como una nube continua para periodos largos de fuga.

Cuando líquidos como el amoníaco anhidrido son almacenados bajo presión, una fuga puede dar como resultado que una parte del líquido se libere en forma de aerosol, en el cual las gotas del líquido de varios tamaños son suspendidas en la nube. Desafortunadamente es muy difícil de discernir qué fracción del líquido ingresa a la nube. Ciertos estudios muestran que esta fracción puede variar desde el 0-80% dependiendo de la naturaleza de la fuga. Generalmente, la proporción de la fuga tiene mucho que ver con la fracción del líquido en la nube. Un escape violento de un líquido presurizado que ocurre en forma repentina, tiende a maximizar la cantidad de líquido que llega a la nube. Por otro lado un escape lento a través de una tubería que se encuentra del lado del área que ocupa el vapor en los límites del tanque, dará una formación de aerosoles. Una fuga a través de un orificio debajo del nivel en el líquido, en el tanque, puede dar como resultado que una fracción significativa del líquido

llegue a formar parte de la nube. Algunos mecanismos típicos de liberación se han ilustrado en la figura 2.9.

Dada la complejidad de los posibles escenarios de liberación, para los propósitos del modelado es importante caracterizar los mecanismos de fuga en términos reales pero simplificados.

b) Caracterización de la Fuente

La determinación de la fuente potencial, como una función del tiempo, es un elemento crítico en la estimación de la dispersión del vapor. La precisión de algunos modelos de dispersión comienza con la alimentación de datos correctos. La determinación de la fuente depende de la precisión de la información disponible respecto a:

- Características físicas y químicas del material almacenado
- La geometría de la fuente
- Los procedimientos de operación en planta
- Características del derrame
- Condiciones meteorológicas
- Características del sitio como son: topografía, Edificios y Diques.

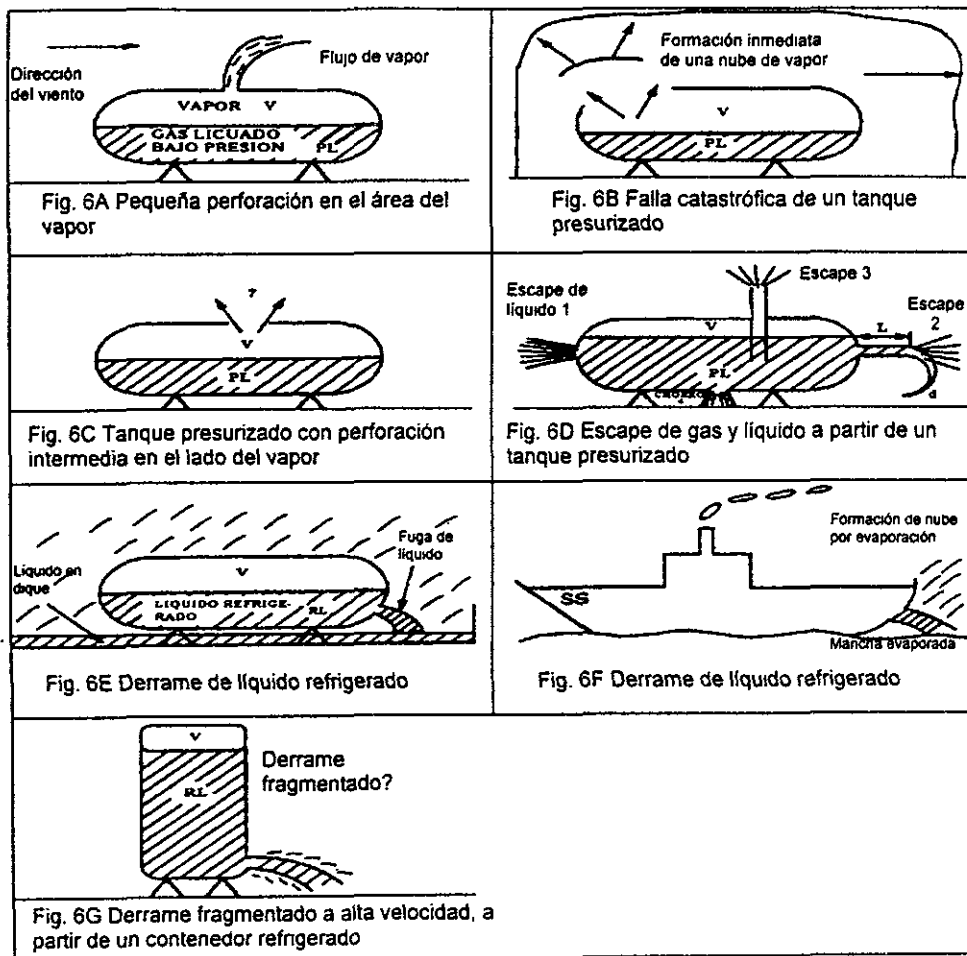


Fig. 2.9 Ejemplo de los posibles mecanismos de fuga, (a) pequeña perforación en el área del vapor en un tanque presurizado; (b) tanque presurizado con una falla catastrófica; (c) tanque presurizado con una perforación intermedia del lado del vapor; (d) Escape de un gas licuado a partir de un tanque presurizado; (e) derrame de un líquido refrigerado a un contenedor; (f) derrame de un líquido refrigerado al agua; (g) flujo fragmentado a alta velocidad a partir de un contenedor refrigerado

Esta información es necesaria para estimar la proporción del material que se escapa del recipiente; además de los coeficientes de evaporación, el tamaño del derrame, la cantidad propagada y la evaporación de la mancha del líquido o velocidad de evaporación.

Un escenario que involucra una ruptura catastrófica es fácilmente manejada, asumiendo que todo el contenido del tanque de almacenamiento o recipiente se escapa instantáneamente. Una perforación en un tanque de almacenamiento que contiene un líquido a presión atmosférica da como resultado que la cantidad de líquido que sale pueda ser calculada en base al tamaño de la perforación, la cantidad almacenada y la elevación que alcanza el líquido por encima del orificio. Para un líquido almacenado bajo presión, es necesario conocer la presión de almacenamiento, para estimar la cantidad que se escapa. Las fugas a partir de recipientes o tuberías que contienen un gas bajo presión, generalmente dan como resultado una fuga en forma de chorro, si es ocasionada por una pequeña perforación, requiriéndose información sobre el tamaño de la perforación, el peso molecular del gas, la temperatura de almacenamiento y la densidad. Además dependiendo de si la perforación se encuentra en la parte del recipiente que contiene el líquido o en la parte que contiene el vapor. La fuga puede consistir de una combinación de las fase líquida y gaseosa (flujo a dos fases), con una proporción que en algún momento se encuentra entre un líquido puro y un vapor puro.

c) Rupturas Catastróficas

Para el caso de una ruptura catastrófica de un tanque, es muy común suponer que la liberación ocurre inmediatamente. Aunque puede ser

reconocido como un evento que no es instantáneo, ya que se requiere de algún tiempo finito para que el tanque sea vaciado, la suposición es razonable desde el punto de vista de los modelos de dispersión. El tiempo en el que se lleva a cabo la fuga es generalmente insignificante comparado con el tiempo en el que se incrementan las concentraciones (generalmente una hora). Esto es importante para considerar el comportamiento de una liberación, dado que solo una parte del material puede llegar rápidamente a formar una nube de vapor si ocurre el flasheo (vaporización rápida). El líquido remanente puede derramarse sobre la superficie del suelo, extendiéndose y formando una gran mancha, o quedar confinado dentro del área de un dique. En cualquier caso una pluma a nivel del suelo puede ser generada debido a la evaporación durante un periodo de tiempo, dependiendo de la volatilidad del líquido. Así, una fuga instantánea puede dar como resultado que las emisiones de vapor ocurran durante un periodo relativamente largo apartir de la evaporación de la mancha. Este tipo de accidente es ilustrado en la figura 2.10.

d) Escape Continuo de Líquido

En el caso de que la perforación ocurriera en el área en donde se encuentra el líquido para un tanque presurizado o un recipiente de almacenamiento refrigerado (ver fig. 2.9), la velocidad de descarga depende de la presión interna del tanque, de la columna del líquido y del tamaño de la perforación. La ecuación de Bernoulli para flujo es comúnmente usada para este propósito y puede ser expresada como:

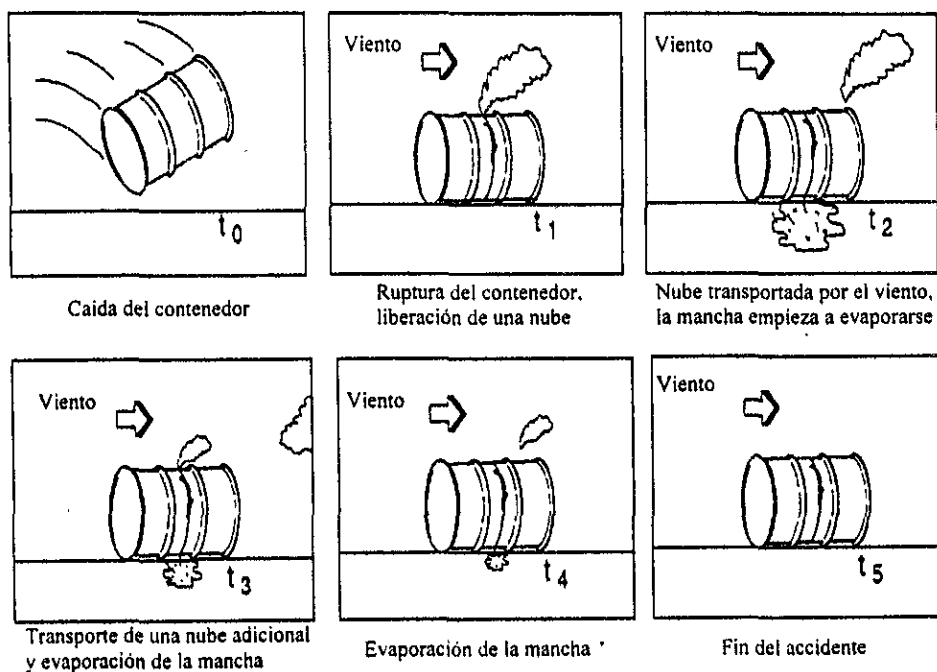


Fig. 2.10 Secuencia del accidente de un químico tóxico

$$Q = C_d A \rho_1 \left[2 \left[\frac{(P_t - P_a)}{\rho_1} + gh \right] \right]^{1/2} \quad (2.1)$$

donde:

Q = Proporción del líquido que se escapa [kg/seg]

C_d = Coeficiente de descarga [adimensional]

ρ_1 = Densidad del líquido [kg/m³]

A = Area de la perforación [m²]

P_t = Presión en el tanque [N/m²]

P_a = Presión atmosférica [N/m²]

g = Aceleración de la gravedad [9.8 m/s²]

h = columna del líquido [m]

Los valores para el coeficiente de descarga pueden ser obtenidos usualmente a partir de referencias de ingeniería química, tales como: Perry et al. Un valor típico de " C_d " para una tubería fracturada es de 0.8. Este método no se considera aplicable en cualquier momento, depende de la proporción del escape así como de la disminución de la presión interna del tanque o de la caída de la "columna del líquido", razón por la cual, el cálculo de la proporción que se escapa es un valor instantáneo (valor puntual) y no se conserva si se aplica sobre un periodo de tiempo. Además, si el líquido tiene un punto de ebullición por debajo de la temperatura ambiente, una parte de este será instantáneamente evaporado.

e) Liberación Continua de Gases

Los escapes puramente gaseosos a partir de recipientes presurizados o tuberías generalmente ocurren en forma de chorro (jet) que puede ser caracterizado como un flujo crítico o subcrítico. La ocurrencia de un flujo crítico o "estrangulado" va a producir una velocidad máxima de salida igual a la velocidad del sonido dependiendo de la relación entre la presión de almacenaje y la presión atmosférica. Perry et al; han expresado al flujo crítico como:

$$\frac{P_t}{P_a} \geq \left[\frac{(\gamma + 1)}{2} \right]^{\gamma/(\gamma - 1)} \quad (2.2)$$

donde P_t y P_a se definieron anteriormente y γ es la relación gamma (capacidad calorífica a presión constante, C_p , dividida por la capacidad calorífica a volumen constante, C_v). Para muchos gases la relación P_t / P_a , que define al flujo crítico, es cercanamente igual a 2. Esto es una presión de almacenamiento que es aproximadamente dos veces la presión atmosférica, dará como resultado una fuga en forma de chorro (jet), con una velocidad igual a la del sonido. La masa que se escapa puede ser, expresada como:

$$Q = C_d A P_t \left[\left(\frac{M\gamma}{RT} \right) \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{(\gamma + 1)/(\gamma - 1)} \right]^{0.5} \quad (2.3)$$

Donde :

Q = Cantidad de gas liberado

M = Peso molecular del gas

R = Constante universal de los gases

T = Temperatura de almacenaje del gas.

Esta relación considera una expansión adiabática reversible para un gas ideal.

Como la presión de almacenamiento disminuye durante la fuga, el flujo puede eventualmente llegar a ser subcrítico. La expresión para el flujo crítico es multiplicada por el factor:

$$(P_a/P_t)^{1/\gamma} [1 - (P_a/P_t)^{(\gamma-1)/\gamma}]^{0.5} \left[\frac{2}{(\gamma-1)} \frac{(\gamma+1)}{2} \frac{(\gamma+1)}{(\gamma-1)} \right]^{0.5} \quad (2.4)$$

El valor del coeficiente de descarga es usualmente menor a 1, ya que hay una reducción del flujo debido a la viscosidad y otros efectos de la descarga. Un valor de 1 para "Cd" podrá producir una estimación conservadora, del flujo que sale. Por otra parte esta expresión provee el flujo instantáneo en un determinado momento como una función del tiempo. Usando solamente las condiciones iniciales de almacenamiento, se producirán resultados conservadores.

f) Evaporación de Líquidos

Como se mencionó anteriormente, los líquidos con bajos puntos de ebullición puede ser instantáneamente evaporados. La proporción que se evapora puede ser fácilmente estimada, asumiendo que el proceso de vaporización es adiabático. Dada esta suposición, la ecuación del balance de calor para obtener la fracción evaporada es:

$$M_v/M_o = (C_p/H_v) * (T_s - T_b) \quad (2.5)$$

Donde:

M_v = Masa de vapor debida a la evaporación [kg]

M_o = Masa total de líquido [kg]

C_p = Calor específico a presión constante [J / kg °K]

H_v = Calor de vaporización [J / kg]

T_s = Temperatura de almacenamiento [°K]

T_b = Punto de ebullición del líquido [°K]

La nube de vapor que se forma por evaporación normalmente se considera a una temperatura igual a la del punto de ebullición inicial con un calentamiento gradual, producto del aire que entra a la nube. Para una liberación instantánea; el tamaño inicial de la nube puede ser estimada a partir de la masa liberada (M_v) y de la densidad del vapor (ρ_v) evaluada en el punto de ebullición, asumiendo que la nube es esférica:

$$r = \left[3/4(Mv/\rho_v) / \pi \right]^{1/3} \quad (2.6)$$

Donde "r" es el radio de la nube. Para fugas continuas de gas evaporado, especialmente a partir de tuberías, es común considerar que todo el líquido pasa a vapor. En este caso, solamente la cantidad de líquido liberado necesita ser calculado.

g) Evaporación de Manchas de Líquido

Otra importante fuente de emisiones, son las manchas de líquido formadas por el derrame de sustancias químicas con un punto de ebullición por encima de la temperatura ambiente ó por líquidos con bajo punto de ebullición que no se evaporan completamente al ser liberados. En estos casos, el primer paso en la estimación de las emisiones debidas a la evaporación, es determinar el tamaño de la mancha esparcida sobre la superficie del suelo. Para un derrame relativamente pequeño, el área de la mancha es fácilmente estimada a partir de la cantidad derramada y considerando su espesor. La proporción de la extensión o difusión de la mancha no es importante, debido a que se tiene una duración muy corta (unos pocos segundos) para la mayor parte de los tiempos de interés. Para derrames grandes la expansión o difusión puede tener un efecto importante en la estimación inicial de las concentraciones, dado que la evaporación es una función lineal del área de la mancha. Asumiendo que la forma inicial del derrame es la de un cilindro con una longitud igual al radio de la base; el área superficial puede ser calculada como una función del tiempo usando la ecuación de Van Ulden, como sigue:

$$A = \pi \left[(gV_o / \pi)^{0.5} 2t + (r_o)^2 \right] \quad (2.7)$$

donde:

A = Area de la mancha (m^2)

V_o = Volumen del derrame (m^3)

t = tiempo a partir del derrame (seg)

r_o = radio inicial del derrame (m)

g = Aceleración de la gravedad ($9.8 \text{ m} / \text{seg}^2$)

El área no se expande indefinidamente, llegando a un tamaño máximo dependiendo de la velocidad de vaporización. Dado que el contorno de la superficie del suelo normalmente no puede ser bien descrita, el área superficial máxima puede ser calculada suponiendo un espesor del derrame. Un valor típico para el espesor, para propósitos regulatorios, es de 1 cm. Sin embargo si el líquido que se derrama es contenido por un dique, el área de la mancha puede ser bien definida para los propósitos de la estimación de las emisiones.

En el derrame de un líquido con un punto de ebullición por arriba de la temperatura ambiente, la evaporación se realiza por convección forzada cuando se expone al viento. Un método comúnmente usado para calcular la proporción de la evaporación puede ser expresada como:

$$\frac{dQ}{dt} = 0.037 \frac{D}{L} A M \frac{(P_s - P_A)}{RT_a} Re^{0.8} Sc^{0.333} \quad (2.8)$$

donde:

$$\frac{dQ}{dt} = \text{Emisión de vapor (kg /seg)}$$

D = Coeficiente de difusión (m²/ seg)

L = Longitud característica (m)

A = Area de la mancha (m²)

M = Peso molecular (gr/mol)

P_A = Presión de vapor (N/m²)

T_a = Temperatura del aire (°K)

P_s = Presión del vapor saturado (N/m²)

Re = Número de Reynolds $\frac{Lu\rho_a}{\mu}$ (adimensional)

Sc = Número de Schmidt = $\frac{\mu}{D\rho_a}$ (adimensional)

μ = Viscosidad cinemática (kg/m seg)

U = Velocidad media del viento (m/seg)

ρ = Densidad del aire (kg/m³)

El valor de la longitud característica (L) puede ser igual al diámetro de la mancha del líquido, además el valor del coeficiente de difusión (D) puede ser obtenido apartir de referencias sobre estándares químicos, sin embargo, si el

valor de "D" no se encuentra fácilmente disponible, un valor de $2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$ puede ser considerado para la proporción de la evaporación.

En el caso de un líquido con un punto de ebullición más bajo que la temperatura ambiente, la mancha de líquido se vaporizará por la absorción de calor a partir de la radiación solar, la convección originada por el aire y la conducción a través de la superficie del suelo (ver fig. 2.11). Inicialmente la conducción de calor desde la superficie del suelo domina la transferencia y puede ser estimada de acuerdo a la siguiente expresión:

$$q_d = \frac{K_s A (T_e - T_b)}{[(\pi k_s t) / (\rho_e C_{pe})]^{0.5}} \quad (2.9)$$

donde :

q_d = Calor transferido (Watts)

K_s = Conductividad térmica del sólido (Watts / m °K)

T_e = Temperatura del suelo (°K)

T_b = Punto de ebullición de la sustancia química (°K)

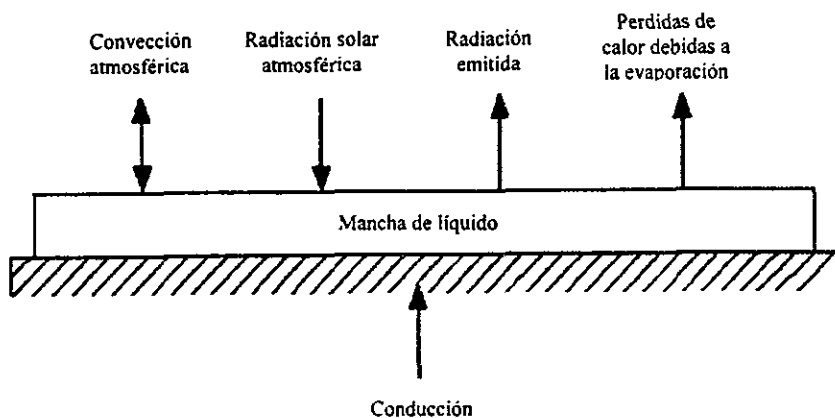


Fig. 2.11 Transferencia de calor desde una mancha que se evapora

ρ_e = Densidad de la superficie de la tierra (kg / m³)

Cpe = Capacidad calorífica de la superficie de la tierra (J / kg °K)

Dado que las condiciones del suelo no pueden ser siempre bien definidas o conocidas, se tienen valores típicos de K_s , ρ_e y Cpe, que pueden ser usados, tales valores son: 1.67 Watt / m °K, 1520 kg / m³ y 837 J / kg °K respectivamente.

En el mismo sentido, el flux de calor debido a la radiación solar y atmosférica (q_r) puede ser estimado si las condiciones específicas no son conocidas para el análisis a realizar. Un valor correspondiente al medio día entre el 1 de junio y el 1 de julio a 30 °N de latitud (1150 Watts / m²) puede ser usado para estimar los parámetros.

El flux de calor debido a la convección forzada (q_c) puede ser estimado por la siguiente expresión:

$$q_c = h_c (T_a - T_b)$$

(2.10)

donde:

h_c = Coeficiente de transferencia de calor (Watt / m² °K)

T_a = Temperatura del aire (°K)

Un valor de 6.7 Watts / m² °K corresponde a una velocidad del viento de 1 m/seg, pudiendo ser usado para el parámetro h_c.

La velocidad de vaporización es el resultado de la suma de los diferentes flux de calor, obteniendo la siguiente expresión:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{(q_d + q_r + q_c)}{H_v} \quad (2.11)$$

h) Mecanismos de Dispersión

Como en el caso de la definición de la fuente, los escenarios de una dispersión potencial son variados. Un escape instantáneo y continuo puede ser manejado bajo diferentes metodologías, (para gases que flotan neutralmente en altura constante, para gases más densos que el aire o para escapes violentos o pasivos). No obstante, la dilución o dispersión de un aerosol o gas liberado puede llevarse a cabo por uno de los tres mecanismos básicos: (a) Turbulencia mecánica, (b) Turbulencia debida al movimiento de flotación del gas y (c) Turbulencia atmosférica. Mediante la metodología de la turbulencia atmosférica es realmente como se comprende a los otros dos elementos (inducidos mecánica y térmicamente); La turbulencia mecánica es causada por una energía mecánica impartida a la liberación, por algún tipo de proceso violento, por ejemplo la ruptura de un contenedor presurizado; la turbulencia debida al movimiento de flotación del gas es causada por la diferencia de densidades entre la nube y el aire. La turbulencia atmosférica es causada por

las fluctuaciones aleatorias en el viento, que pueden ser originadas por fuerzas mecánicas (la corriente del viento corre sobre una superficie que presentan obstáculos) o por fuerzas térmicas (estratificación de la temperatura).

La turbulencia mecánica causada por una liberación violenta es generalmente tratada a través de algunos algoritmos cortos, en los cuales se utilizan coeficientes basados en datos experimentales con el fin de estimar la correcta cantidad de calor, masa y momentum que se incorpora a la nube durante la liberación. La turbulencia inducida por el movimiento, es generalmente tratada a través de un modelo de "caja" o "losa", en el cual la concentración de una sustancia química, se asume, que es uniforme y el aire corre a través de la orilla y de la superficie de la "caja", usando una variedad de funciones de entrada. En algunos casos una función de distribución es considerado para el perfil de concentraciones dentro de la caja.

La turbulencia atmosférica es tratada casi siempre por medio de modelos de dispersión Gaussiana, los cuales asumen una distribución normal de la concentración del material dentro de la pluma, usando valores de derivación estándar para los ejes horizontal y vertical, basados en datos experimentales.

h.1 Dispersión en Forma de Chorro

Los procesos de dispersión dependen de como se realice el escape de la sustancia peligrosa al medio ambiente. Como se discutió anteriormente, las rutas de escape son muy variadas. La ruptura de un tanque o barril que derrama un líquido con alto punto de ebullición, producirá una pluma a nivel del suelo, debida a la evaporación. La densidad de la pluma relativa al aire, será determinada ya sea por medio de la turbulencia ocasionada por la flotación o

por la turbulencia atmosférica, dependiendo de cuál domine el proceso inicial de dispersión. Lo mismo aplica a la vaporización de manchas de derrames químicos con bajo punto de ebullición. En este caso la proporción evaporada de la liberación, puede incorporarse al aire durante la expansión adiabática. Una aproximación puede ser hecha al asumir que la proporción evaporada se compone de la sustancia química pura y no hay dilución durante la evaporación.

Para el caso de una fuga presurizada a partir de una tubería o recipiente (ver fig. 2.9), no se debe ignorar la entrada de la liberación al aire, dado que la aproximación sería errónea. La dilución inicial de la liberación puede variar extensamente, dependiendo de la naturaleza de la sustancia.

Algunas aproximaciones analíticas para estimar la dilución de una liberación en forma de chorro, generalmente consiste de modelos típicos integrales, los cuales constan de ecuaciones para determinar las propiedades físicas tales, como masa, momentum y calor, dichas ecuaciones son resueltas numéricamente. Dado que este conjunto de ecuaciones no pueden ser resueltas en forma exacta, se usa un esquema de parámetros, en el cual se determina el coeficiente de la interacción entre las propiedades del escape en forma de chorro y las propiedades del medio ambiente; tales como masa y momentum. Estos coeficientes son generalmente derivados a partir de pruebas de laboratorio; por ejemplo, se emplea un túnel con viento. Además de estas aproximaciones, se introduce un cierto grado de error en el análisis dado que las interacciones físicas tomadas en el sitio no se determinan fácilmente; por lo cual no proporcionan una buena estimación sobre las propiedades de la

liberación en forma de chorro. El resultado es generalmente una aproximación sobre las características de la fuga en forma de chorro; por ejemplo con estos cálculos se conocería la concentración en la línea central y el radio del chorro como una función de la distancia que esta en la dirección del viento.

Este tipo de modelos pueden ser usados para describir las propiedades de la liberación en forma de chorro (concentración, temperatura, etc.) cerca del campo abierto; además pueden ser conjuntados con un modelo de dispersión Gaussiana en el punto donde la turbulencia atmosférica domina la dispersión, o bien con un modelo de dispersión para gas denso.

h.2 Dispersión de Gas Denso

Como su nombre lo indica, las principales fuerzas que impulsan a un gas pesado en la dispersión, son el peso o la densidad de la pluma, relativa a la del aire. El peso de la nube causa una dispersión y una altura mínima en todas las direcciones. El peso de la nube puede ser debido a un alto peso molecular o a una baja temperatura, como en el caso de un gas refrigerado.

La extensión de la dispersión (dr/dt) es generalmente expresada de la siguiente manera:

$$\frac{dr}{dt} = \left[gh(\rho_e - \rho_a) / \rho_a \right]^{0.5} \quad (2.12)$$

Donde h es la altura o elevación de la nube, asumiendo que esta tiene la forma de un cilindro. Se usa para estimar la concentración de la nube al igual que su dilución en el aire. Este modelo es generalmente manejado asumiendo que la concentración es uniforme dentro de la nube, aproximándose al modelo llamado de "caja". Una gran variedad de suposiciones son hechas en los modelos, algunos de estos son aplicables para la entrada de materia por la parte frontal y los lados de la nube (entrada por el borde); así como también para la parte superior de la nube (entrada superior). Estas suposiciones de entrada generalmente toman la forma de un coeficiente de entrada (α) multiplicado por la velocidad frontal (V_f) de la nube, para la entrada lateral o de borde (αV_f), y otro coeficiente de entrada (β) con una velocidad (U o V) dividido por el número de Richardson (RI) para la entrada superior. Algunos modelos contabilizan las entradas para la parte superior o para el borde lateral, las variaciones se deben a las suposiciones iniciales. Además, los coeficientes de entrada son valores derivados experimentalmente.

La discusión principal sobre la dispersión de gases pesados se ha enfocado a la entrada de estos en el aire, el cual diluye la nube y reduce su densidad. Sin embargo, muchas veces además se tienen procesos termodinámicos que tienen un profundo efecto en la temperatura y en la densidad de las nubes (ver fig. 2.12). Como la nube se mueve bajo la dirección del viento, el calor es absorbido desde el suelo, así como también de la radiación solar, de la convección a partir del aire y del calor liberado de la condensación del vapor de agua o de la sustancia química. Además existen pérdidas de calor a partir de la nube: debidas a la radiación y a la evaporación de algún químico o gotas de agua. Algunas reacciones químicas que se llevan

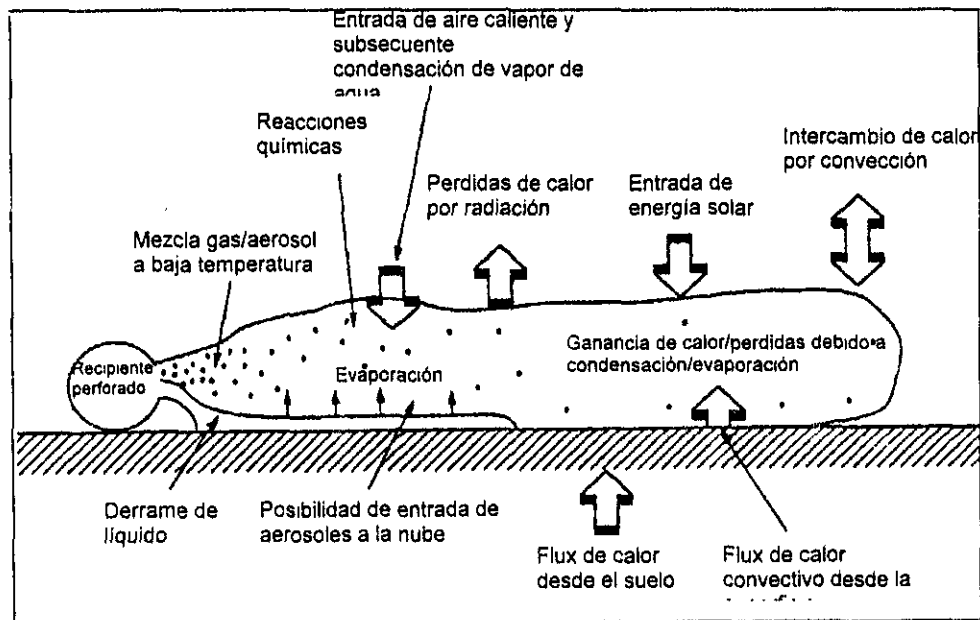


Fig. 2.12 Aspectos termodinámicos de la liberación de un material peligroso

a cabo en este momento pueden contribuir a la transferencia de calor en la nube. En varios casos, las reacciones no son consideradas por algunos modelos. Algunos modelos son específicamente formulados para considerar reacciones que se originan en el escenario, aunque tienden a ser muy especializados.

h.3 Gases que Flotan Neutralmente

En algún punto del proceso de dispersión para un gas pesado, la turbulencia originada por la densidad llega a disminuir en el aire que entra a la nube y es entonces cuando la turbulencia atmosférica llega a dominar el proceso de dispersión. Varios criterios son usados para definir este punto de transición. Algunos escogen un valor crítico para el número de Richardson por debajo del cual ocurre la transición. Otros tienden a escoger un valor crítico de la velocidad frontal de la nube (V_f), usualmente expresada como una fracción o múltiplo de la velocidad de fricción (V^*). Ciertamente la selección de un criterio para el cambio del mecanismo de dispersión dominante tiene una relación directa con la predicción de la concentración para un cierto rango de distancia. Muchos investigadores parecen concordar en que el valor de V_f puede ser aproximado a V^* en el punto de transición.

Una vez que ocurre la transición de la dispersión originada por una flotación a una difusión originada por una turbulencia atmosféricas, se origina un punto virtual que es típicamente utilizado para igualar el modelo de caja con un modelo Gaussiano. Esta técnica determina una distancia a partir de la cual una liberación puede ser dispersada por la turbulencia atmosférica a una concentración que es igual a la predicha por el modelo de "caja", para la

dispersión de un gas denso. De esta forma, el cálculo de dispersión puede continuar a partir del punto de transición, en una pluma Gaussiana estándar.

Dada la cantidad de sustancia peligrosa liberada en forma de nube y la proporción de la emisión a partir de un derrame, la concentración en la dirección del viento de un gas que flota neutralmente debido a la dispersión originada por la turbulencia atmosférica, es calculada asumiendo que el material se distribuye en la pluma de una forma Gaussiana (ver fig. 2.13). Para la liberación de una nube con un volumen inicial finito, la concentración en la nube es descrita por la siguiente ecuación:

$$x(x,y,z,h) = \left[\frac{2Q}{(2\pi)^{1.5} \sigma_{xl} \sigma_{yl} \sigma_{zl}} \right] \cdot \exp \left[-0.5 \left(\frac{x^2}{\sigma_{xl}^2} + \frac{y^2}{\sigma_{yl}^2} \right) \right] \cdot \left[\exp \frac{-0.5(Z-h)^2}{\sigma_{zl}^2} \right] + \exp \frac{-0.5(Z+h)^2}{\sigma_{zl}^2} \quad (2.13)$$

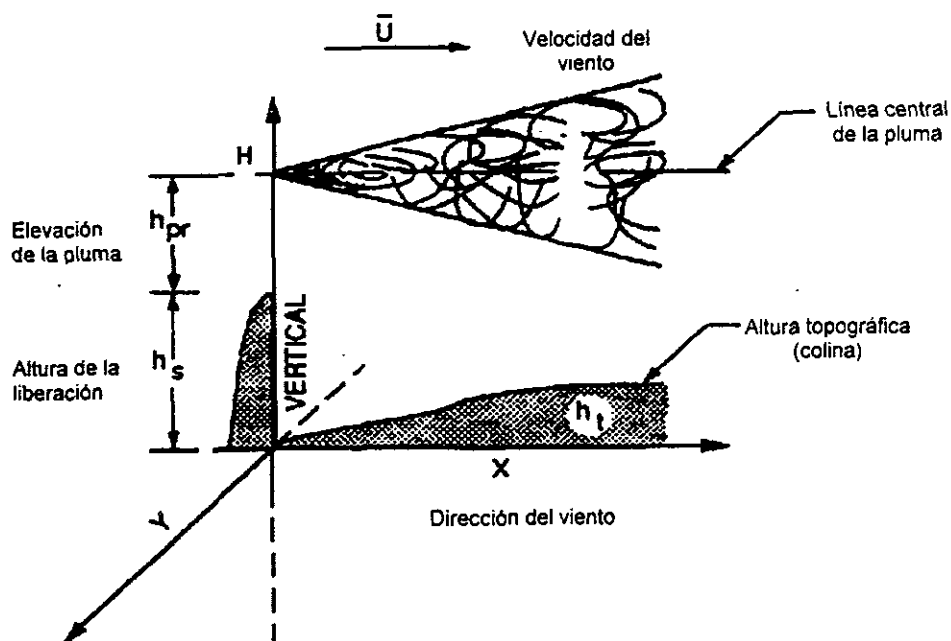
El volumen inicial de la nube es considerado para hacer un ajuste de las desviaciones estándar para la concentración en la siguiente forma:

$$\sigma_{xl}^2 = \sigma_{xl}^2 + \sigma_0^2$$

$$\sigma_{yl}^2 = \sigma_{yl}^2 + \sigma_0^2$$

$$\sigma_{zl}^2 = \sigma_{zl}^2 + \sigma_0^2$$

$$\sigma_{xl}^2 = \sigma_{yl}^2$$



1. El viento sopla en la dirección horizontal (x)
2. La turbulencia se extiende en la dirección transversal (y)
3. La turbulencia se extiende en la dirección vertical (z)

Fig. 2.13 Modelos Gaussianos

donde:

$$\sigma_0 = [Mv / (2^{0.5} \pi^{1.5} \rho v)]^{0.333}$$

El valor de X en el término exponencial es determinado por:

$$X = X_0 - V_t$$

donde X_0 es la distancia entre la fuente del derrame y el receptor.

La ecuación de difusión para una pluma a nivel del suelo en una liberación continua esta dada por:

$$x(x,y,z,h) = \left[\frac{Q'}{(2\pi)U\sigma_y\sigma_z} \right] \cdot \exp\left[-0.5\left(\frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)\right] \cdot \left[\exp\left[-\frac{0.5(Z-h)^2}{\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{0.5(Z+h)^2}{\sigma_z^2}\right] \right] \quad (2.14)$$

El tamaño inicial finito del derrame es considerado para reemplazar σ_y con

$$\left[\sigma_y^2 + \sigma_{y0}^2 \right]^{0.5}, \text{ donde } \sigma_{y0} \text{ es aproximadamente :}$$

$$\sigma_{y0} = r^{0.5} / 4.3$$

r es el radio del derrame. Los valores de los coeficientes de dispersión (σ_y y σ_z) son tomados a partir de las curvas de Pasquill - Gifford.

i) Alcance de los modelos.

A pesar de todos los esfuerzos hechos para desarrollar técnicas analíticas, para simular los mecanismos físicos responsables de la dispersión de una liberación química, muchos modelos no se ajustan a la realidad al evaluar las consecuencias y riesgos. Esto es debido a la complejidad inherente y a la aleatoriedad asociada con el proceso unido a numerosas incertidumbres, falta de exactitud y detalle en los datos de entrada que definen los escenarios de interés donde se da la liberación.

De igual modo, actualmente se intentan resolver las ecuaciones físicas fundamentales que gobiernan el movimiento atmosférico y la turbulencia por métodos numéricos más sofisticados. Estos son limitados debido a la naturaleza aleatoria de las fluctuaciones de la turbulencia y al hecho de que las ecuaciones no proporcionan soluciones exactas. Adicionalmente, algunos modelos requieren de la alimentación de datos que normalmente no se encuentran disponibles y requieren de una infraestructura computacional compleja, aspecto que es impráctico para muchas aplicaciones. Por otra parte, para realizar los cálculos, las ecuaciones son resueltas a sumiendo condiciones en estado estacionario y utilizando parámetros que han sido

derivados empíricamente para cerrar el conjunto de ecuaciones. La solución simplificada en conjunción con datos experimentales, para una situación en particular, son usados para una aplicación general, siendo una consideración inadecuada originando con esto que el problema no sea resuelto.

El modelo Gaussiano descrito con anterioridad, cae dentro de la categoría de un modelo de solución simplificada para el problema de dispersión. Los valores de los coeficientes de dispersión σ_y σ_z comúnmente usados, son derivados a partir de los estudios de dispersión.

Aún cuando sean conducidos en un lugar en particular, bajo un conjunto específico de condiciones, es probable que no apliquen al análisis que se quiera realizar. De igual modo se tiene que hacer un gran número de suposiciones para que el modelo sea consistente con la situación que es analizada. Estas incluyen:

- Condiciones de estado estacionario para la velocidad del viento, dirección y estabilidad atmosférica durante el periodo de simulación.
- Uniformidad espacial de los parámetros meteorológicos durante la simulación.
- Uniformidad en las características del terreno durante la simulación y durante el desarrollo de los coeficientes de dispersión.

- Las emisiones de las fuentes son constantes durante un tiempo promedio del modelo.

- La masa del contaminante se conserva a través del proceso de dispersión.

2.4 Análisis de riesgos.

El análisis de riesgos es la tercera etapa del análisis de peligros. En esta etapa se cuantifica tanto la probabilidad de que pueda ocurrir un evento no deseado, así como la determinación de la severidad de los efectos adversos sobre los agentes afectables. De esta manera, un análisis se debe constituir de:

- a) Un juicio para cuantificar la probabilidad de ocurrencia de un evento no deseado;
- b) Un juicio para cuantificar la severidad de los efectos (en caso de que el evento indeseable se presente) sobre los agentes afectables, y
- c) Bases de datos que ayuden a tratar de evitar que dichos acontecimientos se presenten (prevención) y establecer planes y programas para dar respuesta a situaciones de emergencia.

El análisis de riesgos requiere de cierta información, compilada durante las dos primeras etapas del análisis de peligros (Identificación de peligros y análisis de vulnerabilidad), además de otra información específica sobre la instalación o el área local. El nivel apropiado de detalle y alcance del análisis de riesgos puede ser determinado basándose en la situación local y en los recursos disponibles.

2.4.1 Aproximación Global del Análisis de Riesgos

El análisis de riesgos incluye una estimación de la probabilidad o posibilidad de que un evento pueda ocurrir. El riesgo puede ser caracterizado en términos cualitativos como alto, medio o bajo o en términos cuantitativos usando estimaciones numéricas y cálculos estadísticos. Para propósitos prácticos, un análisis de riesgos puede ser basado en una evaluación subjetiva, empleando el sentido común. Pocas personas viven diariamente el temor de ser aplastados por un meteorito, ya que saben o conocen a través de los riesgos existentes que esto es muy remoto, debido a que la probabilidad es baja. Sin embargo, la esquina de una calle muy transitada puede ser un sitio de frecuentes accidentes automovilísticos, considerando que presenta accidentes con un alto riesgo. Las personas saben que la probabilidad de ser atropellado por un automóvil es muy grande y por lo tanto se requieren salvaguardas (por ejemplo mirar a ambos lados de la calle antes de cruzarla). En ambas situaciones, la evaluación de la probabilidad de un futuro accidente, se basa en el conocimiento de la frecuencia con la que se presentó un accidente en el pasado. La recopilación histórica de eventos pasados puede, por lo tanto, ser usada en la práctica para un análisis de riesgos. Tanto la

probabilidad como las consecuencias son extremadamente importantes en la evaluación del riesgo. Una situación de alto riesgo puede ser el resultado de tener una alta probabilidad con severas consecuencias (ejem; efectos irreversibles a la salud; muerte debido a la presencia de una sustancia tóxica en el aire; daños a las instalaciones debido a una explosión o fuego). Para una situación de riesgo moderado se puede tener una alta probabilidad con consecuencias medias o tener una baja probabilidad con más consecuencias severas.

Disminuyendo la probabilidad de un accidente o minimizando las consecuencias se podrá reducir el riesgo global.

2.4.2 Información Requerida para el Análisis de Riesgo

La información concerniente a las fuentes de peligros, población y servicios esenciales sujetos a daños, se recopilan durante la realización de la identificación de peligros y el análisis de vulnerabilidad. El análisis de riesgos requiere además, información sobre la instalación, los planes comunitarios y salvaguardas, la capacidad existente de respuesta local, la recopilación histórica de accidentes pasados y sus consecuencias.

a) Información sobre las Instalaciones

Las instalaciones son una fuente importante de información acerca de los riesgos. Las instalaciones deben estar sobre aviso de la importancia en la exactitud de la información (ejem., los resultados de una evaluación de riesgos

en una instalación, deben de ser precisos) y deberán cooperar en la proporción de información pertinente como sea posible. Los tipos específicos de información concerniente a sustancias extremadamente peligrosas (EHS) que los comités de prevención de emergencias locales (LEPC) pueden requerir a partir de las instalaciones incluye:

- Los efectos adversos a la salud de una sustancia y su grado de severidad;
- Salvaguardas en el sitio;
- Recomendaciones hechas para las instalaciones, por los salvaguardas de la comunidad;
- Aproximaciones usadas en la prevención de eventos pasados, en los cuales se tuvieron efectos adversos a la salud y detalles sobre los eventos;
- Lesiones ocurridas a partir de eventos pasados con efectos adversos a la salud y detalle de los eventos y
- Realización de la evaluación de peligros para la instalación (ejem., por medio de un HAZOP).

Además de la información y recomendaciones que debe proveer, las instalaciones pueden contribuir con recursos para asistir en la administración de respuesta a emergencias, incluyendo:

- Asistencia en la planeación y respuesta, por parte de técnicos expertos de la planta;
- Copia del plan de respuesta a emergencias para la instalación y de los planes de prevención, control y contra medidas para un derrame;
- Asistencia en la limpieza y reciclado de materiales derramados y
- Instrucciones de adiestramiento y manejo de seguridad.

2.4.3 Evaluación del Riesgo

a) Sin Cuantificar la Probabilidad

En la práctica, muchas evaluaciones son realizadas sin cuantificar la probabilidad, basándose solamente en informes y en la experiencia para predecir qué puede ocurrir o no puede ocurrir dependiendo de las circunstancias. Esta aproximación es más fuerte cuando se necesita que los peores eventos sean contabilizados, para que de esta forma sean razonablemente especificados, determinando así las consecuencias relevantes y "los rangos de peligro". De esta manera se puede decir con alguna reserva que el riesgo (para cualquier nivel de daños, el rango del peligro es determinado) puede ser muy bajo en lugares alejados. Una generalización es

que esta aproximación es fácil de aplicar a eventos menores que pueden tener consecuencias potenciales. Además esto es fácil si la variación es mínima en las posibles consecuencias de un evento peligroso dado. Puede también ser aplicado a peligros inflamables tal vez con más facilidad que a peligros de gases tóxicos. Para emisiones de gas tóxico la gran variación en las consecuencias se debe a las diferentes condiciones ambientales, que provocan una dificultad para especificar en forma real el rango del peligro máximo, sin las consideraciones específicas de la probabilidad de los casos más severos.

b) Cuantificando la probabilidad

En algunos casos simples se cuantifica la probabilidad de los eventos peligrosos identificados que pueden ocurrir y/o la probabilidad de una consecuencia particular. una evaluación del riesgo involucra una cuantificación de un riesgo específico que pueda ocasionar daño. Comúnmente son usadas dos expresiones de riesgos:

Riesgo Individual. Es la probabilidad que tiene una persona de estar en un lugar en donde exista un daño o pueda ser dañada, expresada típicamente como probabilidades por año.

La ecuación básica para calcular el riesgo individual, "r" es la siguiente:

$$r = H * P_1 * P_2 * P_3 \quad (2.32)$$

donde H es la frecuencia de ocurrencia del evento peligroso (proporción del peligro) (Y^{-1}), P_1 es la probabilidad de que el lugar en cuestión pueda ser afectado por el evento peligroso, P_2 es la probabilidad de que una persona pudiera estar presente en el área afectada y P_3 es la probabilidad de que un daño fatal pueda ocurrir, como resultado de una condición dañina. En algunos casos las probabilidades pueden ser evaluadas separadamente. En otros las probabilidades no necesariamente son independientes, por ejemplo P_2 y P_3 pueden depender de P_1 y esto puede dar otra forma de evaluar las combinaciones. Estas pueden ser otras probabilidades dentro de las básicas. En algunos casos P_2 puede incluir una asignación por la probabilidad de fuga en el área afectada.

Riesgo social. Es la probabilidad de que un accidente cause múltiples muertes, expresada como la frecuencia de ocurrencia de 10, 100, ... muertes.

Ejemplo: Un reactor que se encuentra dentro de un edificio es requerido para un nuevo proceso, en el cual puede existir un evento inadecuado.

El procedimiento adicional, la instrumentación y los sistemas de protección fueron propuestos para prevenir una sobre presión. Los sistemas fueron analizados y se derivó un árbol de fallas del cual se obtuvo que la probabilidad de falla del reactor debida a una sobrepresión puede ser $2 \times 10^{-4} / Y$. La falla del reactor es probable que afecte a todo lo adjunto ($P_1 = 1.0$), con un alta probabilidad de daño fatal en alguien que se encuentre presente ($P_3 = 1.0$). Un operador puede estar presente en el área por 30 min. cada día ($P_2 = 30 / (24 \times$

60) = 0.02). El riesgo al cual está expuesto el operador es estimado de la siguiente forma:

$$r = (2 \cdot 10^{-4})(1.0)(0.02)(1.0) = 4 \cdot 10^{-6} \text{ Y}^{-1}$$

En algunos análisis de riesgos esto es importante para observar lo que es llamado efectos de "modo común", los cuales tienen la característica de hacer una combinación de eventos quizás más probables que los que se esperan. Para este caso, en el ejemplo anterior, si la presencia del operador fuera la causa de que ocurriera la sobre presión, en lugar de que sea instrumental, entonces P_2 puede ser de 1.0 y no de 0.02.

En otros análisis, la consideración de el riesgo en una situación de posible desprendimiento de gas tóxico, fuera del sitio, determina la probabilidad de que la situación afecte a un ser en forma más compleja. Además puede requerir de un número de casos de falla para ser considerada y asumida. Para cada caso de falla y varias combinaciones de las condiciones ambientales (por ejem., velocidad del viento y estabilidad atmosférica), el tamaño de la pluma dentro de la cual la concentración del gas puede ser suficiente para causar efectos o daños específicos, es estimada.

La figura 2.14 ilustra una aproximación simple de la probabilidad de que se presente una determinada dirección del viento, se asume que puede ser uniforme alrededor de 360°. La probabilidad de que un lugar "X" a una cierta

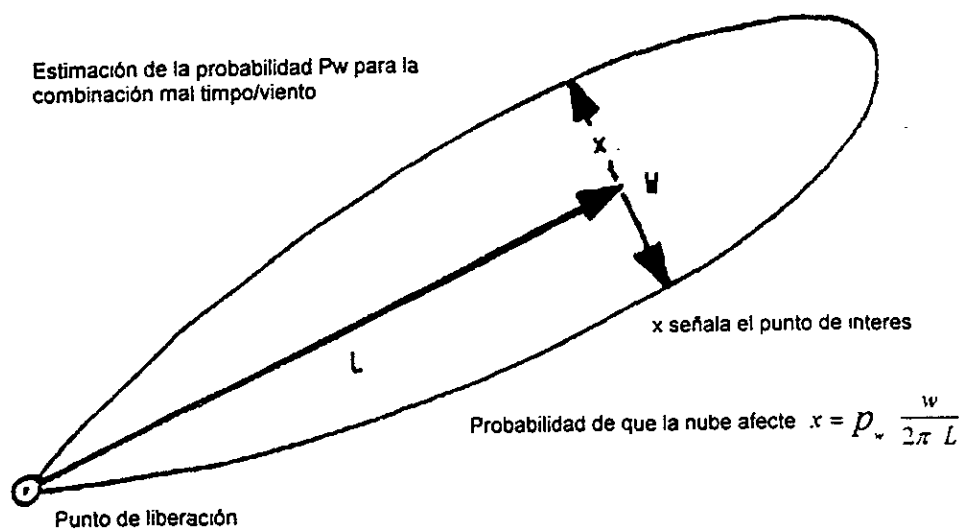


Fig. 2.14 Análisis de riesgos-estimación de la probabilidad de que una nube de gas afecte una área dada

distancia "L" a partir de la fuente del peligro pueda ser afectada, es proporcional al ancho "W" de la pluma, a la localización y a la probabilidad, P_w , de la condición ambiental, dando un particular tamaño de pluma.

Este procedimiento es repetido para un número (m) suficiente de combinaciones en las condiciones atmosféricas para reflejar el rango, apartir del conocimiento de datos meteorológicos para la localidad en cuestión. Por lo tanto la probabilidad total de que el lugar "X" pueda ser afectado por un caso de falla dado es:

$$P_2 = \sum_{i=1}^m (P_w * W_i / 2\pi L) \quad (2.33)$$

Típicamente "m" rangos desde 2 hasta 25, dependiendo de los datos disponibles y la precisión, pueden proporcionar los datos buscados. Un primer análisis puede asumir que una persona puede estar casi siempre en el lugar ($P_1 = 1$) y P_3 puede depender de la concentración del gas para la cual la pluma fue calculada.

El procedimiento es repetido para un número de casos de falla (n) que pueden afectar el lugar, por lo tanto el riesgo total es:

$$r = \sum_{j=1}^n (H_j * P_1 * P_2 * P_3) \quad (2.34)$$

Repetiendo este procedimiento para lugares a diferentes distancias a partir de la fuente del peligro, se puede determinar un perfil del riesgo o contorno del riesgo (ver fig. 2.15)

De toda esta exposición se debe apreciar que algunos análisis de riesgos, pueden ser un procedimiento complejo, en muchos casos se requerirá de métodos computacionales para manejar las combinaciones de eventos y circunstancias que puedan ser consideradas. Este procedimiento esta sujeto a muchas incertidumbres, las cuales limitan la precisión de los resultados.

Los resultados del análisis para una predicción numérica del riesgo así como algunos criterios o delineamientos, son requeridos para guiar la evaluación. No se tiene un criterio aceptado universalmente para determinar que riesgos son aceptables o tolerables; mejor dicho se tienen listas dentro de las cuales hay juicios para realizar el conteo de muchos otros factores para una instancia, el beneficio de estos es que se podría compensar el riesgo.

La real sociedad de estudio sobre la evaluación del riesgo, define un rango de indicadores: en un extremo anotan la asignación de un riesgo anual de muerte para un individuo igual a 10^{-3} , podría no ser "totalmente aceptable si el individuo conoce de la situación y cuenta con algunas medidas que reduzcan el riesgo"; en el otro extremo colocan un riesgo adicional de muerte para un

individuo que realiza varias actividades igual a 10^{-6} (una en un millón de oportunidades por año) comúnmente podría ser considerado como trivial, además este puede, en algunas circunstancias ser 10 veces menor (10^{-7}) y en otras 10 veces más grande (10^{-5}).

Un número promedio de riesgos específicos (datos de UK) están dentro del rango:

Tabla 2.3 Peligro de muerte por persona por año $\times 10^{-6}$

PESCA EN MAR PROFUNDO	880
Trabajo en cantera	390
Extracción de carbón	106
Accidentes carreteros	100
Accidentes en el hogar para adultos	50
Accidentes de trabajo promedio	30
Industria química	27
trabajo en oficinas / tiendas	5
Descarga eléctrica por rayo	0.1

los riesgos por actividades de trabajo son un promedio de la población activa, otros son promedios para la población total.

En general, para detectar los riesgos inherentes al público, a partir de una actividad peligrosa y que pueden ser tolerables al desempeñarla; los "uno en un millón". (1×10^{-6} / Y) de riesgos son frecuentemente tomados dentro del orden de lo tolerable. Algunas autoridades han propuesto criterios para riesgos que podrían afectar al público, en circunstancias particulares, los cuales no exceden de 10^{-5} , 10^{-6} y los niveles bajos, con los cuales los riesgos pueden ser considerados insignificantes, 10^{-6} a 3×10^{-7} , 10^{-8} . Las diferencias son en parte debidas a los diferentes caminos para predecir los riesgos, comparándolos contra los criterios. Cuando se usa algún criterio en una evaluación es importante que las suposiciones fundamentales sean comprendidas.

Es importante no perder de vista la incertidumbre inherente en las cuantificaciones de riesgo y hacer juicios en las comparaciones utilizando predicciones con criterio. Con frecuencia las técnicas son usadas en una proporción comparativa más que de un modo absoluto. En la fig. 2.15 por ejemplo el cambio son las alteraciones desde "A a B" pudiendo ser consideradas como una importante mejora, sin ser considerada para el valor actual en la predicción de riesgos.

Las evaluaciones del riesgo social son más problemáticas. El análisis requiere la estimación del área afectada por un evento peligroso dado, para ser combinada con el número de personas que se encuentran dentro del área,

dando así una aproximación de las pérdidas totales. Para considerar el rango de eventos posibles y sus posibles consecuencias, se puede generar las curvas llamadas FN (ver fig. 2.16)

Esta aproximación es en principio relevante para cuando se prueba que el riesgo individual es bajo; pero la posibilidad de eventos con consecuencias muy severas tienen que ser considerados; como algunos peligros por transporte. Sin embargo, las predicciones de los riesgos a la sociedad están sujetos a incertidumbre al igual que el riesgo individual, particularmente cuando este proviene de los extremos de la consecuencia (N alto) a una frecuencia (F baja). Además se tiene uno o más argumentos y menos acuerdos sobre los criterios frente a las predicciones calculadas.

Para finalizar, el análisis de peligros debe ser acompañado de todo el desarrollo y del procedimiento de planeación para un proceso nuevo o planta química y debe estar bien detallado hasta que el proceso quede bien definido. La figura 2.17 muestra como ejemplo el procedimiento adoptado en Bayer AG de Leverkusen, Alemania.

Como se puede ver a partir de la ilustración, se han dividido las actividades de seguridad (lado derecho de la figura) en cuatro etapas detalladas. La correspondiente planeación o desarrollo de las etapas son mostradas en el lado izquierdo del diagrama. Al final de cada etapa de seguridad desarrollada (lado derecho), requerimos una inspección final, la cual sobre una conclusión positiva tiene como resultado una certificación de la evaluación. Solamente con una certificación acertada el procedimiento puede seguir adelante.

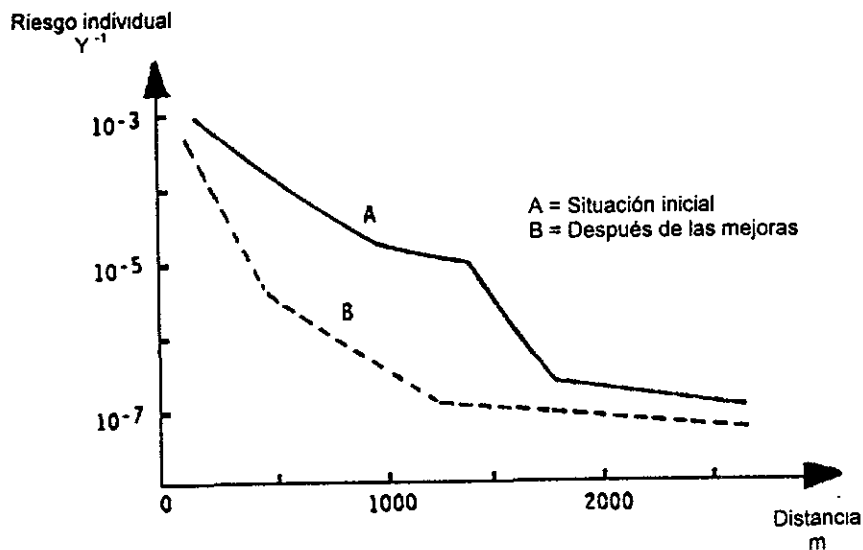


Fig. 2.15 Ejemplo del perfil de riesgo, mostrando su variación con la distancia a partir de la fuente del peligro

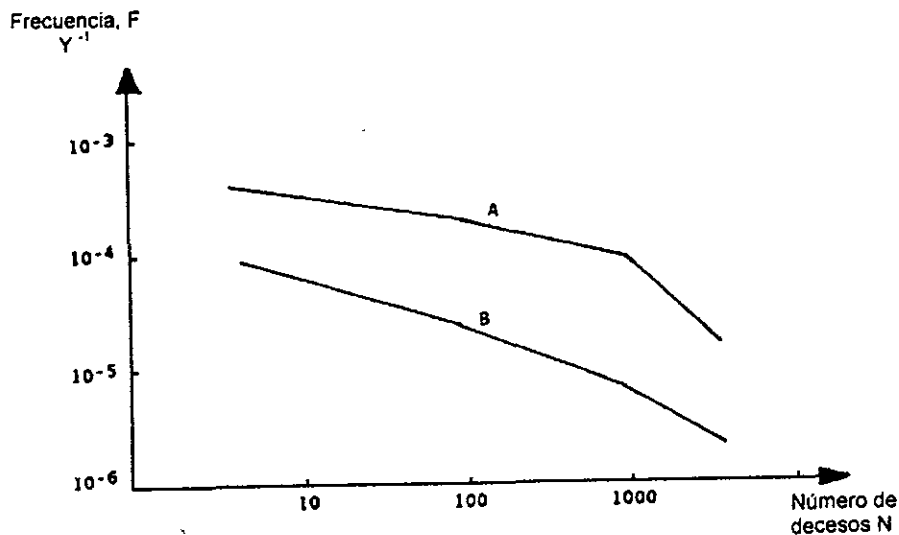


Fig. 2.16 Curvas FN para indicar la frecuencia, F , de accidentes que causan N o más decesos, para las opciones A y B

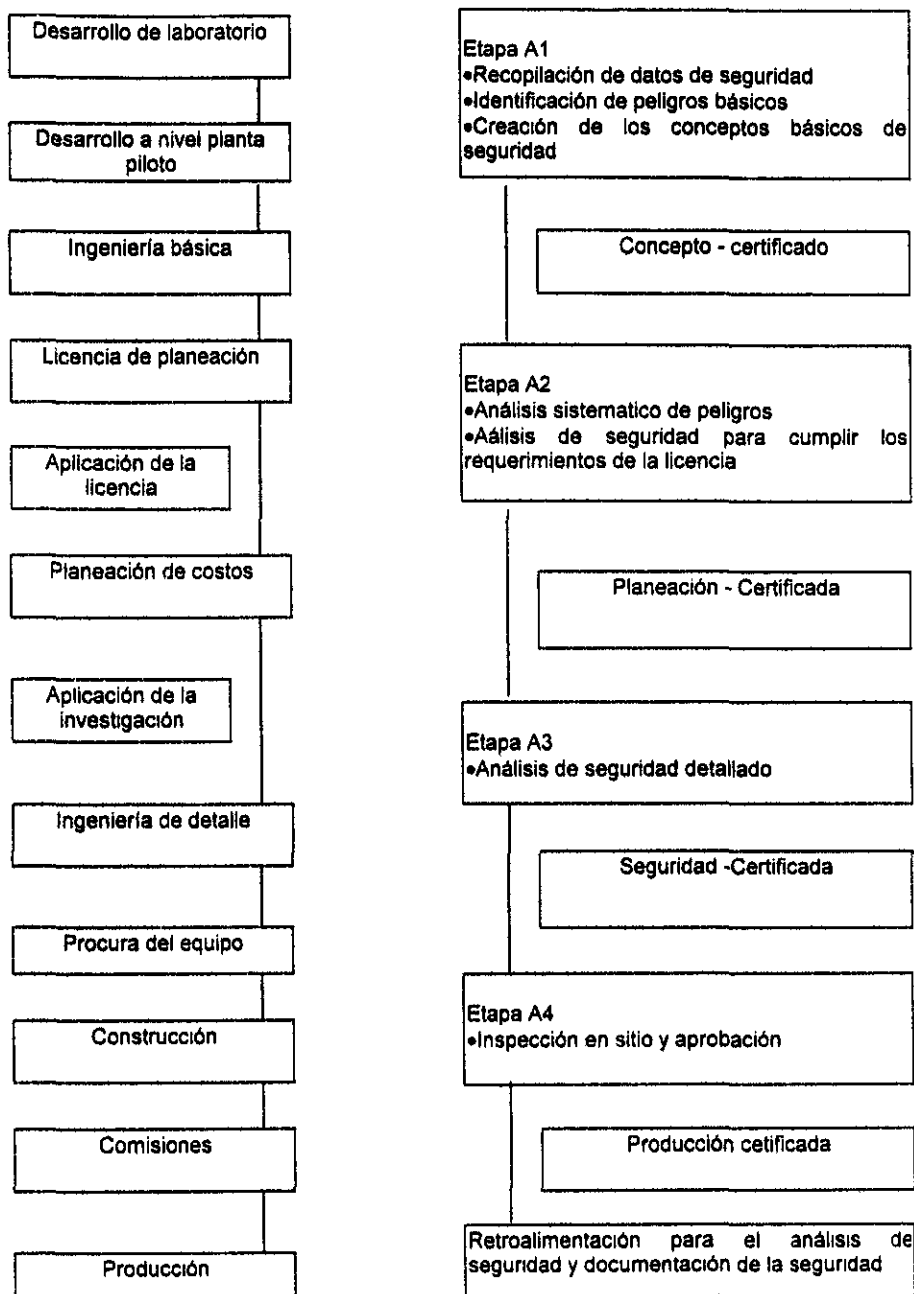


Fig. 2.17 Procedimiento Sistemático de Análisis

El análisis de peligros puede ser integrado en una serie de pasos lógicos y un procedimiento iterativo ,alternándolos entre el análisis (esto es: identificación y evaluación de peligros) y la síntesis (esto es: diseñando una medida adecuada para protegerse en contra de los peligros).

Dado que alguna medida inducida contra un peligro puede crear uno nuevo en cierto momento y en otro punto del proceso, el análisis debe de ser un procedimiento iterativo con ciclos de respaldo, procediendo de uno a los siguientes pasos. Esto es ilustrado en la figura 2.18.

Una aproximación sistemática es necesaria en el análisis de peligros, pudiendo ser alcanzada primero por un seguimiento riguroso del diagrama de flujo de proceso, tomando unidades de operación, o por un seguimiento cronológico de un procedimiento dado. Segundo, esta puede ser respaldada por la aplicación de ciertas herramientas las cuales pueden dar asistencia.

La tabla 2.4 da una visión global de los diferentes métodos disponibles, para la identificación y evaluación de peligros. La tabla lista cinco métodos diferentes, los cuales pueden ser usados para identificar peligros en una planta o proceso químico. Básicamente cuenta con dos diferentes principios de trabajo. Además de que da dos métodos de evaluación de peligros; uno en términos de probabilidad de ocurrencia y el otro por la evaluación de peligros en términos de las posibles consecuencias.

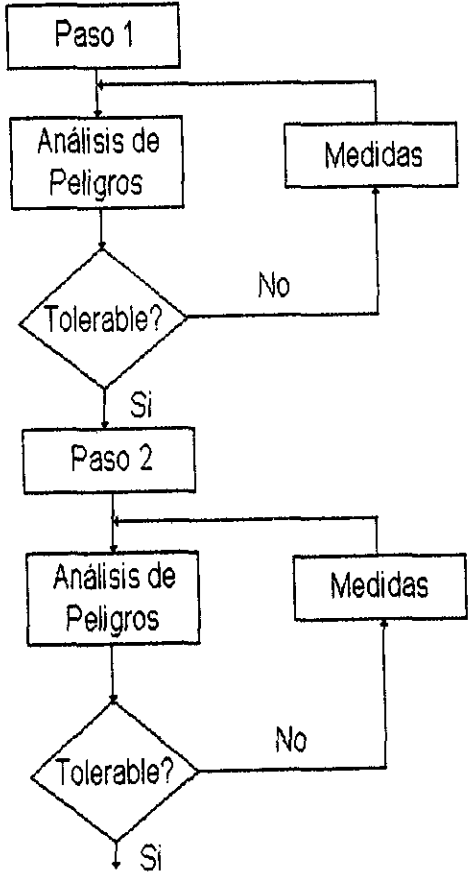


Fig. 2.18 Procedimiento iterativo para el análisis de peligros.

Muchos tipos de peligros y sus fuentes son lo bastante conocidas a partir de la experiencia. Tal experiencia puede ser descrita sistemáticamente y ser usada como un Checklist en la identificación de peligros. Considere el recipiente de reacción mostrado en la figura 2.19 , que es usado para llevar a cabo una reacción química exotérmica.

En una lista de verificación (Checklist), para la prevención de una reacción fuera de control, debemos considerar los posibles peligros que pudieran resultar de:

- Falta de suministro de energía (paro de la agitación)
- Falta de agua de enfriamiento
- Exceso de iniciador de la reacción.

En nuestro análisis debemos investigar si o no, estas cuestiones pueden causar un peligro. Dichos cuestionamientos pueden normalmente iniciar una investigación experimental adicional.

Para asegurar que estas cuestiones sean correctas se tiene que preguntar sobre todos los puntos, realizando un Checklist extensivo para poder determinar las "áreas de peligro". Tal lista de verificación cubre un tipo de peligro, por ejemplo una reacción fuera de control y cuestiona información sobre todos los problemas que pueden iniciar el peligro.

Una lista de verificación puede ser considerada para realizar un memory-jogger, mismo que es válido para otra técnica usada en la identificación; por

ejemplo otro tipo de reacciones peligrosas. Tal técnica puede hacer uso de las gráficas de relación o matrices, que en algún momento pueden averiguar acerca de todas las reacciones peligrosas en los materiales (ver fig. 2.20). En un proceso de reacción química de doble etapa; podemos inmediatamente señalar todas las combinaciones binarias que teóricamente son posibles, en una matriz bidimensional, de todas las sustancias presentes en nuestro proceso.

Algunas de las interacciones químicas mostradas en la matriz de la figura 2.20, pueden no ser físicamente relevantes, algunas no representan una amenaza y algunas otras pueden ser pobremente investigadas. Por otra parte una aproximación formal podría ayudar a evitar que se pase por alto un problema.

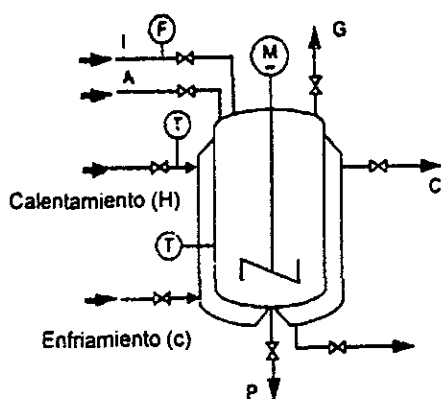
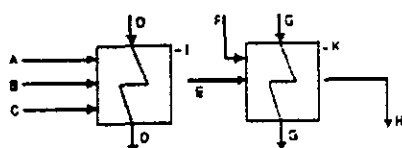


Fig. 2.19 Tanque de reacción con agitación



La gráfica muestra todas las combinaciones teóricamente posibles de sustancias y pruebas para reacciones potenciales no deseadas



Fig. 2.20 Uso de la carta de relación

Tabla 2.4 Métodos sistemáticos para el análisis de peligros

TAREA	OJETIVO	PRINCIPIO DE TRABAJO	MÉTODO
1) Identificación de peligros	1) Completar el concepto de seguridad	1) Memory- Jogging	1) Uso de Check-List 2) Cartas de relación
		2) Uso de registros Auxiliares	3) Análisis de efectos y modos de falla 4) Análisis de error 5) Estudio de operabilidad de peligro
2) Evaluación de los peligros de acuerdo a la probabilidad de ocurrencia	2) Optimizar los sistemas de seguridad con respecto a la integridad y disponibilidad	3) Representación de las interconexiones de las fallas en forma gráfica y evaluación de la probabilidad	6) Análisis de la secuencia del incidente (inductivo) 7) Análisis de árbol de fallas (deductivo)
3) Evaluación de los peligros de acuerdo a sus consecuencias	3) Minimizar el peligro potencial y establecer las medidas óptimas de protección	4) Análisis matemático de procesos físico-químicos	8) Análisis de consecuencia del peligro

Manteniendo un buen diseño del proceso y de la planta, un peligro puede solamente presentarse como resultado de una desviación de las condiciones normales, por algún error, por una falla o descuido. Se debe hacer una investigación sistemática de todas las desviaciones imaginables a partir de:

- Un correcto funcionamiento del equipo;
- Acciones humanas requeridas;
- Parámetros relevantes del proceso, funciones y sus consecuencias.

Un procedimiento semejante es aplicado para los métodos de análisis, usando tablas y palabras guía para ayudar a identificar las desviaciones, en:

- El análisis de efectos y modos de falla (FMEA)

- Análisis de error humano

- Estudios de operabilidad y peligro (HAZOP)

En el FMEA todos los peligros originados a partir del mal funcionamiento del equipo, son sistemáticamente identificados asumiendo que el equipo bajo investigación no funciona como es debido.

En el análisis de error humano se utilizan palabras guía para observar los errores humanos tales como:

"Primeros y últimos", "Incorrecto" (dirección, complemento) son aplicadas en el orden de acción requerido para identificar y analizar los peligros originados a partir de tales errores.

Finalmente el HAZOP, también utiliza palabras guía como: "MENOR QUE", "MAS QUE ", "LO CONTRARIO A", "NADA", son aplicadas a los parámetros de proceso como temperatura, presión, tiempo de residencia, flujo, etc. y las consecuencias son analizadas en orden para detectar los peligros.

CAPITULO III

METODOS DE ANALISIS Y EVALUACION DE RIESGOS

En primer lugar y sobre todo la dirección de la empresa, que puede causar un accidente importante, tiene el deber de luchar contra ese riesgo grave. Para ello, debe tener conciencia de la naturaleza del riesgo, de los acontecimientos que causan accidentes y de las consecuencias potenciales de esos accidentes. Esto significa que, para controlar con éxito un riesgo importante, la dirección debe poder contestar a las siguientes preguntas:

- a). ¿Las sustancias tóxicas, los explosivos o las sustancias inflamables constituyen un riesgo importante en las instalaciones?
- b). ¿Qué deficiencias o errores pueden ocasionar condiciones anormales que provoquen un accidente grave?
- c). Si se produce un accidente importante ¿cuáles son las consecuencias de un incendio, una explosión o un escape de sustancias tóxicas para los empleados, las personas que viven fuera de las instalaciones, la planta y el medio ambiente?
- d). ¿Qué puede hacer la empresa para impedir que esos accidentes se produzcan?
- e). ¿Qué puede hacer para mitigar las consecuencias de un accidente?

La forma más apropiada de contestar a esas preguntas es llevar a cabo una evaluación del riesgo, cuyo objetivo es entender por qué se producen los accidentes y como se pueden evitar o por lo menos atenuar.

Por lo tanto, una evaluación elaborada adecuadamente cumplirá con los siguientes esquemas:

- a). Analizará el concepto de seguridad existente o elaborará uno nuevo
- b). Determinará los riesgos restantes, y
- c). Establecerá medidas óptimas para la protección técnica y organizativa en los casos de funcionamiento anormal de la planta.

La evaluación de peligros es la piedra angular en la organización de un proceso global para la administración de un programa sobre seguridad (PSM). A través de los estudios de evaluación de peligros (HE) típicamente se involucra el uso de técnicas cualitativas para analizar las fallas potenciales del equipo y los errores humanos que pueden originar un accidente, los estudios pueden además ayudar en la administración de sistemas que conllevan el proceso de un programa de seguridad. Además, las técnicas individuales HE pueden ser usadas como parte de muchos otros elementos de un programa PSM. Por ejemplo, las técnicas HE pueden ser usadas: (1) para investigar las causas probables de un incidente que pueda ocurrir, (2) como parte de un programa en la administración de seguridad para una instalación, y (3) para identificar, los equipos críticos en seguridad; por mantenimiento especial, prueba o inspección como parte de un programa de integridad mecánica para la instalación.

Los estudios de evaluación de peligros pueden ser realizados a través de la vida de un proceso, como parte integral de la organización de un programa PSM. Estos estudios se pueden llevar a cabo para ayudar a manejar los riesgos de un proceso, a partir de las etapas más tempranas de la investigación y desarrollo; en el diseño detallado y la construcción; periódicamente a través del tiempo de operación; y continuando hasta que el proceso sea retirado y desmantelado.

En este capítulo se pretende dar una visión global de las metodologías, presentando sus propósitos, beneficios, costos y limitaciones. A continuación se listan las técnicas que serán tratadas en el presente capítulo:

- Revisión de seguridad
- Lista de verificación
- Rango relativo
- Análisis qué pasa si
- Análisis de peligro y operabilidad (HAZOP)
- Análisis de efectos y modos de falla
- Análisis de árbol de eventos
- Análisis de árbol de fallas
- Análisis causa-consecuencia
- Índice down y mond

3.1 Planteamiento de los objetivos

La administración debe tener claramente definidos los objetivos, alcance y delineamientos para cualquier evaluación de peligros. Estos puntos son *esenciales* - los analistas si no cuentan con una guía clara, pueden consumir tiempo examinando partes del proceso o situaciones que pueden ser de relativa importancia.

Un objetivo apropiado para un estudio HE, esta en función de varios factores, dependiendo en que fase de la vida del proyecto es cuando se realiza la evaluación de peligros. Obviamente, como un proyecto involucra, los tipos de situaciones peligrosas, el cambio de estas tiene que ser investigado a partir *de cuestiones generales sobre los procedimientos químicos básicos*, llegando a cuestiones más detalladas a cerca del equipo y procedimientos. La tabla 3.1 lista algunos objetivos típicos de la evaluación de peligros, en las diferentes etapas de la vida de un proyecto.

A través de la administración es necesario definir el alcance del estudio, su información no debe de ser compleja o restrictiva ya que el equipo de trabajo que realiza el HE se perdería entre esta. Por ejemplo, un equipo de trabajo puede estar encaminado a investigar el peligro potencial de una explosión, asociado a un colector de polvos. Si en el transcurso de la revisión, el equipo reconoce que el procedimiento para remover las partículas colectadas pueden exponer al operador a materiales peligrosos, estos deben tener la libertad para documentar este evento inesperado, poniendo sobre aviso a la administración. Similarmente, los analistas que investigan los peligros asociados con la

modificación de la tubería, pueden descubrir un problema potencial en el control de nivel en uno de los recipientes a los que se encuentra conectada la tubería. A un cuando se realicen las modificaciones de la tubería ni uno ni otro crea ni incrementa el problema de control de nivel, el analista puede ser asignado para documentar los resultados de futuras revisiones.

3.2 Información necesaria

La evaluación de peligros puede ser realizada usando cualquier información disponible a cerca del proceso, incluyendo diagramas de flujo preliminares; un conjunto de datos acerca del proceso químico; diagramas de tubería, instrumentación y control; hojas de datos; y procedimientos. Obviamente, se requiere más y más información y conocimientos a cerca del proceso, conforme avanza el estudio HE (tabla 3.2). De hecho la disponibilidad y detalle del proceso, de los diagramas de tubería e instrumentación y de los procedimientos de operación, pueden guiar al equipo que realiza la HE, en el uso de algunas técnicas detalladas como el HAZOP o el análisis de árbol de fallas. Finalmente la calidad de cualquier evaluación de peligros depende directamente de la calidad de la información disponible para el analista. Así, previamente se debe de conocer el estado del sistema para recolectar y documentar el proceso, todo esto es parte de la infraestructura necesaria como soporte en un programa HE.

Realmente, la información disponible para la realización de los estudios HE, varía durante la vida de un proyecto (fig. 3.1). Durante las primeras etapas, los equipos que realizan la HE solamente tienen acceso a datos básicos

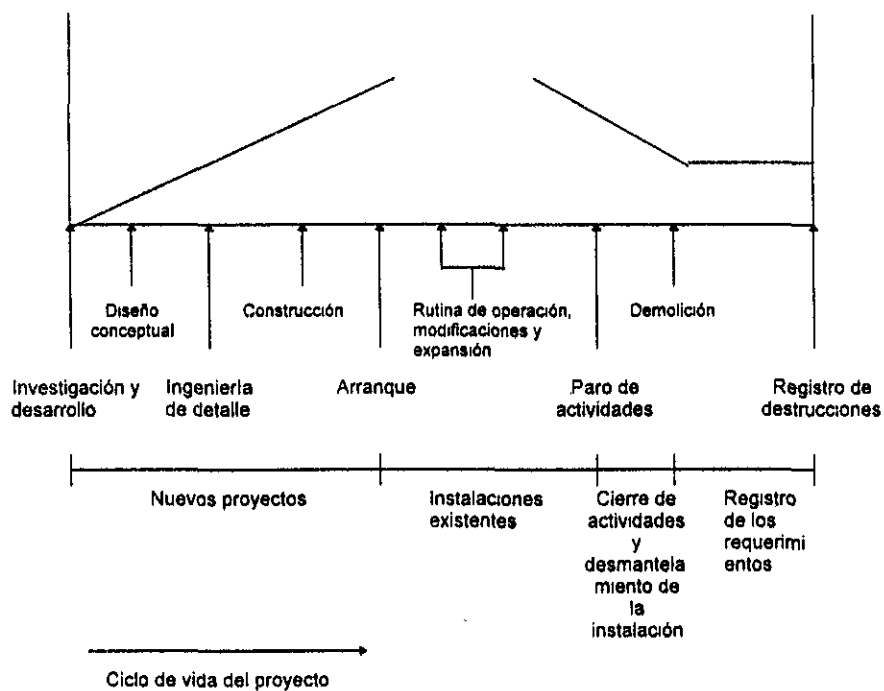


Fig. 3.1 Información requerida para una revisión de peligros

químicos, tales como puntos de ebullición, presiones de vapor, límites de inflamabilidad, datos de toxicidad, límites regulatorios, etc. Durante la vida de un proceso cuando se alcanza la fase de diseño detallado, no obstante, mucha de la información listada en la tabla 3.2 puede estar disponible y ser usada en la evaluación.

Posteriormente, durante la operación rutinaria del proceso (por ejem., para una revisión periódica de los peligros del proceso) toda la información listada en la tabla 3.2 debe de estar disponible. Mucha de esta información, como los diagramas de flujo de proceso, las especificaciones del equipo y procedimientos de operación, pueden ser detallados para cumplir los estándares OSHA, para la administración de la seguridad de los procesos que manejan sustancias químicas altamente peligrosas. Otra información como los plot-plan y reportes de incidentes, proporcionan una revisión con más perspectiva de los peligros potenciales. Esta información en conjunción con la usada en las etapas anteriores, forman la base para revisar el diseño, al igual que cualquier cambio subsecuente.

Al final de la vida de los proyectos, la información es importante para determinar las consecuencias, tales como: residuos generados por el proceso; reacciones potenciales del proceso y equipos que contengan materiales como aire, agua u óxidos; límites de exposición y liberación para cualquier residuo peligroso; y el impacto potencial en unidades adyacentes. Los flujos del proceso, controles, procedimientos de operación, etc., pueden no ser de gran relevancia.

Tabla 3.1 Objetivos típicos de las HE en las diferentes etapas de la vida de un proyecto.

FASE DEL PROYECTO	OBJETIVOS
Investigación y desarrollo	• Identificar las interacciones que pueden causar reacciones fuera de control, fuegos explosiones o liberación de gas tóxico. Identificar los datos necesarios para la seguridad del proceso.
Diseño conceptual	• Identificar las oportunidades para comparar la seguridad inherente con los sitios que pueden originar un peligro potencial.
Planta piloto	• Identificar las posibles vías por medio de las cuales un gas tóxico puede ser liberado al medio ambiente. • Identificar las vías para desactivar los catalizadores • Identificar los peligros potenciales ocasionados por interferencias de los operadores. Identificar las vías para minimizar los residuos peligrosos.
Ingeniería de detalle	• Identificar las posibles vías de una mezcla inflamable, a partir de un equipo de proceso. • Identificar como puede ocurrir un derrame. • Identificar que controladores de proceso funcionan mal, pudiendo causar una reacción fuera de control. • Identificar las vías para reducir la cantidad de material peligroso. Identificar el material crítico en seguridad y que puede ser regularmente probado, inspeccionado o darle mantenimiento.

FASE DEL PROYECTO	OBJETIVOS
Construcción y arranque	Identificar las situaciones de error que son parecidas tanto en el arranque como en los procedimientos de operación. Verificar que todos los problemas identificados a partir de previas evaluaciones de peligros son resueltos satisfactoriamente y que no originan nuevos problemas.
Construcción y arranque (continuación)	- Identificar los peligros adyacentes a las unidades y que pueden ser originados por los trabajadores durante la construcción y el mantenimiento - Identificar los peligros asociados con el procedimiento de limpieza de los recipientes - Identificar cualquier discrepancia entre la construcción del equipo y el diseño establecido.
Operación rutinaria	- Identificar los peligros a que está expuesto un trabajador durante el procedimiento de operación. - Identificar las vías por las que puede ocurrir una sobre presión. Identificar los peligros asociados con el equipo de servicio exterior.
Modificación de la planta	- Identificar si los cambios en la composición de la retroalimentación pueden crear un nuevo peligro o iniciar alguno más peligroso que el que ya existe (o empeorarlo). - Identificar los peligros asociados con el equipo nuevo.
Desmantelamiento	- Identificar como, los trabajos de demolición, afectan a las unidades adyacentes. - Identificar cualquier peligro por fuego, explosión o gas tóxico, asociados con los residuos remanentes en las unidades, después de cerrar la planta (parar actividades).

3.3 Personal y sus habilidades

El nivel y tipo de habilidades que el personal debe tener cuando participa en un estudio HE (evaluación de peligros) depende de varios factores, incluyendo el tipo de proceso o la operación analizada, la técnica seleccionada y el objetivo del análisis. En muchos procesos de seguridad los directores reconocen que en el análisis de peligros se debe tener experiencia en el uso y selección de las técnicas HE, se debe de tener una buena habilidad interpersonal o iniciativa, y se debe tener los suficientes expertos para entender el proceso u operación que deba ser analizada. Otros participantes proveerán el conocimiento detallado (por ejm., prácticas de mantenimiento y operación) o habilidades especiales (por ejm., diseño de sistemas de control) necesarias para realizar un estudio HE. Sin embargo los directores pueden en algún momento omitir algunos tipos de habilidades necesarias en una evaluación de peligros (y consecuentemente, el número de participantes en el equipo) dependiendo del propósito del estudio.

Se tienen tres participantes básicos y que son requeridos típicamente en un equipo HE: (1) coordinador o director, (2) secretario, y (3) expertos. El director provee la coordinación para el análisis, organiza y planea las actividades del análisis y facilita cualquier reunión del equipo como una parte del estudio. El director va a realizar un efectivo estudio HE si tiene amplias habilidades interpersonales y tiene un profundo conocimiento de los objetivos y del alcance del estudio. Normalmente, el director del equipo HE es el miembro más experimentado en la selección y aplicación de las técnicas HE. En

muchos casos los sucesos del estudio dependen directamente de las habilidades del director o coordinador.

El secretario es el individuo designado para formalizar los documentos de las discusiones que tiene lugar durante el estudio, en donde se usan técnicas tales como el HAZOP. Típicamente, el secretario puede ser alguien que no tenga experiencia en el uso y selección de las metodologías, pero tiene que manejar algunos conceptos básicos.

El resto del equipo se compone de expertos en varios aspectos del diseño y operación del proceso, así como en la evaluación. Estos miembros del equipo son seleccionados por sus conocimientos específicos sobre algunos aspectos del proceso que debe ser analizado, tales como la química del proceso; el diseño del equipo; los procedimientos de operación; las estrategias de control o las prácticas de mantenimiento. Como se muestra en la tabla 3.3, una variedad de profesionales pueden ser seleccionados para formar parte de un equipo de evaluación de peligros, pero la composición exacta del equipo depende del tipo de proceso que sea analizado en que etapa del proceso se encuentre, de cuales sean los objetivos de la evaluación, de que técnicas HE hayan sido seleccionadas y de los recursos disponible

Ocasionalmente, mas de uno de los equipos básicos para las HE puede ser satisfecho por un solo individuo. Por ejemplo, el director puede ser un ingeniero metalurgista quien es un experto en las prácticas de inspección a que se encuentra sujeto el proceso. O una persona puede ser el experto en diseño como también lo puede ser en seguridad para el proceso. Sin embargo,

el grupo de directores de los equipos HE no puede permitir que las personas tengan demasiado desgaste. Por ejemplo, en un HAZOP, este no puede ser realista para contar con algún experto de quien se necesita todo el tiempo completo para realizar eficientemente las tareas del secretario.

El número de miembros del equipo que pueden eficientemente jugar roles combinados, depende en gran medida de la complejidad del proceso y la experiencia de los miembros del equipo.

Una vez analizada la información que se requiere para realizar una evaluación de peligros se procederá a hacer una descripción de las metodologías antes mencionadas.

Tabla 3.2 Información usada para realizar un estudio HE

• Ecuaciones de las reacciones químicas y estequiometría para las reacciones más importantes • Naturaleza y tipo de catalizador empleado • Discusión de las consideraciones para un diseño especial, que son requeridas para cuando se involucra un único peligro, como las propiedades de las sustancias químicas • Datos de reactividad química en todas las corrientes incluidas en el proceso químico • Datos de cinética para reacciones importantes, incluyendo el orden, constante de velocidad, aproximación al equilibrio, etc.	• Bases de diseño para los sistemas de seguridad • Diagramas de tubería e instrumentación • Diagramas de flujo de proceso y una descripción de las etapas del mismo o de las unidades de operación involucradas, iniciando con el almacenaje de materias primas, preparación de la alimentación y finalmente con la conversión a productos y su almacenaje • Diagramas lógicos y planos de circuitos de instrumentación • Descripción de la filosofía general de control (identificando las variables primarias de control y las razones para su selección)

• Datos de cinética para reacciones no deseadas, tales como descomposiciones y autopolimerizaciones • Límites regulatorios y/o límites permisibles • Datos de seguridad, salud y medio ambiente, para materias primas, intermedios, productos, subproductos y residuos • Procedimientos y planes de respuesta a emergencias • Políticas de la corporación sobre seguridad • Reporte de incidentes • Estudios previos de seguridad • Lista de verificación y estándares internos • Estándares y códigos aplicables • Datos meteorológicos • Datos de distribución poblacional • Datos sobre sitios hidrológicos • Reportes de pruebas e inspección • Descripción de los sistemas de control y alarma • Procedimientos de operación (indicando los parámetros críticos) • Procedimientos de mantenimiento • Estado límite del proceso, en términos de presión temperatura, concentración, relación alimentación catalizador, etc., junto con la descripción de las consecuencias de la operación más allá de los límites • Experiencia en la industria	• Base de diseño para los sistemas de ventilación • Bases de diseño para sistemas de relevo • Bases de diseño para los sistemas de protección contra fuego • Diagramas de fabricación, operación, control y seguridad • Varianzas • Plot-plans • Diagramas de clasificación de áreas eléctricas • Layout's de edificios y equipos • Clasificación del equipo eléctrico • Balances de materia y energía • Inventario del material mayor • Catálogos de equipo • Hojas de datos de válvulas e instrumentos • Especificaciones de tubería • Especificaciones de servicios • Hojas de datos para equipo mecánico • Diagramas de instalación eléctrica • Diseño de sistemas de control computarizado

Tabla 3.3 Candidatos para formar parte de un equipo HE

Químico	• Ingeniero mecánico
Ingeniero civil	• Médico
Representante de construcción	• Metalurgista
Administrador de seguridad	• Supervisor de operaciones
Ingeniero eléctrico	• Técnico/operador
Ingeniero ambiental	• Consultor externo
Experto de otra planta	• Ingeniero de proceso
Ingeniero de protección contra fuego	• Programador del control de proceso
Líder/experto en evaluación de peligros	• Ingeniero de proyecto
Especialista en factores humanos	• Registrador/secretario
Higienista industrial	• Ingeniero de investigación y desarrollo
Técnico/ingeniero en inspección	• Ingeniero de seguridad
Técnico/ingeniero instrumentista	• Jefe de turno
Interprete	• Toxicólogo
Supervisor de mantenimiento	• Especialista en transportación
Planeador de mantenimiento	• Representante de ventas.
• Eléctrico/tubero/mecánico	•

3.4 Técnicas de evaluación

3.4.1 Revisión de Seguridad

Descripción.

Indudablemente, la técnica revisión de seguridad fue el primer método utilizado. Esta técnica puede referirse como una revisión de seguridad para el proceso, una revisión del diseño o una revisión para la prevención de pérdidas, puede ser usada en cualquier etapa de la vida de un proceso. Cuando se realiza en instalaciones existentes, la revisión de seguridad típicamente involucra una inspección física a través de estas; lo cual puede ser informal, visual de rutina, hasta una examinación formal.

Las revisiones de seguridad son destinadas a identificar las condiciones de la planta o los procedimientos de operación que pueden guiar a un accidente y resultar en daños, impactos significantes a la propiedad y el medio ambiente. Una revisión de seguridad típica incluye entrevistas con el personal de la planta: operadores, cuerpo de mantenimiento, ingenieros, administradores, personal de seguridad y otros, dependiendo de la organización de la planta. Las revisiones de seguridad pueden ser vistas como trabajos cooperativos para implantar la seguridad global y un buen funcionamiento de la planta, más bien tratando de evitar las interferencias a las operaciones normales o como una reacción inicial para un problema percibido.

La revisión de seguridad usualmente se enfoca a las situaciones de mayor riesgo. Una revisión de seguridad puede ser complemento de otras actividades

del proceso de seguridad, tales como las rutinas de inspección visual, y otras técnicas como el análisis de lista de verificación y el análisis qué pasa si.

Propósito.

Las revisiones de seguridad pueden ser empleadas para asegurar que la planta, sus operaciones y prácticas de mantenimiento cumplen con el diseño y con los estándares de construcción. El procedimiento en la revisión de seguridad (1) mantiene al personal de operación, alerta de los peligros del proceso, (2) revisa los procedimientos de operación, (3) trata de identificar el equipo o los cambios en el proceso que pueden introducir nuevos peligros, (4) evalúa las bases de diseño de los sistemas de seguridad y control, (5) revisa la aplicación de nuevas tecnologías a los peligros existentes, y (6) revisa la adecuación de las inspecciones de seguridad y mantenimiento. La técnica revisión de seguridad es con frecuencia usada para realizar una pre revisión de seguridad para un proceso.

Tipos de resultados.

Los resultados son una descripción cualitativa de los problemas potenciales en la seguridad y sugiere acciones correctivas. El reporte del equipo de inspección incluye las desviaciones a partir del diseño así como de los procedimientos autorizados y las listas de problemas en seguridad recientemente descubiertos. Deslinda o atribuye responsabilidades para implementar la acción correctiva.

Recursos requeridos.

Para una revisión completa, los miembros del equipo deben de tener acceso a: códigos y estándares aplicables; estudios previos sobre seguridad; descripción detallada de la planta; así como a los diagramas de tubería e instrumentación y diagramas de flujo; procedimientos de arranque y paro, operación normal, mantenimiento y emergencias para la planta; reportes de daños al personal; reportes de incidentes peligrosos; reportes de mantenimiento, tales como chequeo de instrumentos críticos, pruebas en válvulas de relevo, e inspección a los recipientes de presión; y características de los materiales de proceso (toxicidad, reactividad, etc.).

El personal asignado a la revisión de seguridad debe estar familiarizado con los procedimientos y estándares de seguridad. Además debe tener experiencia y destreza en las técnicas especiales que son un soporte para la evaluación de sistemas eléctricos, instrumentación, recipientes a presión, materiales de proceso y química y otros tópicos de énfasis especial. La tabla 3.4 lista las estimaciones del tiempo necesario para cada miembro del equipo para realizar una revisión de seguridad.

Tabla 3.4 Tiempos estimados en el uso de la técnica revisión de seguridad.

ALCANCE	PREPARACION ^a	EVALUACION	DOCUMENTACION ^a
SISTEMA PEQUEÑO/SIMPLE	2 a 4 hrs	6 a 12 hrs	4 a 8 hrs
PROCESO LARGO/COMPLEJO	1 a 3 días	3 a 5 días	3 a 6 días

^a: la realiza principalmente el líder del equipo

3.4.2 LISTA DE VERIFICACION

Es una lista de preguntas acerca de la organización, operación, mantenimiento y otras áreas de interés de la planta.

Descripción

Como una técnica de identificación de peligros, las listas de verificación son empleadas para verificar varios de los requerimientos que no han sido revisados. Por lo tanto, usualmente se emplean para realizar actividades establecidas (por ejem., diseño conceptual, desarrollo del diseño, construcción, etc.) así como también las que tienen que ser completadas. Las listas de verificación se basan principalmente en la experiencia, pero puede además basarse en códigos y estándares.

Cuando se genera una lista de verificación efectiva, esta puede identificar áreas adicionales por medio de la experiencia y que pueden ser incluidas. Por ejemplo, una lista que verifica el diseño completo puede incluir aspectos eléctricos, de control, mecánicos y civiles, así como también atributos específicos del proceso tales como límites de explosividad, reactividad umbral o inflamabilidad. Una vez que todas las áreas han sido identificadas de acuerdo a la experiencia, el arreglo puede ser hecho para asegurar los servicios del personal competente en cada una de las áreas. La lista debe de incluir un resumen de sus objetivos, las recomendaciones a implementarse y el número de personal calificado que es requerido para complementar el análisis.

El nivel de detalle para una lista de verificación específica está directamente relacionado con el nivel de complejidad del sistema que se está analizando. Los requerimientos pueden ser estructurados para identificar problemas que en un futuro llamen la atención y para asegurar que los estándares, prácticas industriales y procedimientos son correctamente seguidos.

La lista de verificación puede ser establecida y usada durante la vida de un proyecto incluyendo el desmantelamiento. Este requiere de una evaluación periódica para asegurar su integridad y su precisión. Una lista puede ser actualizado después de cada modificación implementada y después de cada etapa, cuando el equipo es reemplazado o modificado substancialmente.

Documentación de soporte

Los objetivos de la lista de verificación, dictan el tipo de soporte documental que es necesario para su desarrollo. La lista puede ser creada para una amplia gama de propósitos; así como también para varias etapas de la vida de un proyecto; por lo anterior la documentación de soporte para la lista desarrollada podrá variar de una lista a otra. La siguiente información debe ser tomada en cuenta para identificar los atributos de la lista desarrollada tanto en el diseño como en la operación de la planta.

Operación de la planta: Los procedimientos de operación, incluyen el arranque y paro; procedimientos de inspección y mantenimiento; manual de operación; diagramas de sistemas, incluyendo los diagramas del sistema de soporte y participación; las especificaciones del vendedor y manuales; plot-

plan; historial del funcionamiento del equipo; descripción de los controles; procedimientos de emergencia; reportes de problemas generados.

Diseño de la planta: Diagramas de tubería e instrumentación (DTI's); diagramas de flujo de proceso (DFP's); diagramas eléctricos; diagramas de control lógico; balances de materia y energía, clasificación de áreas eléctricas y de fuego; plot-plan; criterios de diseño y operación; temperaturas y presiones de diseño; materiales de construcción; diagramas de arreglo de equipo; especificaciones de compra; manuales de venta; estándares establecidos (por ejem., prácticas relacionadas con el manejo especial de sustancias tóxicas, inflamables, corrosivas o reactivas).

Implementación de la metodología

La lista de verificación puede ser aplicada durante todas las etapas de la vida de un proyecto. Durante la ingeniería conceptual y el desarrollo del diseño; auxilia a identificar los peligros potenciales, las medidas de seguridad y las áreas que pueden requerir de un futuro estudio. La realización de las listas son un medio efectivo para verificar las pruebas, para aseguramiento de la calidad y el establecimiento de estándares.

Al inicio de la operación las listas auxilian al operador en el manejo de los sistemas en la operación de la producción y en la pruebas del funcionamiento del equipo. Las listas direccionan, cuando es necesario, las condiciones del equipo para la operación normal; tales como los sistemas de descarga, sistemas de purga y secado, instalación de bridas ciegas o sellos en válvulas. Las funciones de la lista de verificación aseguran que la instalación sea

operada de acuerdo a los procedimientos y que el personal realice los reajustes en línea, pruebe los sistemas que se encuentran fuera y verifique el alineamiento de estos (esto es importante para las operaciones Batch). La lista cierra con la verificación del estado del equipo previa al mantenimiento, especialmente cuando se tienen operaciones peligrosas. Puede además asegurar la disposición de sistemas alternativos, lo cual es importante para mantener un proceso continuo, en donde puede ser realizado el mantenimiento en línea y proveer un sistema de información cruzado (en varias direcciones) para que el procedimiento de mantenimiento sea el adecuado.

Las listas de verificación pueden ser preparadas por un grupo de expertos, aunque también puede ser implementado por personal con poca experiencia, quien podría requerir suficiente entrenamiento para que se les facilite completar la lista.

Resultados

Los resultados de una lista son de naturaleza cualitativa. Proveen un buen panorama del grado de complejidad de los procedimientos preestablecidos, además de identificar los peligros potenciales. Puede proveer el estado en que se encuentra cada operación (verifica las condiciones de operación de los sistemas).

La lista de verificación no provee ninguna intuición acerca de las interacciones entre los sistemas; nada más provee el estado del sistema en cuestión. Por ejemplo, nada más atribuye una respuesta "sí" o "no" al funcionamiento de una bomba; pero no indica si este funcionamiento es el

correcto, dado que no puede dar alguna información de las razones por las que falla la bomba.

Ventajas y desventajas

Es una técnica sencilla para la identificación de peligros. Durante el desarrollo de una lista se requiere de personal con experiencia, de personal con poca experiencia pero que ha sido debidamente instruido en la aplicación de la metodología. Se basa en la aplicación de una o varias reglas o sigue uno de los instructivos para analizar alguna actividad en particular que es requerida en algún momento.

Una lista de verificación provee una documentación sencilla acerca del estado de alguna actividad, pero no da una priorización de dichas actividades marcándolas como inaceptables. Puede determinar solamente el foco de peligro de una sola actividad en algún momento determinado, pero no puede identificar los peligros como un resultado de las interacciones entre los procedimientos o actividades. La lista además tiende a delimitar el foco inmediatamente, restringiendo al personal el uso de su imaginación para identificar las áreas con problemas potenciales. La desventaja más significativa, es que solamente será bueno cuando más habilidad y experiencia tenga el realizador. Una lista preparada por un inexperto puede no incluir actividades críticas que pueden conducir a la identificación de peligros. Finalmente, si las listas no son verificados independientemente, se puede correr el riesgo de omitir actividades o de que no sean detectadas.

Ejemplo de una lista de verificación

El siguiente ejemplo puede ser desarrollado para asistir al análisis de peligros en la identificación de problemas que pueden requerir de atención posterior. El ejemplo es general y por consiguiente se tiene que dividir en secciones, expresando los objetivos y describiendo las áreas. la lista puede ser modificada para reflejar los objetivos específicos y dar prioridad para su aplicación en las instalaciones existentes.

Lista de verificación A Administración y organización de la planta

Pregunta	Sí	No	Observ
1. Organización.			
a) Se cuenta con el diagrama de la organización corporativa, detallando las áreas de responsabilidad para cada división y el nombre y número telefónico de la persona responsable.	☐	☐	
b) Se cuenta con el diagrama de la organización divisional, identificando a los supervisores; sus funciones y asignaciones de grupo; además de los nombres del personal en cada grupo.	☐	☐	
c) Se tiene un procedimiento para actualizar periódicamente los diagramas y distribuir al personal apropiadamente.	☐	☐	
d) Las áreas son delimitadas por los especialistas para una referencia rápida (por ejem., por los inspectores contra fuego, supervisor de seguridad, coordinador de respuesta a emergencias) ?	☐	☐	
e) Son adecuadas las instalaciones con que se cuenta (oficinas, almacenes, laboratorios, biblioteca, etc.)?	☐	☐	
f) Se dispone de personal con la experiencia técnica?	☐	☐	
g) Se tienen algunos planes de expansión o modernización de las instalaciones?	☐	☐	
2. Administración.			
a) Operadores de la planta			
1. Se dispone fácilmente de los procedimientos de operación de la planta?	☐	☐	
2. Se encuentran disponibles los procedimientos de emergencia?	☐	☐	
3. Son evaluados periódicamente los operadores para checar su competencia?	☐	☐	
4. Los operadores son periódicamente capacitados?	☐	☐	
5. Se tienen formalizados los programas de entrenamiento?	☐	☐	
6. Los operadores son periódicamente entrenados por medio de simulacros de situaciones de emergencia?	☐	☐	
b) Grupo de mantenimiento			
1. Son adecuadas las instalaciones con que se cuenta (por ejemplo, oficinas, almacenes, áreas de mantenimiento, biblioteca)?	☐	☐	
2. Se encuentran disponibles los manuales del equipo, para una rápida referencia?	☐	☐	
3. El personal es periódicamente entrenado y capacitado en nuevas técnicas?	☐	☐	
4. El personal se encuentra respaldado por un grupo de ingenieros o profesionales en mantenimiento?	☐	☐	
5. Se cuenta con un programa para dar mantenimiento preventivo y correctivo?	☐	☐	
6. Las actividades son identificadas, catalogadas y seguidas por el grupo de ingenieros?	☐	☐	

7. Se cuenta con las funciones y responsabilidades, especialmente en las interfaces de inspección y seguridad, se encuentran bien definidas?

☐ ☐

c) Grupo de respuesta a emergencias

1. ¿Cuál es el mecanismo que hace que quede fuera de operación la planta en caso de que se presente una emergencia por fuego?

☐ ☐

a) por un botón de alarma para activar el sistema de emergencia de paro

☐ ☐

b) por medio de un motor individual que opera las válvulas

☐ ☐

c) por una alarma contra fuego para activar el sistema

☐ ☐

d) operando manualmente las válvulas

☐ ☐

2. Se dispone de un plan de respuesta a emergencias, respaldado por la dirección?

☐ ☐

3. Se cuenta con los procedimientos para poner en marcha el plan?

☐ ☐

4. Protocolo de emergencia: se encuentra notificada su secuencia, es adecuadamente desplegado en el área de operación y en el cuarto de control?

☐ ☐

5. Periódicamente el plan es evaluado y actualizado?

☐ ☐

6. Las autoridades locales conocen las características y el entrenamiento del plan?

☐ ☐

7. Se cuenta con el equipo para atender una emergencia, se le da mantenimiento adecuado?

☐ ☐

8. Se cuenta con procedimientos para la retroalimentación y recuperación de detalles en el plan?

☐ ☐

Lista de verificación B. Operaciones generales

Pregunta	Sí	No	Observ.
1. Control de inventarios.			
a. Las sustancias almacenadas en las instalaciones son peligrosas?	☐	☐	
b. Se mantienen los inventarios en un nivel mínimo aceptable?	☐	☐	
c. Se cuenta con alarmas y detectores para escapes o derrames?	☐	☐	
d. Se cuenta con inventario con una estructura segura (por ejem., se tienen amontonados los barriles en un máximo de dos hileras de alto)?	☐	☐	
e. El área de almacenaje concuerda con los códigos del edificio local (por ejem., servicios eléctricos, protección contra fuego, etc.)?	☐	☐	
2. Área de producción.			
a. El peligro de las sustancias empleadas en el proceso es de alguna manera aceptable?	☐	☐	
b. Se encuentra protegida el área contra operaciones adyacentes?	☐	☐	
c. La instrumentación del proceso tiene un mantenimiento adecuado?	☐	☐	
d. La instrumentación local es fácilmente accesible para los operadores a partir de paneles de control local?	☐	☐	
e. Las válvulas se encuentran conectadas al dren?	☐	☐	
f. Se mantiene la abertura de las válvulas en la posición apropiada para la operación?	☐	☐	
g. Se tienen alarmas locales que den alerta a los operadores sobre algún problema?	☐	☐	
3. Descargas de productos intermedios.			
a. Todos los productos intermedios peligrosos son adecuadamente identificados?	☐	☐	
b. Son monitoreadas las descargas?	☐	☐	
c. Se cuenta con medidas en el sitio para prevenir descargas inadecuadas?	☐	☐	
d. Las descargas son dirigidas a quemadores o lavadores?	☐	☐	
4. Manejo del producto final.			
a. El producto es empaquetado para ser usado en el sitio o para ser usado fuera del sitio?	☐	☐	
b. El producto está adecuadamente protegido de otras operaciones?	☐	☐	
c. El producto se encuentra adecuadamente identificado?	☐	☐	
5. Control de operaciones y comunicaciones.			
a. El sistema de comunicaciones cubre todas las áreas de operación?	☐	☐	

- b. Se tiene un registro de los cambios hechos por mantenimiento? se cuenta con documentos sobre las alarmas de la planta, condiciones anormales y de emergencia? se cuenta con hojas de registro (bitácora) o con un registro automatizado del dispositivo empleado? ☐ ☐
- c. El superintendente lleva un registro para evaluar a los operadores y el funcionamiento de las operaciones? ☐ ☐
- d. Los entrenamientos son supervisados de cerca por operadores certificados? ☐ ☐
- e. Se cuenta con una guía de procedimiento en el lugar para que el operador aclare alguna duda? ☐ ☐
- f. Las operaciones del manual son identificadas por el operador para ser contrastadas con las condiciones actuales? ☐ ☐
- g. El personal de mantenimiento es notificado inmediatamente de las fallas en el área? ☐ ☐
6. Documentación.
- a. Se cuenta con los diagramas de la planta actualizados? ☐ ☐
- b. Cuando los diagramas son actualizados, este procedimiento se realiza para todas las copias controladas ☐ ☐
- c. Se cuenta con un procedimiento para controlar la distribución de los diagramas y otros documentos? ☐ ☐
- d. Son apropiados los grupos asignados para actualizar y mantener los procedimientos? ☐ ☐
- e. Manuales de operación
- 1). El manual del supervisor es claro y conciso? ☐ ☐
- 2). El contenido del manual del supervisor se interrelaciona con las instrucciones del vendedor? ☐ ☐
- 3). Las instrucciones del manual del vendedor son fácilmente entendibles? ☐ ☐
- 4). El manual contiene:
- a). Diagramas de flujo de proceso (DFP)? ☐ ☐
- b). Diagramas de tubería e instrumentación (DTI)? ☐ ☐
- c). Puntos de ajuste para alarmas? ☐ ☐
- d). Puntos de ajuste para válvulas de rellevo de presión (PSV)? ☐ ☐
- e). Ejemplificación de las técnicas? ☐ ☐
- f). Especificaciones del producto? ☐ ☐
- g). Pruebas requeridas en laboratorio? ☐ ☐
- f. Instrucciones de operación
- 1). Existen instrucciones para cada una de las válvulas? quién las especifica? ☐ ☐
- 2). Las instrucciones son usadas durante el entrenamiento de los operadores? ☐ ☐

- 3). Las instrucciones son actualizadas basándose en la experiencia y en los cambios hechos en la planta? ☐ ☐
- g. Manual de cambios
- 1). Es revisado por el gerente de la planta? ☐ ☐
- 2). Se frecuentan las bitácoras de alarmas? ☐ ☐
- 3). Todas las equivocaciones o errores son documentados en una bitácora? el operador da explicaciones? ☐ ☐
7. Operaciones de la planta.
- a.Cuál es el factor de operación de la planta (capacidad)? ☐ ☐
- b. Cuáles son las causas más frecuentes que ocasionan paros no establecidos?
- 1). Interrupciones en el suministro de energía ☐ ☐
- 2). Falla en los servicios
- a). Suministro de vapor ☐ ☐
- b). Agua de enfriamiento ☐ ☐
- c). Aire de instrumentos ☐ ☐
- 3). Falla del equipo mayor ☐ ☐
- 4). Falla en calderas ☐ ☐
- 5). El cruce de sistemas induce el paro ☐ ☐
- 6). Errores del operador ☐ ☐
- c. Cuáles áreas de la planta requieren la atención más frecuente del operador? ☐ ☐
- d. Cuál es el porcentaje del personal que se ha rotado en varios departamentos?
- 1). De operación ☐ ☐
- 2). De mantenimiento ☐ ☐
- e. Cómo son transmitidos los cambios que tienen que realizar los operadores?
- 1). En el cambio de turno ☐ ☐
- 2). En el cuarto de control ☐ ☐
- 3). En el relevo de vigilancia de la planta ☐ ☐
- 4). Solamente se hace verbal ☐ ☐
- 5). Se realiza en forma verbal y por escrito ☐ ☐
- f. Los operadores son rotados en diferentes áreas de la planta en forma regular? ☐ ☐
- g. Los nuevos operadores son entrenados en la planta? ☐ ☐
- h. Los operadores son evaluados en forma regular para determinar su capacidad? ☐ ☐
8. Entrenamiento.

- a. Los programas de entrenamiento son efectuados con frecuencia? ☐ ☐
- 1). Se cuenta con operadores apegados a los requerimientos de calificación y destreza? ☐ ☐
- 2). Las exámenes son realizadas en forma oral? ☐ ☐
- 3). Las exámenes son realizadas en forma escrita? ☐ ☐
- 4). Las simulaciones de emergencia se encuentran establecidas? ☐ ☐
- 5). Las alternativas en los modos de operación son discutidas y reinvestigadas? ☐ ☐
- 6). El equipo es revisado por personal calificado? ☐ ☐
- 7). Las sesiones de entrenamiento son realizadas durante las modificaciones y funcionamiento de la planta? ☐ ☐
- 8). Todo el tiempo es asignado un instructor de entrenamiento para los operadores de proceso y personal de mantenimiento? ☐ ☐
- 9). Se cuenta con una área de entrenamiento que contenga aparatos auditivos y audiovisuales (por ejm., rotoprojector, T.V./videocassetera, proyector de acetatos, proyector de película, etc.)? ☐ ☐
- 10). Se encuentra disponible las memorias del curso de mantenimiento junto con los manuales, hojas de prueba, y otras herramientas del aprendizaje? ☐ ☐
- 11). Los operadores del proceso y personal de mantenimiento, se encuentran presentes cuando se realizan modificaciones a la planta o es instalado un nuevo equipo? ☐ ☐
-

Lista de verificación C. Mantenimiento

Pregunta	Sí	No	Observ.
1. Se cuenta con un programa de mantenimiento bien formalizado?	☐	☐	
a. El almacén cuenta con un procedimiento de control de inventarios?	☐	☐	
b. Se cuenta con un programa automatizado o manual para realizar el inventario?	☐	☐	
c. Se conoce el máximo de materiales peligrosos que pueden ser almacenados?	☐	☐	
2. Cómo son coordinadas las actividades del departamento de mantenimiento con las operaciones de la planta?	☐	☐	
3. El personal de mantenimiento se encuentra disponible cuando se le requiere para efectuar las operaciones?	☐	☐	
4. Usualmente el equipo es operado dentro del rango de diseño? si no, que problemas pueden presentarse?	☐	☐	
5. Se ha desgastado el equipo, forzado por los requerimientos de operación, quedando fuera de los parámetros de diseño?	☐	☐	
6. La operación de la instrumentación en el modo manual es a causa de:	☐	☐	
a. Problemas en la estabilidad del proceso?	☐	☐	
b. Mantenimiento inadecuado?	☐	☐	
7. Son analizados los funcionamientos para determinar la mejor aproximación:	☐	☐	
a. Reparación / Retraso	☐	☐	
b. Reparación / Reemplazo	☐	☐	
8. Cómo se determina una reparación o un reemplazo?	☐	☐	
9. Qué trabajos son hechos para probar el equipo?	☐	☐	
10. Cómo es retroalimentada e incorporada la nueva tecnología?	☐	☐	
11. Están disponibles las partes de repuesto? se fabrican con facilidad (son fáciles de encontrar)? todas las partes de repuesto son originales? se realiza periódicamente una inspección del inventario?	☐	☐	
12. Las partes de repuesto y los químicos son surtidos después del mantenimiento? cómo se determinan los niveles de las existencias? se dispone de un inventario de las partes de repuesto?	☐	☐	
13. Qué tipo de sistema de almacenaje existe? se inspeccionan nuevos materiales?	☐	☐	
14. Los inventarios de las partes de repuesto y de los químicos se encuentran interrelacionados con los de otras plantas?	☐	☐	
15. Los materiales de repuesto son de buena calidad o el artículo considerado se encuentra en buen estado? se considera el desuso de los repuestos (se hacen obsoletos)?	☐	☐	

16. Las partes de repuesto se encuentran disponibles para el mantenimiento durante un paro no programado?	☐	☐
17. Los materiales y los repuestos son clasificados de acuerdo al costo del reemplazo, frecuencia, intensidad del trabajo, actividad a desempeñar, origen, efecto en la producción o seguridad?	☐	☐
18. ¿Qué registro son realizados?		
a. Registro del grupo de personal y tiempos	☐	☐
b. Bitácoras de la maquinaria y equipo	☐	☐
c. Sistema de registro (control de códigos e inventario)	☐	☐
d. Calendario para dar lubricación	☐	☐
e. Calibración de los controles e instrumentos	☐	☐
f. Gastos actuales y actividades VS presupuesto (cumplimiento)	☐	☐
g. Frecuencia de los paros no establecidos y sus causas	☐	☐
h. Los resultados del mantenimiento son seguidos por el grupo de ingenieros durante las evaluaciones?	☐	☐
19. Manuales técnicos y publicaciones		
a. Se encuentran disponibles y actualizados los manuales proporcionados por el vendedor?	☐	☐
b. Se encuentran disponibles y actualizadas las publicaciones?	☐	☐
c. Se encuentran actualizados los diagramas de la planta?	☐	☐
d. Son seguidas las recomendaciones del vendedor?	☐	☐
20. Son por escrito las ordenes de mantenimiento o requerimientos del trabajo. Tal procedimiento escrito define al sistema?	☐	☐
21. Las formas de trabajo contienen la siguiente información?	☐	☐
Una clara descripción del mal funcionamiento o problema	☐	☐
a. Descripción del problema	☐	☐
Herramientas requeridas y pruebas especiales del equipo	☐	☐
b. Identificación requerida	☐	☐
c. Pruebas requeridas	☐	☐
d. Precauciones de seguridad	☐	☐
e. Referencias de los diagramas o procedimientos	☐	☐
f. Identificación de los materiales necesarios y de las partes de repuesto	☐	☐
g. Prioridad (quien la asigna)	☐	☐
h. Tiempo estimado en la reparación	☐	☐

i. Prioridad quien la asigna		
j. Estado de la planta durante la reparación		
k. Requerimientos de personal		
l. Medios para documentar los costos		
m. Autorización y aprobación de las provisiones		
22. Se cuenta con herramientas de prueba que puedan generar una chispa? quien determina entre que herramientas de prueba deben de ser usadas?		
23. Calendario de trabajo: son usados los siguientes?		
a. Se dispone de un grupo de mantenimiento para todas las desviaciones		
b. El calendario de trabajo se realiza diariamente y semanalmente		
c. Designación del personal		
d. El registro de planeación es a largo plazo		
24. Se realiza la planeación de actividades?		
25. El calendario de mantenimiento es coordinado con la operación de la planta?		
26. Quién coordina los cambios?		
27. Quienes se reúnen durante las realizaciones de las modificaciones?		
28. Esta definida la secuencia de los trabajos de mantenimiento? si es así, se encuentran definidas las funciones de cada etapa en el procedimiento? (por ej. trabajo, planeación, coordinación)?		
29. Se cuenta con un programa de mantenimiento preventivo?		
30. Planeación de las modificaciones.		
a. El proceso de planeación se hace para las actividades diariamente? Cómo es direccionado el calendario?		
b. Se tienen establecidas prioridades para las modificaciones o reparaciones durante un paro no planeado de la planta?		
c. cuáles son los cumplimientos para reducir el tiempo de ajuste de un itinerario?		
d. Como se da la interrelación de las actividades en el área con las realizadas en los sistemas?		
31 Personal		
a. Moral		
1). Cómo impacta el stress del trabajo diario en la calidad de vida?		
b. Actividades sobre tiempo		
1). Cuál departamento muestra el más alto sobre tiempo en las prácticas?		
c. Uso de subcontratistas		
1). Para mantenimiento de rutina		

2). Especialmente para servicios	☐	☐
3). Para realizar cambios	☐	☐
32. Entrenamiento	☐	☐
a. Se cuenta con registros del mantenimiento	☐	☐
b. Se tienen entrenamientos para principiantes o programas similares	☐	☐
c. Se hace una revisión periódica del entrenamiento	☐	☐
d. Hay escuelas para vendedores	☐	☐
e. Entrenamiento para las actividades	☐	☐
f. Objetivos personales	☐	☐
g. Niveles de calificación	☐	☐
h. Entrenamiento y educación sobre el material disponible	☐	☐
i. La administración apoya los entrenamientos?	☐	☐
1). Organizacionalmente	☐	☐
2). Con presupuestos y recursos	☐	☐

La siguiente lista se desarrolla para verificar varias actividades realizadas durante una modificación.

Lista de verificación D. Inspección.

Pregunta	Sí	No	Observ.
1. Procura del equipo a reemplazar	☐	☐	
a. Las especificaciones son apropiadas? se cuenta con las hojas de datos previamente completadas y verificadas	☐	☐	
1). Se tienen referencias a detalle, incluyendo los estándares?	☐	☐	
b. Se visita al distribuidor para verificar las características?	☐	☐	
1). Se cuenta con un programa de aseguramiento de calidad?	☐	☐	
2). Se dispone de un programa de certificación?	☐	☐	
c. Se cuenta con un programa de inspección?	☐	☐	
1). Son requeridas las especificaciones de procura para una verificación?	☐	☐	
2. Almacenamiento del equipo			
a. Se cuenta con las precauciones y provisiones adecuadas para dar protección al equipo mientras se encuentra almacenado?	☐	☐	
b. Se conoce la vida media de los subcomponentes?	☐	☐	
c. El equipo está protegido de otras actividades en el área de almacenamiento?	☐	☐	
3. Tubería y recipientes			
a. Se realizan pruebas de ultrasonido al espesor de recipientes y tuberías, con regularidad (por ejm., durante los cambios)?	☐	☐	
b. Qué otros métodos de inspección y pruebas no destructivas son usadas (por ejm., partículas magnéticas, colores penetrantes)?	☐	☐	
c. El departamento de mantenimiento realiza estas pruebas o las hace personal especializado en inspecciones y pruebas? son nuevas o modificadas las pruebas a la tubería y cómo son realizadas?	☐	☐	
d. Frecuentemente y de qué manera es probado el funcionamiento de las válvulas PSV?	☐	☐	
e. Se tienen áreas de proceso propensas a corrosión, la tubería y los recipientes son inspeccionados con regularidad?	☐	☐	
f. Si ocurren fallas del metal de la tubería o fallas de la soldadura, son realizados análisis por parte de los laboratorios?	☐	☐	
g. Se cuenta con un aparato de rayos X para inspección; la planta cuenta con el personal que sepa interpretar los resultados de rayos X?	☐	☐	
4. Instrumentación			
a. Son probados los circuitos con regularidad?	☐	☐	
1). Se cuenta con los procedimientos para este trabajo?	☐	☐	
2). Se cuenta con una lista de características	☐	☐	

exteriores para estas pruebas?		
3). Los operadores realizan una prueba de funcionamiento después de cada jornada para verificar el estado de los sistemas?	☐	☐
4). Se cuenta con líneas de bypass adecuadas para la prueba?	☐	☐
5). Estas líneas de bypass son accesibles para todo el personal o se encuentran localizadas en una cabina, se cuenta con el personal adecuado para estas actividades?	☐	☐
b. Los instrumentos son ajustados en cero o calibrados bajo una rutina, o son chequeados por cuestiones de precisión o por que existe una duda?	☐	☐
c. Se puede disponer de instrumentos técnicos en una base de 24 horas diarias	☐	☐
1). Todos los instrumentos técnicos se encuentran dentro de una lista (esta se encuentra disponible para el personal)?	☐	☐
2). Se cuenta con técnicos en instrumentación, formados a través del entrenamiento especial u otros medios?	☐	☐
5. Bombas y compresores		
a. Se encuentran archivadas las bitácoras que indiquen las frecuencias de las fallas de las tapas, sellos y otras partes? las bitácoras incluyen la descripción exacta de los repuestos usados, quien realiza los trabajos mecánicos y otros trabajos específicos?	☐	☐
b. Son inspeccionados los compresores y otras maquinarias bajo una rutina (por ejem., durante las modificaciones), o su mantenimiento se basa en las observaciones del problema?	☐	☐
1). Cuando se cuenta con una gran máquina rotatoria, esta es probada con el equipo de análisis vibracional adecuado?	☐	☐
2). Se dispone de equipo vibracional portátil para hacer pruebas en campo?	☐	☐
3). El chequeo de las vibraciones en campo se hace con regularidad?	☐	☐
4). La máquina rotatoria fue diseñada para soportar la vibración en el arranque inicial de la planta?	☐	☐
c. Las reparaciones mayores son realizadas por personal de mantenimiento de la planta o a través de lo representantes de ventas, esto es:	☐	☐
1). Los trabajos son realizados por una contratista externa o un taller?	☐	☐
2). Cuál es la experiencia con que cuenta el taller exterior para realizar el trabajo?	☐	☐

Lista de verificación E. Seguridad.

Pregunta	Si	No	Observ.
1. Se dispone y se usan procedimientos para cuando el equipo es aislado para mantenimiento?	☐	☐	
2. El departamento de seguridad es responsable de la asignación en el orden del trabajo y operaciones realizadas, o por el personal de mantenimiento?	☐	☐	
3. Se realiza una lista provisional para cada trabajo o actividad aislada, quien las guarda y quien checa todo lo que es instalado o removido?	☐	☐	
4. El equipo de protección y seguridad es inspeccionado con regularidad, quien es el responsable de este trabajo?	☐	☐	
5. El personal de operación y mantenimiento es instruido y entrenado en el combate contra el fuego y en los procedimientos de primeros auxilios?	☐	☐	
6. El personal de la planta es entrenado para responder a situaciones de mayor emergencia?	☐	☐	
7. Cuál es el nivel de equipo contra incendio o capacidad con que se cuenta en la planta? se cuenta con el respaldo exterior?	☐	☐	
8. Se dispone todo el tiempo de servicio medico de emergencia?	☐	☐	
9. Se encuentra instalado un sistema automático de detección de gas o vapor, mostrando la localización y los puntos de alarma en el cuarto de control?	☐	☐	
10. El sistema de agua contra incendio es probado con regularidad o bajo un procedimiento adecuado?	☐	☐	
11. Se cuenta con una reserva de agua o vapor para áreas y equipos críticos?	☐	☐	
12. Se encuentran instalados sistemas automáticos para la extinción de fuego(halon, CO, espuma, etc)?	☐	☐	
13. El cuarto de control se cuenta localizado y construido para resistir peligros por fuego y explosión?	☐	☐	
14. En caso de emergencia la operación en el corte de las válvulas de suministro se hace en forma remota? si es así, estas son probadas bajo un método regular; es decir riguroso o adecuado?	☐	☐	
15. Se cuenta con colectores de aire; si es así, cual es su localización, como son probados y cómo son instalados? cuáles son las reglas del sitio respecto al personal encargado?	☐	☐	
16. Cómo son probados los recipientes antes de entrar en funcionamiento? qué procedimientos de seguridad son usados (por ejem., gas nitrógeno)?	☐	☐	
17. Cómo son eliminados los recipientes de almacenaje de hidrocarburos y mercurio después de ser usados? cómo son identificados?	☐	☐	
18. Se hace una gran énfasis en la seguridad?	☐	☐	
Se premia de algún modo los buenos registros de seguridad?	☐	☐	
19. Se encuentra establecido un comité de seguridad en el departamento de operación? en el de mantenimiento?	☐	☐	
20. Son revisados los estándares de seguridad para los procedimientos de operación? cómo son revisados?	☐	☐	
21. El departamento de seguridad esta autorizado para supervisar y ejecutar los lineamientos?	☐	☐	

22. Qué departamento es el responsable de cerrar o delimitar el perímetro de seguridad?	☐	☐
23. El equipo de seguridad es revisado bajo un método riguroso para su buen funcionamiento? cuáles son sus condiciones?	☐	☐
24. Es obligatorio el uso de goggles y zapatos de seguridad?	☐	☐
25. Las líneas de proceso se encuentran identificadas de acuerdo a su contenido (ácido, cáustico, sustancias, etc)? son adecuadas las regaderas de seguridad y las instalaciones cuentan con lavadoras de ojos?	☐	☐
26. Se tienen cursos de entrenamiento sobre seguridad? cada cuando se realizan, quien los imparte? cuantas horas por mes son empleadas en el entrenamiento?	☐	☐
27. Se encuentran actualizadas las técnicas de operación y mantenimiento, para cuando es instalado un nuevo equipo?	☐	☐
28. Se cuenta con motores, panel de interruptores, paneles de arranque y solenoides para hacer una clasificación del área eléctrica?	☐	☐
29. Se da mantenimiento al aterrizaje de las conexiones eléctricas?	☐	☐
30. Se considera el aislamiento contra el fuego aplicando sistemas de restricciones, desagües o conductos?	☐	☐
31. El personal de operación se encuentra instruido en el propósito y funcionamiento de los sistemas de seguridad mecánicos (ejem., sistemas de respiración con tanques, guardas de sobre velocidad, flotadores y sistemas de señales)?	☐	☐
32. Se cuenta con tablas de información para identificar cada químico o compuesto que es usado en la planta, se describe su toxicidad y medidas de primeros auxilios?	☐	☐
33. Las fuentes de ignición son encerradas para delimitar las áreas peligrosas (áreas de fumadores, talleres, interruptores de máquinas)?	☐	☐

Lista de verificación F. Peligros.

Pregunta	Sí	No	Observ.
1. Se dispone de estudios de peligros y operabilidad para las instalaciones?	☐	☐	
2. Cada pieza del equipo esta protegida contra una sobre presión causada por una perturbación operacional?	☐	☐	
3. Cada pieza del equipo esta protegida contra una sobre presión causada por fuego?	☐	☐	
4. Cuáles condiciones coinciden con las originales en el diseño del sistema?	☐	☐	
5. Pueden las PSV quedar fuera de servicio cuando la planta se encuentra operando?	☐	☐	
6. Se han realizado algunas modificaciones desde que la planta fue construida? si es así, como se han documentado? el estudio de peligros se encuentra actualizado? se encuentran actualizados los diagramas de las instalaciones?	☐	☐	
7. Es posible que se sobrepresurice un tanque de almacenaje atmosférico por:	☐	☐	
a. Pérdidas de nivel de líquido en el tanque de alimentación?	☐	☐	
b. Una alta presión de vapor del material que se manda al tanque?	☐	☐	
8. Los circuitos se encuentran normalmente energizados o desenergizados?	☐	☐	
9. Cómo son probados los circuitos, y cada cuando?	☐	☐	
10. Cuáles son las consecuencias de la falla en un circuito?	☐	☐	
11. Cuáles son las consecuencias de una fuga temporal de gas combustible? pueda, el gas, ser retornado a un horno o quemador?	☐	☐	
12. Se encuentran protegidas las máquinas rotatorias contra un giro inverso cuando una válvula de relevo abre?	☐	☐	
13. Los sistemas de arranque se encuentran protegidos contra la entrada de líquido?	☐	☐	
14. Cuál es la velocidad de diseño de los arrancadores?	☐	☐	
15. Cuál es el nivel de radiación en el límite del área de arranque? el área de arranque se encuentra cercada?	☐	☐	
16. Cuál es la localización del ducto de aceite en relación al tiro forzado y otras fuentes de combustión?	☐	☐	
17. Los detectores de gas combustible se encuentran instalados en todas las fuentes de combustión?	☐	☐	
18. Cuáles corrientes son bypassadas en la operación diaria? cómo son registradas?	☐	☐	
19. Cómo opera la planta comparada con las condiciones de diseño:	☐	☐	
a. Cierran las PSV en el punto de ajuste?	☐	☐	
b. Desde el principio hasta el final son más altas?	☐	☐	
c. Las condiciones de enfriamiento son más bajas?	☐	☐	

d. Las condiciones de calentamiento son más altas?

e. El voltaje es más bajo?

f. El enfriamiento del agua es alto?

3.4.3 Análisis de árbol de fallas (FTA)

El análisis de árbol de fallas (FTA) es una técnica deductiva que determina los focos en un accidente en particular o la falla de un sistema en principal y provee un método para determinar las causas de un evento. El árbol de fallas es un modelo gráfico que representa las posibles combinaciones de falla del equipo y errores humanos que pueden originar la falla del sistema principal (llamado evento tope). La fortaleza del FTA como una herramienta cualitativa es su capacidad para identificar las combinaciones de las fallas del equipo básico y los errores humanos que pueden conducir a un accidente.

El FTA es apropiado para analizar sistemas altamente redundantes (complejos). Para sistemas particularmente sencillos de una sola falla que pueden causar o conducir a un accidente, es mejor el uso de una técnica orientada a fallas sencillas tales como un análisis de efecto y modos de falla, un HAZOP, etc. El FTA es empleado con frecuencia en situaciones en donde otra técnica HE (por ejemplo, el HAZOP) no se ajusta para describir los puntos que pueden originar un accidente y que se requiere de un análisis más detallado.

Un FTA produce un modelo lógico de la falla del sistema, usando puertas lógicas booleanas (AND, OR) para describir como las fallas del equipo y los errores humanos pueden combinarse para causar una falla del sistema principal.

Antes de discutir los delineamientos para la construcción del árbol de fallas es necesario definir algunos conceptos básicos.

Faultire. Es un término específico usado para identificar los errores o descuidos para llevar a cabo la operación de un componente en forma adecuada, el error de un operador para realizar una cierta tarea.

Falla. Este término es más general que el anterior e incluye la operación adecuada de un equipo en un momento inoportuno, así como también el error en un equipo que opera adecuadamente. Un ejemplo es el cierre prematuro de una válvula por el operador. La válvula no falló, pero este evento es considerado como una falla, por que puede tener serias consecuencias en el sistema. Todos los errores son fallas pero no todas las fallas son consecuencia de errores.

Tipos de fallas. La falla de un componente puede ser considerada como primaria, secundaria o de comando. Una falla primaria es aquella que se presenta en las capacidades de los diseños de los componentes por ejemplo la falla a 125 Psig de un recipiente a presión diseñado para 150 Psig. Una falla secundaria es la falla del mismo recipiente a presión, pero ocasionada por una sobre presión, rebasando la presión de diseño. Una falla de comando se relaciona con la operación adecuada de un componente, presentándose en un lapso de tiempo en forma inadecuada.

Efecto de falla. Es el efecto que tiene la falla de un componente sobre el sistema. Por ejemplo, en un circuito eléctrico el efecto de falla sería "no hay energía desde la batería".

Modo de falla. Es un aspecto de la falla de un componente, los modos de falla correspondientes a la falla "no hay energía desde la batería" puede ser "no hay electrolitos" o "la terminal negativa se encuentra fracturada".

Mecanismos de falla. Describe mecanismos específicos en donde pueden presentarse un modo de falla. Por ejemplo, los mecanismos de falla para los modos de falla citados anteriormente pueden ser "el casco de la batería se encuentra fracturado" "la batería sufrió un impacto mecánico".

En este contexto los mecanismos de falla conducen a los modos de falla los cuales a su vez a los efectos de falla en un sistema.

Falla activa. Es la falla de un componente dinámico que puede moverse o cambiar su estado para realizar su función. La falla de un motor que opera una válvula al momento de recibir una señal, es una falla activa.

Falla pasiva. Es la falla de un componente que se encuentra básicamente estático, tal como una tubería, algún cable o las vigas de soporte.

Desarrollo de la técnica

Un árbol de fallas es un modelo gráfico que muestra las combinaciones que pueden causar una falla específica, llamada evento tope. El análisis de árbol de fallas (FTA) es una técnica deductiva que utiliza los símbolos de la lógica booleana (puertas AND u OR) para enlazar las causas de un evento tope, errores humanos y fallas del equipo (llamados eventos básicos). Cada una de las causas inmediatas (llamadas eventos de falla) son posteriormente examinadas de la misma manera hasta que el análisis ha identificado las causas básicas de cada evento de falla o se llega hasta el límite establecido para el análisis.

El evento tope se especifica de acuerdo a las situaciones de peligro que son identificadas por medio de alguna técnicas HE (por ejem., what - if, HAZOP, etc). Un árbol de fallas es usado para generar una lista de combinaciones de falla (modos de falla) que pueden originar el evento tope. Estos modos de falla son conocidos como grupos de corte. Un grupo de corte mínimo (MCS) es una pequeña combinación de los componentes de falla, que si ocurren o se presentan simultáneamente, originarán que se presente el evento tope. Por ejemplo, un carro no puede funcionar si el grupo del corte "no hay combustible" y "el parabrisas se encuentra roto" ocurren. Sin embargo, el MCS "no hay combustible" por si solo puede causar el evento tope; el parabrisas roto no tiene relación con el funcionamiento del automóvil.

La tabla 3.5 presenta los símbolos usados en la construcción del árbol de fallas.

Tabla 3.5 Símbolos lógicos usados en la construcción del árbol de fallas



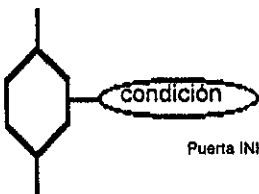
Puerta OR

El evento de salida ocurre si cualquiera de los eventos de entrada ocurren



Puerta AND

El evento de salida ocurre solamente cuando todos los eventos de entrada existen simultáneamente



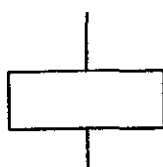
Puerta INHIBIT

El evento de salida ocurre cuando el evento de entrada ocurre y la condición límite es cumplida



Puerta DELAY

El evento de salida ocurre cuando el evento de entrada ha ocurrido y el tiempo de retraso especificado se ha cumplido



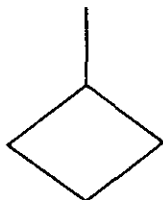
Evento intermedio

Un evento de falla es el resultado de las interacciones de otros eventos de falla que son desarrollados a través de puertas lógicas, como las que se definieron anteriormente



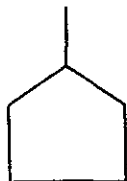
Evento básico

Es el desperfecto de un componente que no requiere posterior desarrollo. Un evento básico es el nivel mínimo de resolución en un árbol de fallas



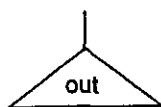
Evento no desarrollado

Un árbol de fallas que no es examinado posteriormente por que la información no esta disponible o por que el desarrollo posterior esta más allá del alcance del estudio



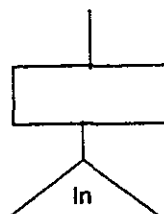
Evento externo o caso

Es una condición que se asume para que exista como una condición límite para el árbol de fallas



Símbolos de Transferencia IN / OUT

El símbolo de transferencia IN indica que el árbol de fallas es desarrollado posteriormente en correspondencia con un símbolo de transferencia OUT (ejem., cambio a otra pagina). Los símbolos son marcados con un número o código para asegurar que pueden ser diferenciados. Los símbolos de transferencia son frecuentemente usados para evitar que se repitan símbolos lógicos en un árbol de fallas



Se cuentan con cuatro etapas en la realización del análisis de árbol de fallas: (1) Definición del problema, (2) Construcción del árbol de fallas, (3) Análisis del modelo cualitativo del árbol de fallas, y (4) Documentación de los resultados.

Definición del problema. Para definir el problema podemos seleccionar: (1) un evento tope y (2) las condiciones límite para el análisis. Estas condiciones límite incluyen:

- Límites físicos del sistema
- Nivel de resolución
- Condiciones iniciales
- Eventos no asignados
- Condiciones existentes
- Otras suposiciones

Definición del evento tope. Es uno de los más importantes aspectos de la primera etapa, el evento tope es el accidente (evento no deseado), es el sujeto de análisis del árbol de fallas (este es normalmente identificado a través de previos estudios HE). El evento tope puede ser definido en forma exacta para el sistema o planta, si la evaluación del análisis cuenta con un buen alcance o puede ser definido pobremente teniendo muchas veces un análisis ineficiente. Por ejemplo, un evento tope de "fuego en la planta" es demasiado general para un análisis de árbol de falla. En lugar de eso, uno más apropiado puede ser "una reacción fuera de control en un proceso de oxidación durante la operación normal del reactor". Esta descripción del evento es bien definida y

adecuadamente delimitada, por que expresa el "qué", "donde", y "cuando". El qué (reacción fuera de control) dice sobre el tipo de accidente, el donde (reactor de oxidación) dice sobre el sistema o equipo de proceso involucrado en el accidente, y el cuando (durante la operación normal) dice acerca de la configuración global del sistema.

Los límites físicos del sistema abarcan el equipo, las interfaces del equipo con otros procesos, y los sistemas de soporte / servicio que tendrán que ser incluidos en el análisis de árbol de fallas. Junto con los límites físicos del sistema, el analista debe especificar el nivel de resolución para los eventos del árbol de fallas (el nivel de resolución es simplemente el grado de detalle incluido en el árbol de fallas). Por ejemplo, el motor que acciona una válvula puede ser incluido como una sola pieza del equipo, o esta puede ser descrita como varios componentes de la maquinaria (por ej., el cuerpo de la válvula, las partes internas y el operador del motor). El análisis puede además incluir los cambios necesarios, suministro de energía y los operadores necesarios para el funcionamiento de la válvula. Un factor que debe ser considerado en la toma de decisión sobre el nivel de resolución, es la cantidad de información para la falla y que se encuentra disponible para el análisis; tal vez a partir de un FMEA (análisis de efectos y modos de falla) o de un estudio previo de seguridad. La resolución del árbol de fallas debe ser limitada al detalle necesario para satisfacer los objetivos del análisis, paralelamente con la resolución de la información disponible.

Otra condición límite es la configuración inicial del equipo o condiciones iniciales de operación. Esta información proporciona la

configuración del sistema y equipos que se deben incluir en el análisis de árbol de fallas. El analista especifica cuales válvulas son abiertas, cuales se cierran, cuales bombas son puestas en marcha, cuales salen fuera de operación, etc., para todo el equipo dentro de los límites físicos. Estas condiciones límite describen al sistema en su estado normal o de no falla.

No todos los eventos son permitidos, para los propósitos del análisis del árbol de fallas, los eventos que son pocos comunes no pueden ser considerados en el análisis. Las condiciones existentes son (para propósitos del análisis de árbol de fallas) eventos o condiciones que son seguras de que ocurran.

El analista puede especificar otras suposiciones conforme sea necesario para definir el sistema en el análisis de árbol de fallas. Por ejemplo, en el análisis puede asumirse que el sistema opera al 50 % de la capacidad normal. Después de que el problema ha sido definido en forma completa y todas las condiciones límite han sido establecidas, las suposiciones adicionales pueden aclarar cualquier incertidumbre que prevalezca acerca del estado del sistema.

Construcción del árbol de fallas. La construcción empieza con el evento tope y prosigue nivel por nivel, hasta que todos los eventos de falla han sido trazados hacia sus causas básicas (eventos básicos) que contribuyen. El analista empieza con el evento tope y para el próximo nivel, emplea un razonamiento deductivo de causa y efecto para determinar las causas inmediatas, necesarias y suficientes que dan como resultado el evento tope. Normalmente, estas no son las causas básicas, pero son las fallas intermedias que requieren de un desarrollo adicional. Si el analista puede inmediatamente

determinar las causas básicas del evento tope, el problema puede ser demasiado simple para el análisis de árbol de fallas y por lo tanto puede ser evaluado por otros métodos (tal como el FMEA).

La fig. 3.5 muestra un ejemplo de árbol de fallas que fue creado usando los símbolos definidos anteriormente. Si cualquiera de las causas inmediatas tiene resultados directamente sobre el evento tope, son interconectadas a este por medio de una puerta lógica OR. Si todas las causas inmediatas son requeridas para que ocurra el evento tope (como se muestra en la fig. 3.5), estas serán conectadas por medio de una puerta lógica AND. Cada uno de los eventos intermedios es tratado de la misma manera que el evento tope. Para cada evento intermedio, las causas son determinadas y mostradas en el árbol de fallas con la puerta lógica apropiada. El analista debe de seguir este procedimiento hasta que todos los eventos básicos intermedios han sido desarrollados para sus causas de falla.

La tabla 3.6 lista varias reglas básicas que tienen que ser cubiertas en el proceso de construcción del árbol de fallas. Esta guía tiene la intención de enfatizar la importancia de la construcción metódica y sistemática del árbol de fallas. Usando métodos cortos, que son prohibidos por estas reglas, con frecuencia guían hacia un árbol de fallas incompleto que omite las combinaciones importantes de las fallas potenciales. Estos métodos cortos además limitan el uso del árbol de fallas como una herramienta de comunicación debido a que solamente el analista quien ha desarrollado el árbol de fallas podrá ser capaz de descifrar el modelo lógico.

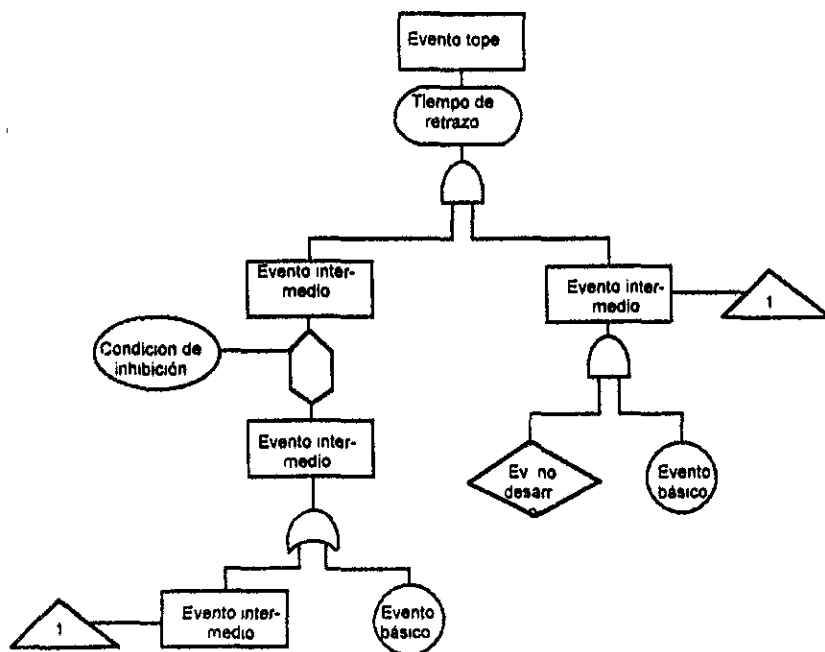


Fig.3.5 Ejemplo de la estructura de un árbol de fallas

Tabla 3.6 Reglas para construir árboles de falla

Establecimiento de los eventos de falla	Escriba los eventos dentro de las cajas y los círculos como una mala función. Precisamente este planteamiento da una descripción del componente y de su modo de falla. La preparación de este listado debe de ser lo más precisa posible; esto es necesario para una descripción completa del árbol de fallas. El "donde" y el "qué" indican específicamente el equipo y su estado de falla relevante. El "por qué" describe las condiciones del estado del sistema con respecto al equipo. El listado de los eventos de falla debe de ser lo más completo posible; el analista debe de abreviar lo menos posible durante el proceso de construcción del árbol de fallas.
Evaluación del evento de falla	Cuando se realiza la evaluación del evento de falla, se debe de responder a la pregunta "puede esta falla surgir de una descompostura del equipo?", si la respuesta es "sí" se clasifica el evento de falla como una "falla en el estado del equipo". Si la respuesta es "no", se clasifica el evento de falla como una "falla en el estado del sistema". Esta clasificación ayuda a seguir el desarrollo del evento de falla. Si el evento es una falla en el estado del equipo, se adiciona una puerta OR para el evento de falla y se procede a buscar las fallas primarias, secundarias y de comando que puedan tener resultado en el evento. Si el evento de falla es en el estado del sistema, buscar las causas del evento de falla.
No suponer la interrupción del evento	Si el funcionamiento normal del equipo se propaga a una secuencia de falla, se asume normalmente que son las funciones del equipo. Nunca se asume que la falla que es totalmente inesperada y repentina del algún equipo evite la ocurrencia de un accidente.
Complementar cada puerta	Todas las entradas de una puerta en particular pueden ser completamente definidas antes de que se realice el análisis de cualquier otra puerta. Para modos simples, el árbol de fallas puede ser completado por niveles, y cada nivel debe de ser complementado antes de pasar al siguiente nivel sin embargo, la experiencia del analista puede observar que esta regla es poco común cuando se desarrollan árboles de fallas complejos.
No interconexión puerta a puerta	Las entradas de la puerta deben de ser adecuadamente definidas por los eventos de falla; esto es, las puertas no pueden ser conectadas directamente a otras puertas. Un corte pequeño del árbol de fallas desarrollado, conduce a confusión debido a que las salidas de las puertas no son especificadas

Análisis del modelo del árbol de fallas. Un árbol de fallas bien complementado proporciona información importante, dado que muestra como interactúan las fallas que conllevan a un accidente. Por otra parte aun un analista experimentado no puede identificar directamente a partir del árbol de fallas, todas las posibles combinaciones de las fallas que conducen al accidente de interés (al menos que este observando un árbol muy simple). Por lo cual, en esta sección se discute un método para obtener dichas combinaciones (grupos de corte mínimo) para el árbol de fallas; este proceso es conocido como solución del árbol de fallas. Los grupos de corte mínimo son todas las combinaciones de las fallas que dan como resultado el evento tope en el árbol de fallas. Estos son lógicamente equivalentes a la información desplegada en el árbol de fallas. Los grupos de corte mínimo son útiles para jerarquizar las vías por medio de las cuales el accidente puede ocurrir, y permiten la cuantificación del árbol de fallas si se dispone de los datos adecuados. La solución de los grupos de corte mínimo del árbol de fallas puede ser manual o computarizada.

El método de solución del árbol de fallas consta de cuatro pasos: (1) identificar únicamente todas las puertas y los eventos básicos, (2) resolver todas las puertas que se encuentran dentro de los grupos de eventos básicos, (3) eliminar los eventos repetidos dentro de los grupos, y (4) eliminar todos los supergrupos (grupos que contienen otros grupos). El resultado del procedimiento es una lista de los grupos de corte mínimo (MCSs) para el árbol de fallas. Este procedimiento es demostrado con un ejemplo mostrado en la fig. 3.6.

Paso 1. El primer paso es únicamente la identificación de todas las puertas y los eventos básicos en el árbol de fallas. En la figura 3.6, las puertas son identificadas con letras y los eventos básicos con números. Cada identificación es única, y si un evento básico aparece más de una vez en el árbol de fallas, puede tener la misma identificación en cada nivel en donde aparezca. Por ejemplo, el evento básico 2 aparece dos veces en el árbol con la misma identificación.

Paso 2. El segundo paso es la resolución de todas las puertas en los eventos básicos. Esto es realizado en un formato de matriz, iniciando con el evento tope y procediendo a través de la matriz hasta que todas las puertas son resueltas. Las puertas son resueltas remplazándolas en la matriz con sus respectivas entradas. El evento tope es siempre el primero en aparecer en la matriz y es colocado en la primer columna y el primer renglón (ver fig.3.7, parte "a"). Se tienen dos reglas para introducir la información remanente en la matriz: una corresponde a la puerta OR y la otra a la puerta AND.

Regla para la puerta OR. La primera entrada en la puerta OR es insertada en la matriz para identificar dicha puerta, y todas las demás entradas son colocadas en los siguientes renglones vacíos de la matriz, una entrada por renglón. Además si se tienen otras entradas en el renglón donde la puerta OR aparece, estas pueden ser repetidas en todos los renglones que contengan las otras entradas de la puerta.

Regla para la puerta AND. Cuando se resuelve una puerta AND en la matriz, la primera entrada de la puerta sirve para identificar dicha puerta en la matriz y las otras son insertadas en la siguiente columna disponible, una entrada por columna, en el mismo renglón es en donde aparece la puerta AND. Cada puerta subsecuente es resuelta y todas las otras entradas de una puerta AND son incluidas en cada nuevo renglón creado. Las puertas INHIBIT y DELAY son resueltas como si estas fueran puertas AND.

Estas dos reglas son repetidas hasta que solamente los eventos básicos identificados sean los remanentes en la matriz.

El árbol de fallas del fig. 3.6 es resuelto usando estas dos reglas. La parte (a) de la fig. 3.7 muestra la primera entrada en la matriz, puerta A, que es el evento tope en el árbol de fallas. La puerta A es una puerta AND, así tenemos que aplicar la regla para este tipo de puerta en la resolución de la puerta A junto con sus entradas, las puertas B y D, se muestran en la parte (b). Ahora tenemos que seleccionar la próxima puerta a resolver por ejemplo, la puerta B; que es una puerta AND, así sus entradas son colocadas en el mismo renglón para la puerta B. Esta sustitución es mostrada en la parte (c). La próxima puerta a resolver es D, que es una puerta OR, por lo cual su primera entrada reemplaza a D y su segunda entrada es colocada en el siguiente renglón disponible, como se muestra en la parte (d). Nótese que la puerta C es ahora la única que queda sin considerar en la matriz, apareciendo en el renglón 1 y 2. Cada ocurrencia de la puerta C es resuelta separadamente. Primero, en el renglón 1 aplicamos la regla para la puerta OR a la puerta C como se muestra en el inciso (e), el resultado es un nuevo conjunto de entradas en el renglón 3. Similarmente se resuelve la segunda posibilidad de la puerta C, como se

muestra en el inciso (f) . Esta es la resolución completa de las puertas en la matriz. Los resultados de esta etapa son cuatro grupos de eventos básicos:

Grupo de corte I	1,2,2
Grupo de corte II	1,2,4
Grupo de corte III	1,2,3
Grupo de corte IV	1,3,4

A			

(a)

AB	D		

(b)

B 1	D	C	

(c)

1	2	C 2	
1	4	C	
1	2	3	

(e)

1	D 2	C	
1	4	C	

(d)

1	2	2	
1	4	C 2	
1	2	3	
1	4	3	

(f)

Fig. 3.5 Matriz para la resolución de las puertas en el ejemplo del árbol de fallas

Paso 3. La tercera etapa en el procedimiento de solución, es eliminar los eventos que se encuentran duplicados dentro de cada grupo de eventos básicos identificados. Solamente el grupo de corte 1 tiene un evento básico repetido en los resultados: el evento básico 2 aparece dos veces. Al eliminar este evento repetido, los grupos de eventos básicos quedan:

Grupo de corte I	1,2
Grupo de corte II	1,2,4
Grupo de corte III	1,2,3
Grupo de corte IV	1,3,4

Paso 4. La cuarta etapa es eliminar todos los supergrupos que aparecen en los grupos de eventos básicos. Observándose que se tienen dos de estos; el II y III son supergrupos de I esto es, el II y III contienen al I (el grupo I es subconjunto de II y III). Por lo tanto estos supergrupos son eliminados. Los grupos que quedan son los grupos de corte mínimo para el ejemplo del árbol de fallas:

Grupo de corte I	1,2
Grupo de corte IV	1,3,4

Una vez que la lista de grupos de corte mínimo para un evento tope en particular es establecida, un analista puede evaluar las fallas para determinar los "puntos débiles" en el sistema. Usando los resultados de este análisis cualitativo, el árbol de fallas puede dar sugerencias para establecer la seguridad del sistema bajo estudio.

Documentación de los resultados. La etapa final en el desarrollo del análisis del árbol de fallas es documentar los resultados del estudio. El analista de peligros puede dar una descripción del sistema analizado, una discusión de la definición del problema, una lista de las suposiciones, el modelo del árbol de fallas que fue desarrollado, las listas de los grupos de corte mínimo y una

evaluación de su significado. Además de todas las recomendaciones que hayan surgido del FTA que es presentado.

Además de las cuatro etapas, antes mencionadas, el análisis de árbol de fallas puede hacer uso del álgebra booleana esta es una parte de las matemáticas de las combinaciones lógicas. Expresa con símbolos matemáticos y ecuaciones las relaciones lógicas que han sido expresadas hasta aquí por medio de palabras y gráficamente como árboles de fallas. En realidad, estas descripciones lógicas y los árboles de falla son completamente equivalentes y pueden ser representados por medio de la ecuación global del álgebra booleana.

El análisis de árbol de fallas además de hacer una examinación sistemática de las fallas lógicas y la construcción de los árboles de falla; incluye los cálculos matemáticos para la solución de la ecuación del álgebra booleana, para todas las combinaciones de falla del equipo que pueden conducir al evento tope. Esta lista de combinaciones como ya se menciono son los llamados grupos de corte.

El álgebra booleana trata primeramente con uno de los valores que pueden tomar las variables: "verdadero" o "falso"; "on" u "off"; "1" o "0"; "éxito" o "falla"; "ocurrencia del evento" o "no ocurrencia del evento"; y así sucesivamente. Esta es la matemática que describe como los eventos son combinados y evaluados.

La tabla 3.7 muestra los símbolos matemáticos y de ingeniería usados en el álgebra booleana. Los conceptos representados por estos símbolos son gráficamente descritos, usando diagramas de Venn, para mostrar la unión y la

intersección de los conjuntos representados como círculos. En la tabla 3.7 la letra mayúscula U representa la operación booleana de la unión de dos conjuntos. La representación en ingeniería es un signo positivo (+), y este representa la puerta OR. Se debe de tener cuidado de no confundir con la operación matemática de la adición. Estas son dos operaciones totalmente diferentes, como se podrá observar.

El siguiente símbolo que se encuentra debajo de la U, representa la operación booleana de la intersección de dos conjuntos. La representación equivalente en ingeniería puede ser mostrada de tres formas diferentes: como un asterisco (*), como un punto (•), o con ningún símbolo, todas colocadas entre dos variables. Del mismo modo esto se observa con la operación matemática de la multiplicación, pero definitivamente no es el mismo; este representa a una puerta AND.

La letra griega omega (Ω) representa el conjunto universal, o el número 1 en la notación de ingeniería, y la letra fi (ϕ) representa el conjunto vacío, o el número cero en la notación de ingeniería. El operador "NO" se muestra como una barra horizontal encima de la letra representando la variable booleana. La tabla 3.6 a demás muestra los símbolos gráficos del árbol de fallas para la puerta AND y la puerta OR.

La figura 3.9 muestra un árbol de fallas junto con su ecuación booleana equivalente. El evento tope Z, es interconectado con una puerta OR desde cualquiera de los tres eventos intermedios Z_1 , Z_2 , Z_3 . Esto es expresado por medio de la ecuación booleana:

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3$$

Tabla 3.7 Símbolos del álgebra booleana

SÍMBOLO MATEMÁTICO	SÍMBOLO EN INGENIERÍA	DEFINICIÓN
$\cup$	+	Operador lógico OR
$\cap$	*, •, ninguno	Operador lógico AND
Ω	(AB)	Conjunto universal
ϕ	0	Conjunto vacío

Nota: los operadores "NO" : A, A'.

Estos son operadores booleanos, no operadores aritméticos (ejem., $A + A \neq 2A$,

$A * A \neq A^2$).

Equivalencia para el árbol de fallas:

Equivalencia para el árbol de fallas:

Podemos ahora traducir cada una de las puertas lógicas en ecuaciones, como se indica a continuación:

$$Z_1 = A+B$$

$$Z_2 = C*A$$

$$Z_3 = D+Z_1$$

$$Z_4 = B*E$$

Cada puerta lógica en el árbol de fallas tiene su propia ecuación booleana. Substituyendo las variables anteriores en la ecuación original, el árbol de fallas puede ser representado por medio de una sola ecuación booleana.

$$Z = A+B+CA+D+BE$$

Las leyes del álgebra booleana son una ayuda en la simplificación de las ecuaciones, que pueden llegar a ser muy complejas para sistemas grandes. Para sistema en plantas reales, el tamaño y complejidad del árbol de fallas y su ecuación booleana equivalente son virtualmente imposibles de tratar o resolver manualmente, por lo cual casi siempre son usados programas de computadora para dibujar los árboles de falla o para realizar los cálculos del álgebra booleana.

A continuación se dan algunos arreglos de las leyes que pueden auxiliar en la simplificación de términos de la ecuación combinada del árbol de fallas:

$$A * B = B * A$$

$$A + B = B + A$$

$$A * (B * C) = (A * B) * C$$

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

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

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

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

Los siguientes son ejemplos de las leyes de cancelación / abstracción:

$$A * A = A$$

$$A + A = A$$

$$A + (A * B) = A$$

$$A * (A + B) = A$$

La diferencia entre las leyes de cancelación, las operaciones del álgebra booleana y las operaciones matemáticas más comunes llegan a ser fácilmente aparentes. Se puede interpretar $A * A = A^2$, pero podemos leer la ecuación como A "AND" A es igual a A. Similantemente podríamos pensar que $A + A = 2A$ pero esta ecuación es leída como A "OR" A = A. Las dos ecuaciones anteriores además dan resultados muy diferentes en el álgebra booleana, como lo sería en el álgebra normal.

La figura 3.10 muestra un simple diagrama de Venn como comprobación de las leyes de abstracción. las siguientes son algunas leyes complementarias del álgebra booleana:

$$A * \underline{A} = 0$$

$$\underline{A + A} = 1$$

$$\underline{\overline{(\underline{A})}} = A$$

$$\overline{(A*B)} = \overline{A} + \overline{B}$$

$$\overline{(A+B)} = \overline{A} * \overline{B}$$

$$A + (\overline{A} * B) = A + B$$

$$\overline{A} * (B + \overline{A}) = \overline{(A+B)} = \overline{A} * \overline{B}$$

En estas ecuaciones, A "AND" NO A son iguales al conjunto vacío, y A "OR" NO A son iguales al conjunto universal. Nótese que además la doble inversa se cancela así misma.

Siguiendo con la aplicación del arreglo y las leyes de abstracción para la ecuación del árbol de fallas derivado en la fig. 3.9.

$$Z = (A+B) + (C*A) + D + (B*E)$$

$$= A+B+(C*A) + D + (B*E)$$

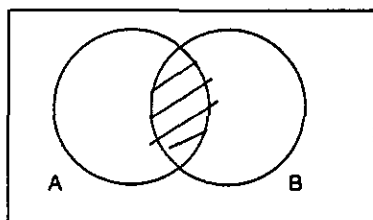
$$= B+A+(C*A) + D + (B*E)$$

$$= A+(C*A) + D + B + (B*E)$$

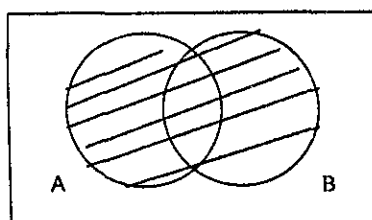
$$= \begin{array}{c} \text{---} \\ \downarrow \\ A \end{array} + D + B \leftarrow \begin{array}{c} \text{---} \\ \downarrow \\ B \end{array}$$

Después de que todos los arreglos son realizados, note como se simplifica la ecuación final:

$$Z = A + D + B$$

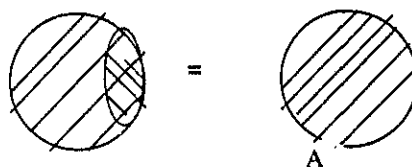
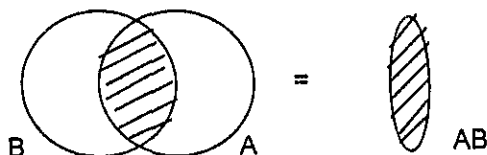


"AND"
Intersección



"OR"
Unión

Por lo tanto



$AB+A$

Fig.3.10 Leyes de abstracción - comprobación. $A+A*B = A \longrightarrow A+AB = A$: Diagrama de Venn para "AND" (*), "OR" (+).

Por último, la ecuación reducida proporciona una lista corta de eventos básicos que pueden conducir hacia el evento tope y por lo tanto a la falla del sistema. El proceso de simplificación de la ecuación del árbol de fallas que debe de ser hasta su mínimo número de términos, es conocido como la reducción del árbol de fallas. La lista minimizada de las combinaciones de eventos que pueden conducir a la falla del sistema es una lista de los grupos de corte mínimo. Si un grupo de corte contiene un sólo evento básico, este es un conjunto de corte de un sólo

componente (representa sólo una posible falla. Pueden tenerse grupos de corte de dos, tres, o más componentes, donde cada grupo de corte representa una posible combinación de las fallas del equipo o del operador que pueden guiar hacia el evento tope. A continuación se presentan dos ejemplos de grupos de corte mínimo para explicar la definición.

$$Z = (A+B) + (CA) + (D+BE)$$

$$= A + D + B$$

{A}, {D}, {B} = Grupos de corte para la ecuación anterior

Estos son el mínimo debido a que no pueden ser realizadas más operaciones booleanas para reducir la última ecuación:

$$Z = [A + CD] * [B + E] * [B + A]$$

$$= \underline{AB} + \underline{CDB} + \underline{ACDE}$$

{AB}, {CDB}, {ACDE} = Grupos de corte para la ecuación antes mencionada

Estos son los grupos debido a que son rutas independientes que conducen hacia el evento tope.

Por otra parte como se menciona en el análisis del modelo del árbol de fallas, el FTA puede ser cuantificado si se dispone de la información adecuada; para esto el analista se debe basar en datos históricos de eventos pasados como los que se muestran en la tabla 3.9 y 3.10.

Tabla 3.9 Frecuencia de accidentes en transportación, involucrando la liberación del cargamento

Peligros	Tamaño del derrame promedio (gal)	Frecuencia
Derrame de una embarcación teniendo como resultado fuego, contaminación del agua, liberación de vapor inflamable o tóxico	12800	$0.42 \cdot 10^{-6}$
Liberación y derrame del contenido de un carro tanque de ferrocarril	10800	
• Líquidos inflamable (fuego, contaminación del agua)		$0.231 \cdot 10^{-3}$
• Gas comprimido inflamable (dispersión de vapor inflamable / explosión)		$0.123 \cdot 10^{-4}$
• Gas comprimido no inflamable (liberación de gas tóxico)		$0.078 \cdot 10^{-3}$
• Líquido corrosivo (contaminación del agua)		$0.299 \cdot 10^{-4}$
Accidente de carro tanque	3000	$0.027 \cdot 10^{-4}$
Tubería que transporta líquido		
• Contaminación del agua	6000	$1.7 \cdot 10^{-3}$
• Fuego	42000	$1.7 \cdot 10^{-4}$
• Liberación de amoníaco	82000	$5.5 \cdot 10^{-4}$
Líneas de transmisión de gas (gas natural y propano)	~350 ft de zona peligrosa	$5.5 \cdot 10^{-4}$

Tabla 3.10 Frecuencia de algunos peligros industriales

Peligro Industrial	Frecuencia / año
Fuego en tanque de productos del petróleo líquido (nafta, crudo, gasolina, etc.) u otro líquido inflamable que se encuentre en el tanque de almacenamiento	$3.3 \cdot 10^{-4}$
Derrame mayor de gas licuado natural (LNG)	$< 3 \cdot 10^{-4}$
Fuego / Explosión de tanque de almacenamiento de LPG	$3.3 \cdot 10^{-4}$
Fuego y explosión en plantas de procesamiento de petróleo teniendo como resultado un daño en los alrededores	$1.4 \cdot 10^{-4}$
Ruptura de un tanque que contiene materiales no inflamables	$2 \cdot 10^{-5}$

Un ejemplo puede ser la falla que presenta un tanque que contiene LNG (fig. 3.11), cada evento puede conducir hacia una falla interna que puede ser expandida posteriormente, si es necesario para el análisis. Las probabilidades son asignadas a cada rama del árbol, y la probabilidad global, de que ocurra el accidente puede ser entonces calculada. Los eventos con altas probabilidades de ocurrencia pueden entonces ser identificados y minimizar sus frecuencias por medio de medidas preventivas apropiadas

Cálculo de la probabilidad. La probabilidad de ocurrencia de un evento natural desastroso, como ya se menciona, puede ser derivada de los datos históricos y climatológicos del sitio específico y de los criterios de diseño o de la instalación (paredes del tanque, instalaciones, etc). La probabilidad de que se impacte un avión cerca del aeropuerto puede ser calculada usando los datos de accidentes de los aviones, nacionales y locales; la localización del sitio con respecto a la

actividad en la pista de aterrizaje; la distancia al sitio y el aeropuerto; frecuencia de los aterrizajes y despegues de aviones.

Predecir la probabilidad de sabotaje es un problema mayor, dado que depende la localización y visibilidad del sitio industrial y de la situación política nacional e internacional. Una solución para las plantas altamente vulnerables es asumir una alta probabilidad y aumentar las medidas preventivas y de protección para minimizar la posibilidad de sabotaje.

Las probabilidades de falla de algunos componentes mecánicos y eléctricos generalmente usados por el servicio militar se obtienen de las fallas promedio recopiladas por la industria y el gobierno (ver tabla 3.11). Similarmente se realiza el mismo procedimiento con los datos para las probabilidades de las reacciones y de las acciones humanas (ver tabla 3.12).

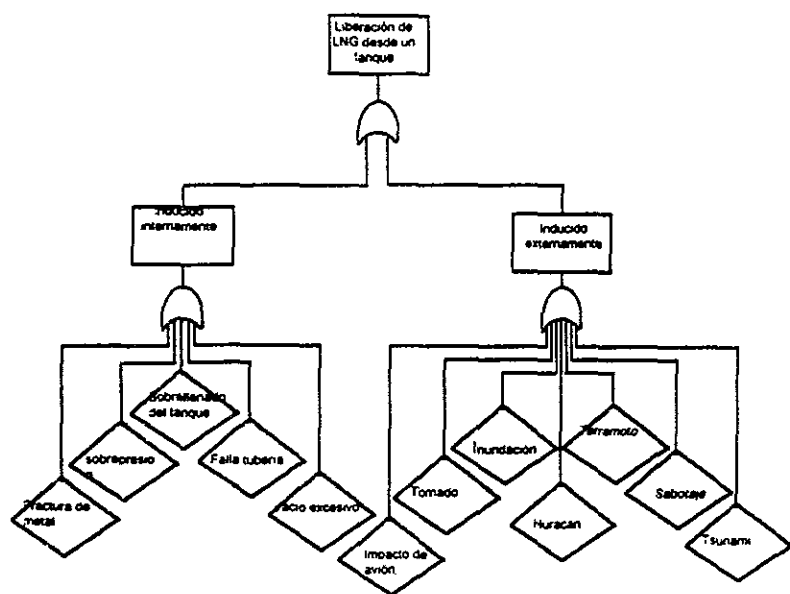
Sin embargo las probabilidades de muchos eventos o fallas de equipo moderno no son conocidas y tienen que ser dejadas al mejor juicio del ingeniero. Además una gran incertidumbre rodea a muchas de las probabilidades asignadas. Por lo tanto, las probabilidades de ciertos eventos cambia con el paso del tiempo (por ejemplo, falla por corrosión, fatiga del material, etc). Otros eventos son modificados por la efectividad de los sistemas de prevención y protección que involucran una respuesta humana (ejem., brigada contra fuego en la planta, departamento de bomberos local, guarda costas, etc). Todos estos factores pueden ser considerados en el análisis final.

Tabla 3.11 Datos de falla para equipo

Falla	Falla promedio o probabilidad por falla
Ruptura de válvula	$1.0 \cdot 10^{-8}$ / Hr
Ruptura de tanque	$1.0 \cdot 10^{-6}$ / Año
Ruptura de conexión flange	$1.0 \cdot 10^{-8}$ / Hr
Ruptura de swivel	$1.0 \cdot 10^{-8}$ / Hr
Ruptura de juntas de expansión	$1.0 \cdot 10^{-8}$ / Hr
Ruptura de compresor	$1.0 \cdot 10^{-8}$ / Hr
Ruptura de bomba	$1.0 \cdot 10^{-8}$ / Hr
Falla de válvula de relevo para abrir en la demanda.	$1.0 \cdot 10^{-5}$ / Demanda
La válvula de relevo abre antes de tiempo	$1.0 \cdot 10^{-5}$ / Hora
Falla la válvula automatizada para abrir en la demanda	$1.0 \cdot 10^{-3}$ / Demanda
Falla el sistema electrónico	$1.0 \cdot 10^{-6}$ / Hr
Falla el mecanismo de paro automático	$1.0 \cdot 10^{-4}$ / Demanda
El operador falla en la observación	$1.0 \cdot 10^{-3}$ / Demanda
El operador falla en la acción tomada	$3.0 \cdot 10^{-4}$ / Demanda
El operador falla en la detección de una alarma audible	$3.0 \cdot 10^{-4}$ / Demanda
Falla la alarma audible en la demanda	$1.0 \cdot 10^{-5}$ / Demanda
Ruptura de tubería >6 "	$1.8 \cdot 10^{-9}$ / ft Yr

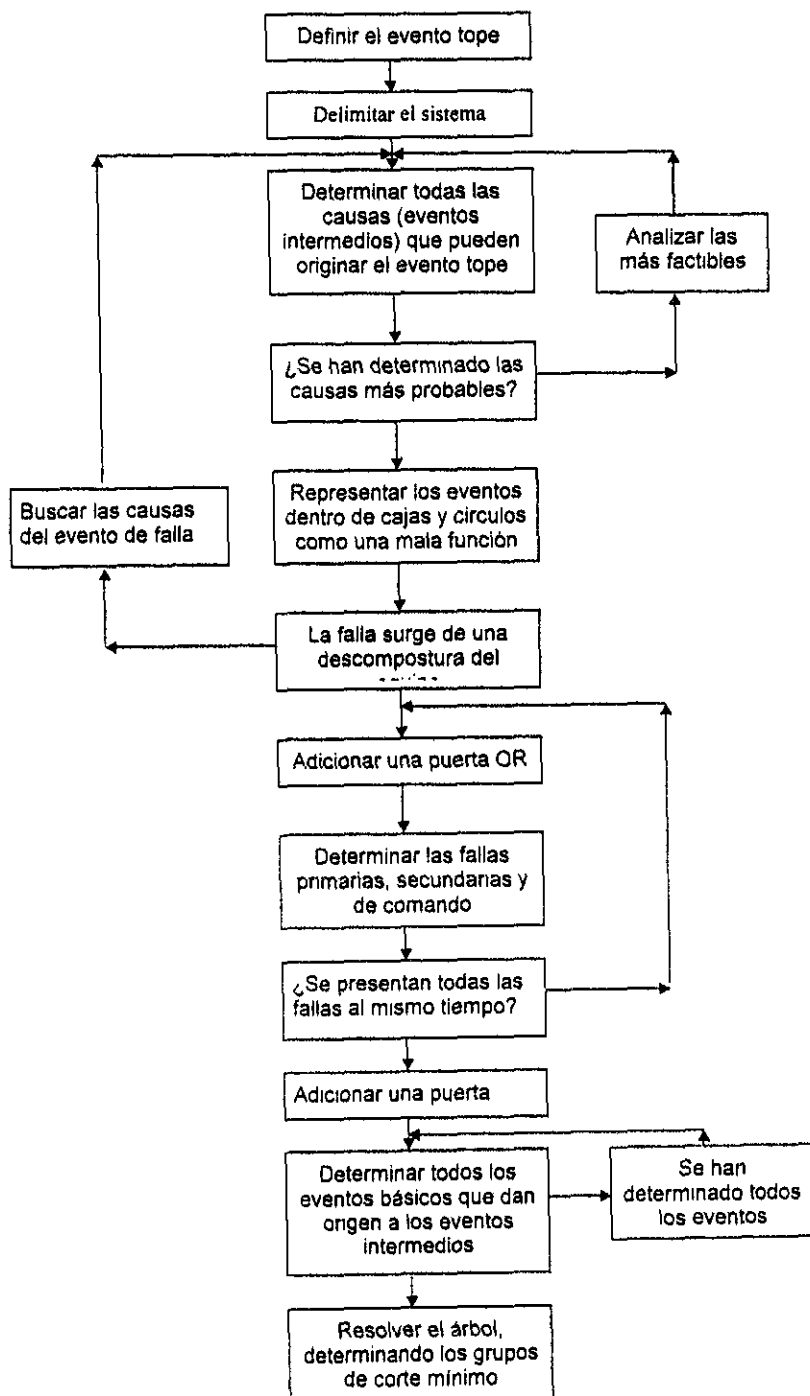
Tabla 3.12 Probabilidad típica del error humano en la industria

Actividad	Probabilidad de error / tarea
Tarea de rutina crítica (ejem.- aislamiento de tanque)	10^{-3}
Tarea de rutina no crítica (ejem., error de lectura en los datos de temperatura)	$3 \cdot 10^{-3}$
Error general en actividades con alto esfuerzo. Actividades que pueden ocurrir rápidamente	$2.5 \cdot 10^{-1}$
Operaciones no de rutina (ejem., arranque, mantenimiento)	10^{-2}
Inspección por checklist	$5 \cdot 10^{-1}$
Operaciones de alto esfuerzo:	
Respuesta después de un accidente mayor	1.0
Al primer minuto	$9 \cdot 10^{-1}$
Después de 5 minutos	10^{-1}
Después de 30 minutos	10^{-2}
Después de varias horas	
Observación del error humano general	$5 \cdot 10^{-2}$
Manipulación del interruptor por el operador	10^{-3}
El operador manipula una llave para accionar el interruptor	10^{-4}
Omisión del error humano general	10^{-2}



Sobre presión

Fig. 3.11 Árbol de fallas para la fuga en un tanque que contiene LNG



3.4.4 DESFOGUE DE EXPLOSIONES EN EQUIPO A BAJA PRESION

Se basa en un análisis teórico de la liberación de una explosión, es un método práctico para calcular el área de relevo. Este método puede manejar materiales que producen explosiones fuertes o débiles permite diseñar contenedores simples o reforzados.

Existen métodos que no dan el tamaño del área de relevo para la explosión, liberada por el equipo bajo presión, exactamente de acuerdo a la fuerza de dicha explosión.

Se basa en un modelo matemático suponiendo que: (a) el contenedor esta completamente lleno con la proporción optima de aire/combustible, y (b) la explosión inicia en el centro del contenedor y se expande en una forma esférica.

La explosión continua hasta que el combustible es consumido. cuando se alcanza el perimetro de una o más de las paredes, no ocurre una expansión adicional en esa dirección. Así, en los contenedores estrechos como los cilindros el perimetro de la pared es rápidamente alcanzado y la mayor parte de la expansión debida a la combustión es a lo largo de un solo eje. Cuando esto ocurre la velocidad de la flama frontal continua incrementándose debido a que es impulsada por la expansión de los productos de la combustión que se encuentran detrás de está. Dicha velocidad es adicionada a la que es inherente a la combustión del material. Si el frente de la flama alcanza la velocidad sonica, la explosión será una detonación por definición. Dado que

las detonaciones son caracterizadas por ondas de choque, raramente pueden ser libradas con seguridad, este caso no será tratado.

Este método se limita a las deflagraciones donde la velocidad frontal de la flama es menor que la sónica.

En general, el modelo calcula la velocidad a la cual los gases se expanden en la combustión. Esto es igual al gasto que puede ser liberado. El área para la liberación es calculada usando la ecuación para determinar el flujo de gas a través de un orificio.

Alcance del método.

El método acepta parámetros tales como: presión liberada, peso del panel desprendido, presión máxima permisible, poder explosivo del material, temperatura inicial y geometría del contenedor.

El programa puede ser empleado para recipientes en forma rectangular o cilíndrica. Dado que este es de naturaleza teórica, los resultados tienden a ser ligeramente conservadores debido a que las condiciones ideales no son normalmente obtenidas de explosiones accidentales (son obtenidas a partir de modelos a escala)

Derivación del modelo teórico.

Cuando un combustible es quemado en un espacio confinado, asumimos que la flama frontal inicia como un punto en el centro y se expande esféricamente. A un tiempo, t , el volumen del combustible consumido, $V_{comb.}$, es el volumen de la esfera:

$$V_{comb.} = 4/3 \pi r^3 \quad (1)$$

donde r es el radio. Si la velocidad del frente de la flama es constante, entonces:

$$r = v t \quad (2)$$

sustituyendo la ecuación (2) en la (1) obtenemos:

$$V_{comb.} = 4/3 \pi v^3 t^3 \quad (3)$$

La ecuación (3) representa el volumen de combustible consumido durante la expansión térmica. Mientras se quema su volumen se expandera debido a la generación de calor y a los productos de la combustión. Se ha determinado a partir de análisis teóricos y prácticos que muchos hidrocarburos producen una expansión aproximadamente de 7 a 1 cuando son quemados. Si los gases no se encuentran confinados, el volumen final será de siete veces el volumen original. Si estos están confinados la presión final será siete veces la presión original.

El porcentaje de expansión, E, debido a la combustión es una constante para un material en particular. Este es expresado por la ecuación (4) para una combustión confinada, y por la ecuación (5) para una combustión no confinada:

$$E = P_F / P_i \quad (4)$$

$$E = V_F / V_i \quad (5)$$

A un tiempo, t, el volumen final total, Vt, después de la combustión, es el volumen del combustible consumido multiplicado por el porcentaje de expansión:

$$V_t = E V_{\text{comb.}}$$

substituyendo la ecuación (3) y (4) en esta expresión obtenemos:

$$V_t = 4/3 \pi v^3 t^3 (P_F / P_i) \quad (6)$$

En un aparato de prueba típico, la presión inicial (P_i) es una atmósfera y la presión final (P_F) es llamada presión máxima (P_{máx}).; substituyendo en la ecuación (6) obtenemos la relación que representa la expansión de los gases después de la combustión si estos permanecen a la presión original de una atmósfera:

$$V_t = 4/3 \pi v^3 t^3 (P_{\text{máx}} / 1 \text{ atm.}) \quad (7)$$

Como el porcentaje de expansión para la combustión puede ser expresado por la relación de presiones o por la relación de volúmenes. Así de las ecuaciones (4) y (5) se obtiene que:

$$E = P_F / P_I = V_F / V_I \quad (8)$$

Si V es el volumen inicial del gas no quemado y la presión inicial es de una atmósfera, la ecuación (8) queda como:

$$P_F / 1 \text{ atm.} = V_F / V \quad (9)$$

Previamente hemos establecido que V_t representa el volumen de material quemado a un tiempo, t , P representa la presión correspondiente, como resultado del material quemado en un espacio confinado a volumen constante por lo tanto:

$$P / 1 \text{ atm.} = V_t / V \quad (10)$$

rearreglando la ecuación (10) obtenemos:

$$P / V_t = 1 \text{ atm.} / V \quad (11)$$

multiplicando la ecuación (7) por la (11) se obtiene:

$$(P / V_t) V_t = 4/3 \pi v^3 t^3 (P_{\text{máx}} / 1 \text{ atm.}) (1 \text{ atm.} / V)$$

simplificando:

$$P = 4/3 \pi v^3 t^3 (P_{\text{máx}} / V) \quad (12)$$

Si a todos los términos constantes los representamos por K,

$$K = 4/3 \pi v^3 P_{\text{máx}} \quad (13)$$

reescribiendo la ecuación (12) obtenemos:

$$P = K t^3 / V \quad (14)$$

El incremento de presión debido a la combustión en un contenedor cerrado, es ocasionado por la expansión de los gases y productos de la combustión. Si el contenedor esta siendo desahogado para limitar la presión interna, entonces el porcentaje de expansión es igual a la proporción con la cual los gases pueden ser liberados. El flujo volumétrico, Q, entonces es igual a la proporción de la expansión volumétrica:

$$Q = dVt / dt \quad (15)$$

substituyendo la ec. (13) en la (7), diferenciando con respecto al tiempo y sustituyendo el resultado en la ecuación (15) se llega a:

$$Q = \frac{dVt}{dt} = \frac{3Kt^2}{1atm} \quad (16)$$

resolviendo la ecuación (14) para t y substituyendo este valor en la ecuación (16) se llega a:

$$Q = \frac{3}{1 \text{ atm}} (PV)^{2/3} K^{1/3}$$

Dado que la presión inicial es una atmósfera sustituimos su valor equivalente de 2117 lb / ft^2 , y ya que el flujo máximo es el deseado se sustituye $P_{\text{máx}}$ por P en la ecuación (16), transformándose en:

$$Q = 0.00142 (P_{\text{máx}} V)^{2/3} K^{1/3} \quad (17)$$

En un contenedor no esférico (fig.3.12), la proporción máxima con que se eleva la presión es obtenida cuando la flama frontal es más larga que la superficie esférica que podría ajustarse al contenedor. Si el contenedor es rectangular, la superficie más grande es obtenida cuando el frente de la flama, esférico, se ha expandido al punto donde hace contacto con cuatro de las seis paredes, como se muestra en la fig. 3.12. Los lados aplanados de la esfera no se están quemando y estos no se incluyen en el área. El área para la flama frontal (área de la esfera menos los lados planos) esta dada por:

$$A_F = 2\pi rh \quad (18)$$

donde r es el radio de la esfera y h es la distancia entre los lados planos.

En un contenedor no esférico el flujo, Q , puede ajustarse por un factor de forma, definido como:

$$F = A_F / A_S \quad (19)$$

donde A_F es el área esférica más grande en el contenedor, y A_S es el área de la esfera, teniendo el mismo volumen que el contenedor.

Así, la ecuación para el flujo real se calcula como:

$$Q_{\text{REAL}} = 0.00142F(P_{\text{máx}} V)^{2/3} K^{1/3} \quad (20)$$

El flujo de aire a través de un orificio est dado por:

$$Q = 17 AP^{1/2} \quad (21)$$

La ecuación (21) asume un coeficiente para el orificio de 0.6 y es teóricamente válido para gases cuando $P_{\text{atm}} / P_{\text{equipo}} \geq 0.97$, donde P_{equipo} es la presión en el equipo y P_{atm} es de 1 atm.

La experiencia ha demostrado que la ecuación (21) es satisfactoria para contenedores y equipo a baja presión, llegando el error a ser pequeño aun cuando el límite de $P_{\text{atm}} / P_{\text{equipo}} \geq 0.97$ sea excedido. El error es solamente del 6% para una presión admisible de 15 psig, la cual corresponde a una relación de presión de $P_{\text{atm}} / P_{\text{equipo}} = 0.5$. Esto cubre muchas construcciones y equipo a baja presión.

Cuando P_{atm} / P_{equipo} es menor a 0.97 y donde la exactitud es más del 6% de lo esperado, una derivación similar puede realizarse usando:

$$Q = AP\lambda / 6633 \quad (22)$$

donde:

$$\lambda = 2406 \sqrt{\left(\frac{K}{K-1}\right) \left[\left(\frac{P_{atm}}{P_{equipo}}\right)^{2/K} - \left(\frac{P_{atm}}{P_{equipo}}\right)^{(K+1)/K} \right]}$$

La ec. (22) es la ecuación más general para flujo de fluidos compresibles a través de un orificio y permite cambios en la densidad a través de la abertura.

Igualando las ecs. 20 y 21 y despejando el área A, se obtiene:

$$A = \frac{(8.354 \times 10^{-5}) F (P_{máx. V})^{2/3} K^{1/3}}{(P_A)^{1/2}} \quad (23)$$

donde P_A es la presión permisible en el contenedor.

Dinámica en la sección de liberación.

La inercia del panel de liberación y su presión de fractura interactúan para producir la presión máxima en el contenedor. Los paneles de liberación pueden tener un movimiento de traslación (fig. 3.13) o de rotación (fig. 3.13); cualquiera de estos puede ser horizontal o vertical, produciendo cuatro condiciones básicas de venteo. Usando la definición de venteo total (el área abierta alrededor del panel es igual al área de venteo sin el panel) y considerando un

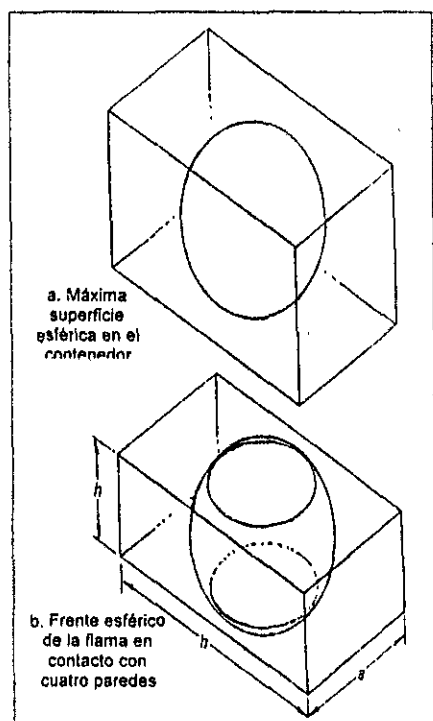


Fig.3.12 Propagación de una flama esférica en un contenedor

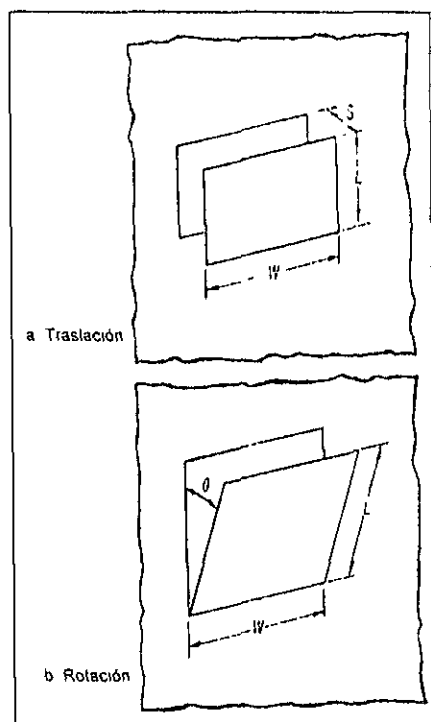


Fig. 3.13 Movimiento de los paneles en la liberación de gases

panel en traslación, el área perimetral para una liberación total es igual a $2S(W+L)$. Esta es igual al área de desfogue, WL . Igualando el perímetro y el área de venteo se obtiene:

$$S = WL / [2(W+L)] \quad (24)$$

Para un panel en traslación horizontal, la fuerza en el panel es igual a su masa por la aceleración:

$$F_P = Ma \quad (25)$$

La fuerza es igual a la presión en el panel por su área:

$$F_P = PA \quad (26)$$

Igualando las dos ecuaciones de la fuerza y resolviendo para la aceleración se obtiene:

$$a = PA / M \quad (27)$$

Apartir de la ecuación 14 $P = Kt^3 / V$, sustituyendo la en la ecuación 27 la aceleración queda como:

$$a = Kt^3 A / VM \quad (28)$$

La aceleración a demás es igual a la derivada de la velocidad respecto al tiempo: $a = dv_s / dt = Kt^3 A / VM$. Así:

$$dv_s = (Kt^3A / VM)dt \quad (29)$$

integrando

$$v_s = \frac{t^4 KA}{4 VM} + C_1 \quad (30)$$

A la presión de fractura el panel inicia su movimiento y su velocidad y la distancia recorrida son cero, el tiempo en ese punto es t_1 y la presión en el contenedor es la presión liberada, P_{bo} . Así a la presión de liberación: $t = t_1$, $P = P_{bo}$, $S = 0$ y $v_s = 0$. Igualando la ecuación (30) a cero y resolviendo para C_1 :

$$C_1 = - (t_1^4 KA / 4 VM)$$

sustituyendo esta relación en la ecuación 30

$$v_s = \frac{t^4 KA}{4 VM} - \frac{t_1^4 KA}{4 VM} \quad (31)$$

Dado que la velocidad es igual a la derivada de la distancia, $ds_1 / dt = v_s$.

Por lo tanto, la ecuación 31 puede ser reescrita como:

$$ds_1 = \left(\frac{t^4 KA}{4 VM} \right) dt - \left(\frac{t_1^4 KA}{4 VM} \right) dt \quad (32)$$

integrando la ecuación 32 se obtiene la distancia del movimiento del panel a cualquier tiempo.

$$S_1 = \frac{t_1^5 KA}{20 VM} - \frac{t_1^4 KA t}{4 VM} + C_2 \quad (33)$$

Para $S = 0$ y $t = t_1$, sustituyendo en la ec.33 y resolviendo para C_2 :

$$C_2 = \frac{t_1^5 KA}{4 VM} - \frac{t_1^5 KA t}{20 VM} = \frac{t_1^5 KA}{5 VM}$$

sustituyendo C_2 en la ec.33:

$$S_1 = \frac{t_1^5 KA}{20 VM} - \frac{t_1^4 KA t}{4 VM} + \frac{t_1^5 KA}{5 VM} \quad (34)$$

Resolviendo la ec. 14 para t , esta es igual a $(PV / K)^{1/3}$. Sustituyendo en la ec. 34 y usando $P = P_{bo}$ a un tiempo t_1 , obtenemos:

$$S_1 = \frac{A}{M} \left(\frac{V}{K} \right)^{2/3} \left[\frac{P^{5/3}}{20} - \frac{(P_{bo})^{4/3} P^{1/3}}{4} + \frac{(P_{bo})^{5/3}}{5} \right] \quad (35)$$

El peso del panel, D, es

$$D = Mg / A \quad (36)$$

rearrreglando la ecuación 36, $A/M = g/D$ y sustituyendo este resultado en la ecuación 35:

$$S_1 = \frac{g}{D} \left(\frac{V}{K} \right)^{2/3} \left[\frac{P^{5/3}}{20} - \frac{(P_{bo})^{4/3} P^{1/3}}{4} + \frac{(P_{bo})^{5/3}}{5} \right] \quad (37)$$

Si C representa al siguiente termino de la ecuación 37:

$$C = \left[\frac{P^{5/3}}{20} - \frac{(P_{bo})^{4/3} P^{1/3}}{4} + \frac{(P_{bo})^{5/3}}{5} \right] \quad (38)$$

entonces puede ser reescrita como:

$$S_1 = \frac{g}{D} \left(\frac{V}{K} \right)^{2/3} C \quad (39)$$

La función para C ha sido graficada en la figura 3.14 para facilitar su uso. La ecuación 39 es usada para determinar la presión en el contenedor cuando se tiene una abertura total debido a la dinámica del panel. Si la presión a una

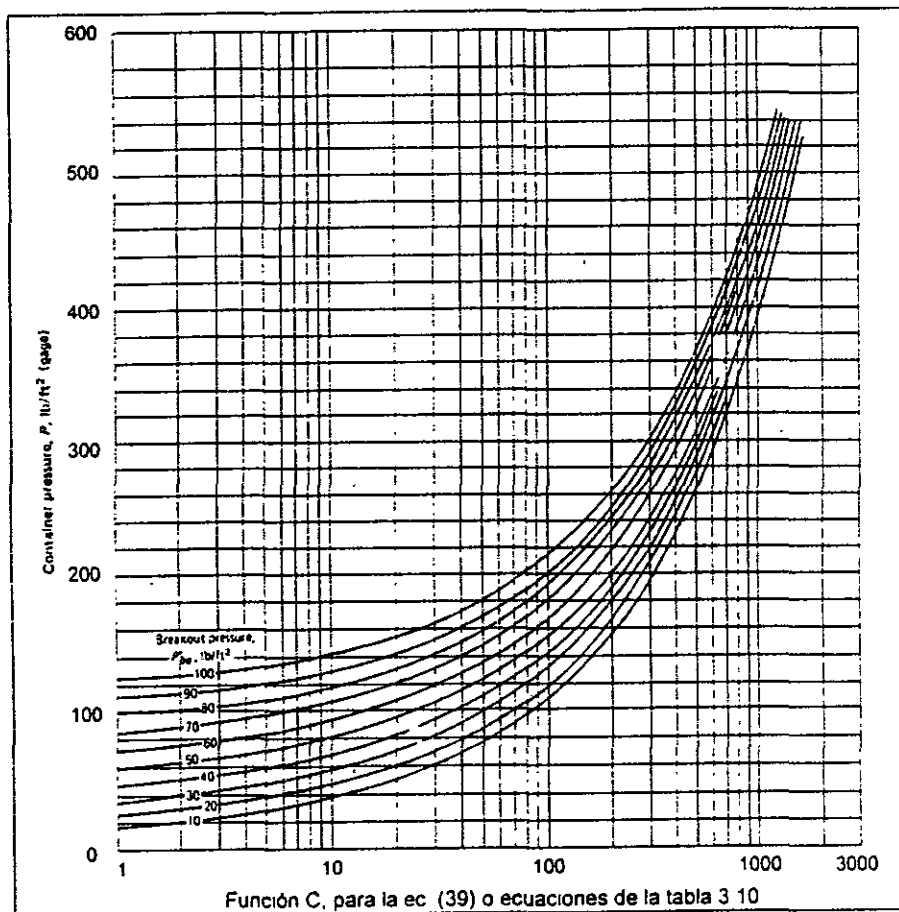


Fig. 3.14 Gráfica para la función C

abertura total es menor que la presión permisible, entonces el diseño del panel es satisfactorio.

Si la presión es demasiado alta, entonces el movimiento del panel estará causando una sobrepresión y debe de ser cambiado. Esto puede ser acompañado por un cambio en la presión de ruptura o en el peso del panel.

La ecuación 39 aplica para una traslación horizontal. Otras ecuaciones han sido derivadas en forma similar. Estas son resumidas en la tabla 3.13.

Tabla 3.13. Dinámica del panel por explosión

Traslación horizontal $S_1 = \frac{g}{D} \left(\frac{V}{K} \right)^{2/3} C$	Rotación horizontal al rededor del eje vertical $\theta_1 = \frac{3g}{2DL} \left(\frac{V}{K} \right)^{2/3} C$
Traslación vertical ascendente $S_1 = g \left(\frac{V}{K} \right)^{2/3} \left[\frac{C}{D} - E \right]$	Rotación vertical al rededor del eje horizontal, contra la gravedad $\theta_1 = \frac{3g}{2L} \left(\frac{V}{K} \right)^{2/3} \left[\frac{C}{D} - E \right]$
	Rotación vertical al rededor del eje horizontal, en el sentido de la gravedad $\theta_1 = \frac{3g}{2L} \left(\frac{V}{K} \right)^{2/3} \left[\frac{C}{D} + E \right]$

En las ecuaciones de la tabla, C y E representan:

$$C = \frac{p^{5/3}}{20} - \frac{(P_{bo})^{4/3} p^{1/3}}{4} + \frac{(P_{bo})^{5/3}}{5};$$

$$E = \frac{p^{2/3}}{2} - (P_{bo})^{1/3} p^{1/3} + \frac{(P_{bo})^{2/3}}{2}$$

por conveniencia, las funciones para C y E son graficadas en las figuras 3 y 4, respectivamente.

La distancia del panel en movimiento hasta que el área este totalmente llena es:

$$S = WL / 2(W+L)$$

$$\theta = W / (W+L)$$

Establecimiento de la fuerza de la explosión.

El método más común para medir la fuerza de la explosión es determinando la presión alcanzada en un pequeño recipiente de prueba. Una expresión para la presión alcanzada puede ser obtenida diferenciando la relación presión - tiempo, ec. 14:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{3Kt^2}{V} \quad (40)$$

Resolviendo la ecuación 14 para t y sustituyendo en la ecuación 40:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{3K \left(\frac{PV}{K} \right)^{2/3}}{V} = \frac{3K^{1/3} p^{2/3}}{V^{1/3}} \quad (41)$$

La ecuación (41) puede ser usada para calcular dP / dt en diferentes contenedores; muestra que la presión alcanzada depende del volumen y a sí

determina la proporción con la cual los gases, producto de la combustión, pueden ser liberados. Por esta razón, es importante que el volumen del aparato de prueba sea conocido para cualquier explosión.

Un mejor camino para cuantificar la fuerza de la explosión, para un material, es por el "factor K". Este es la constante en la ecuación (14). En teoría, este factor depende de la velocidad de combustión del material y no sobre el tamaño del contenedor. Si esto es cierto, entonces puede ser tratado como una propiedad del material.

Algunos datos de prueba se encuentran disponibles tales como los de explosividad de polvos mostrados en la tabla 3.14

Tabla 3.14 Explosividad de varios polvos

TIPO DE POLVO	PRESIÓN MÁXIMA (PSI)	VELOCIDAD MÁXIMA DE LA PRESIÓN ALCANZADA (PSI / S)
Grano de dextrina	105	7000
Comstarch, malla No. 325	145	9500
Polvo de granos, trigo, maíz, avena, cebada	131	7000
Lycopodium	75	3100
Azúcar pulverizada	91	5000
Polvo de papel, del colector de polvos	96	3600
Comida para animales	74	1900
Polvo de madera	99	5700

El factor K puede ser calculado a partir de tales datos usando la ecuación (41) si el volumen del equipo de prueba es conocido. Por ejemplo, la gráfica presión-tiempo de una prueba realizada en un equipo de Hartmann modificado (equipo para determinar la fuerza de la explosión y que es considerado como un estándar) muestra que el frente de la flama al tocar las paredes alcanza alrededor de 30 psi. con estos valores y el volumen del equipo de Hartmann (0.0434 ft^3), podemos calcular dP/dt en términos de K, a partir de la ecuación (41) como:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{3K^{1/3} (30 \times 144)^{2/3}}{(0.0434)^{1/3} (144)}$$

$$\frac{dP}{dt} = 16 K^{1/3}, \text{ Psi/s} \quad (42)$$

Resolviendo la ecuación (42) para K para el aparato de Hartmann:

$$K = ((dP/dt) / 16)^3 \quad (43)$$

El sistema Europeo ha sido adoptado por la NFPA, clasificando los polvos explosivos. En este método los polvos son divididos en tres clases de acuerdo a su fuerza explosiva (tabla III), y se usa nomogramas para seleccionar el área de liberación adecuada para un volumen de recipiente. Los nomogramas están basados en datos obtenidos a nivel piloto.

El factor K usado por la NFPA es derivado a partir de pruebas de explosión, realizadas en un aparato cilíndrico de un metro cúbico. La K europea es usualmente representada como K_{ST} para polvos, y K_G para gases (ver tabla 3.15).

El factor K Europeo esta definido como:

$$K_{ST} = V^{1/3} (dP/dt)_{MAX}, \quad (\text{bar})(\text{m})/\text{s} \quad (44)$$

Se usa el valor máximo para dP/dt y sus unidades son bar/s.

Tabla3.15 Clasificación de los polvos de acuerdo a su fuerza explosiva

CLASE	PROPORCIÓN ALCANZADA (ESTANDAR DE HARTMANN), PSI/S	FACTOR K DE HARTMANN, LBFT/S ³ X10 ⁶	FACTOR EUROPEO, K _{ST} , BAR M/S (IGNICIÓN FUERTE)	PROPORCIÓN ALCANZADA (HARTMANN MODIFICADO) PSI/S
1	0 - 7300	0 - 100	0 - 200	0 - 5400
2	7300 - 22000	100 - 2600	201 - 300	5400 - 16300
3	mayor de 22000	mayor de 2600	mayor de 300	mayor de 16300

Ejemplo. Calculo de la explosión.

La explosión se presenta en un filtro de bolsas cuyas dimensiones son 18 ft por 28 ft y por 11 ft de altura. La explosión es liberada por la parte superior, proyectando un panel que tiene un peso de 10 lb/ft². La presión máxima dentro del filtro es de 3.47 psi. El filtro se emplea para coleccionar un polvo cuyos datos son: P_{máx} de 60 Psi, y un incremento de 5080 Psi/s. La presión de fractura se asume que es de 30 lb/ft². en resumen, los datos para este ejemplo son:

$$D = 10 \text{ lb/ft}^2$$

$$V = 18 \times 11 \times 28 = 5550 \text{ ft}^3$$

$$P_a = 3.47 \text{ Psi} = 500 \text{ lb/ft}^2$$

$$dP/dt = 5080 \text{ Psi/s}$$

$$P_{bo} = 30 \text{ lb/ft}^2$$

Paso 1.

Se calcula el factor K usando la ec. (43)

$$K = (5080/16)^3 = 32 \times 10^6$$

Paso 2.

Calculo del área de liberación requerida, A, empleando la ecuación (23)

$$A = \frac{(8.35 \times 10^{-5}) F (8640 \times 5550)^{2/3} (32 \times 10^6)^{1/3}}{(500)^{1/2}}$$

$$A = 156 F$$

Paso 3.

Resolver para el factor de forma, F, usando la ecuación (19). El frente de la flama podría ser como se muestra en la fig. 1.b. a partir de la ec. (18) se determina la mayor superficie esférica en el contenedor como $A_F = 2\pi(9)(11) = 623 \text{ ft}^2$. Entonces, resolviendo para el área superficial de la esfera para el mismo volumen como contenedor. Como $V = 5550 \text{ ft}^3 = 4/3\pi r^3$, $r = 10.98 \text{ ft}$, y $A_S = 4\pi r^2 = 4\pi(10.98)^2 = 1515 \text{ ft}^2$. Sustituyendo estos valores en la ec. (19) se obtiene el factor de forma:

$$F = 623 / 1515 = 0.41$$

Paso 4.

Use el factor de forma para determinar el área de liberación. A partir del paso 2: $A = 156 F$

$$A = 156(0.41) = 64 \text{ ft}^2$$

Paso 5.

Revise la dinámica del panel expulsado para determinar el efecto sobre la presión máxima en el contenedor. Se asume que se usa un panel cuadrado. Por lo tanto el área de liberación requerida 64 ft^2 , las dimensiones del panel W y L pueden ser cada una de 8 ft. Entonces empleando la ecuación (24), resuelva la distancia requerida para tener totalmente lleno el venteo:

$$S = (8 \times 8) / 2(8 + 8) = 2 \text{ ft}$$

Paso 6.

Resuelva las funciones C y E que relacionan la presión interna con la presión de fractura. Usando la ecuación dada en la tabla I para una traslación vertical ascendente, e igualando S con S_1 , realizando la sustitución de las variables en la ecuación da:

$$2 = 32.2 (5550 / 32 \times 10^6)(C/D - E)$$

$$(C/D - E) = 19.98$$

Paso 7.

Use la gráfica de la fig. 3.14 y 3.15 para determinar la presión en el equipo por ensayo y error. La presión de fractura corregida para este caso es:

$$P'_{bo} = P_{bo} + D = 30 + 10 = 40 \text{ lb/ft}^2$$

Para el primer ensayo, asuma que $P = 300 \text{ lb/ft}^2$. A partir de la fig.3, se obtiene que $C = 520$ @ $P = 300$ y $P'_{bo} = 40$. El valor correspondiente de E es de 5.4, a partir de la fig.4. Por lo tanto.

$$(C/D - E) = 46.6$$

Este valor no se aproxima al valor de 19.98

Para el segundo ensayo, asuma que $P = 200$. De la fig. 3.14, $C = 240$; y de la fig.3.15, $E = 3$. Entonces:

$$(C/D - E) = 21$$

Este valor si se aproxima al requerido de 19.98. Por lo tanto, la presión debida a la dinámica del venteo será aproximadamente de 200 lb/ft^2 . Como esta es menor que la presión de diseño, 500 lb/ft^2 , el venteo es satisfactorio.

Si la presión debida a la dinámica del panel hubiese sido más alta que la permisible, un panel con diferentes características tiene que ser probado. Una presión de fractura baja o un panel grande pueden reducir la presión máxima alcanzada en el contenedor.

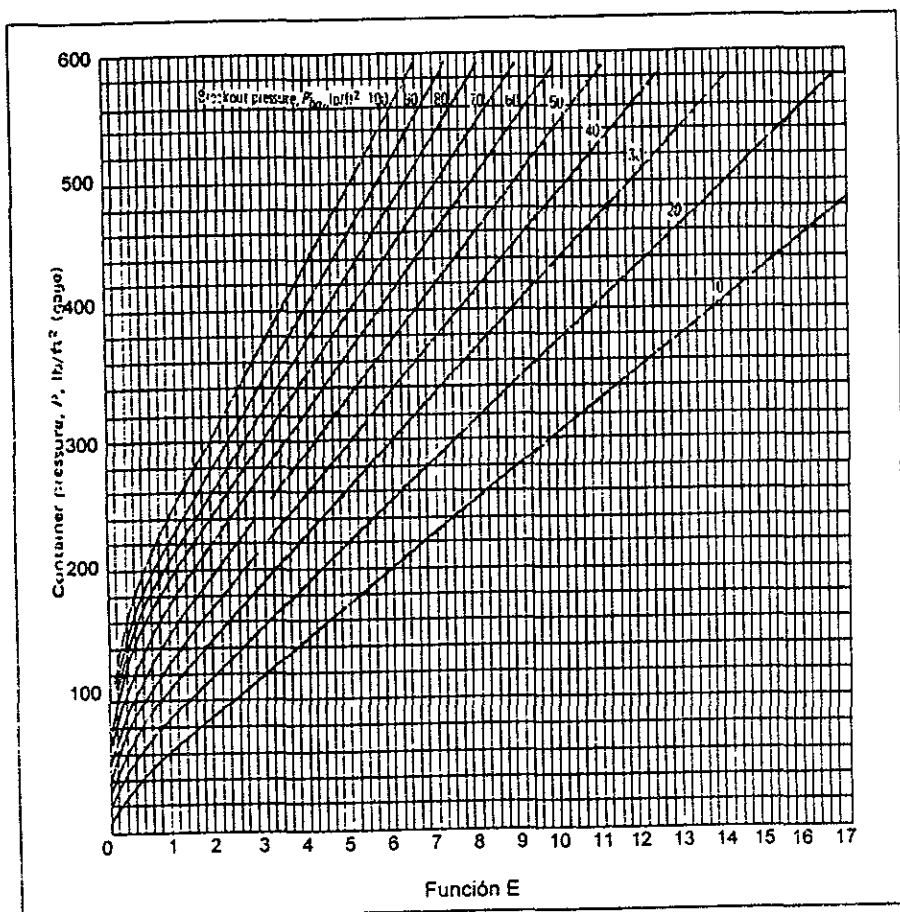


Fig. 3.15 Función E para las ecuaciones dadas en la tabla 3.10

3.4.5 Análisis que sucede sí

La metodología ¿qué sucede sí? es un proceso donde se formulan y revisan preguntas de la forma ¿qué sucede sí?. El método cuenta con los siguientes puntos principales:

- Definición del alcance
- Selección del grupo
- Revisión de la documentación
- Formulación de las preguntas
- Respuesta a la evaluación con sus consecuencias
- Resumen del conjunto de preguntas

Las características básicas de un análisis ¿qué sucede sí? y los puntos sobresalientes a través del análisis son los siguientes:

- Un análisis ¿qué sucede sí? puede ser un estudio sistemático de:
 - a) procesos químicos actuales
 - b) procedimientos de operación
 - c) procedimientos de mantenimiento
 - d) descripción del trabajo del operador
 - e) diagramas de flujo de proceso
 - f) diagramas de tubería e instrumentación
 - g) inventario de químicos
 - h) otros documentos de diseño

- Un análisis ¿qué sucede sí? puede ser puesto en marcha por un grupo multidisciplinario
- La lista de preguntas puede ser preparada sobre la marcha
- La lista de preguntas puede ser preparada en grupo o independientemente
- El equipo debe de ser hábil para responder a las preguntas con un mínimo de asistencia externa
- El coordinador y los indicadores para el equipo son asignados de acuerdo a la duración del estudio
- Los resultados del análisis pueden ser presentados en forma tabular e incluir:
 - i) las preguntas ¿qué pasa sí?
 - j) descripción de la correspondiente consecuencia del peligro
 - k) una evaluación de criticidad basado en la proporción del potencial liberado.

Con este método es importante primero, definir el tipo de proceso peligroso para delimitar el alcance del estudio. Estos peligros pueden ser cualquiera de los siguientes: fuego; explosión; liberación de un gas tóxico; liberación de un líquido tóxico; liberación radioactiva; reacción inadecuada o liberación de olores. El siguiente paso es definir los límites físicos de la fuente del peligro potencial y el área de impacto.

Los límites físicos para la fuente de un proceso peligroso pueden ser:

- 1) Una sola pieza del equipo

- 2) Una unidad del proceso con varias piezas del equipo
- 3) Una instalación completa o un grupo de unidades de proceso
- 4) Una comunidad

La definición de la fuente del proceso peligroso es importante, porque define tanto la extensión de una fuente (en la industria el término significa "localización y cantidad de un material peligroso liberado"), así como también la interrelación del equipo considerado. Un ejemplo de esto son los servicios tales como vapor, electricidad, control de proceso o aire de instrumentos que cruzan los límites del proceso, dado que son suministrados desde otra parte. Esto es útil en el análisis que sucede sí, para conocer que pasa si un servicio en la interfase (límite) se pierde.

Una comunidad puede ser considerada un límite físico para la fuente de un proceso peligroso, si las consideraciones de transporte son importantes por los materiales que son recibidos o que salen desde la instalación en operación.

La definición del área de impacto o área receptor en un análisis ¿qué pasa sí?, se hace necesaria. Las consecuencias determinadas por el análisis pueden ser categorizadas en tres grupos generales:

- 1) Consecuencias que afectan a los trabajadores en el sitio
- 2) Consecuencias a través de las cuales se tienen pérdidas económicas u ocurre un retraso en la producción y,
- 3) Consecuencias a través de las cuales la población fuera del sitio es afectada.

La definición física del proceso peligroso y el área afectada por el peligro son necesarios posteriormente en el estudio, cuando los peligros son resumidos y categorizados con respecto a su efecto potencial.

Documentación de soporte

La siguiente y tercera etapa del análisis, es la selección y revisión de los documentos necesarios para la preparación de las preguntas que sucede sí. Estos documentos básicos pueden ser revisados por cada miembro del equipo en forma individual, antes de que la revisión y análisis sea realizada por el equipo.

Los documentos importantes para el análisis ¿qué sucede sí? y para la preparación de las preguntas incluye por lo menos las siguientes:

- Descripción del proceso químico
- Procedimientos de operación
- Procedimientos de mantenimiento
- Descripción de las actividades del operador
- Diagramas de flujo de proceso
- Diagramas de tubería e instrumentación
- Inventarios de materiales peligrosos
- Otros documentos
 - planos del sitio
 - layout del equipo
 - planes de respuesta a emergencias
 - Resumen de eventos y fuerzas externas como las ambientales u otras relacionadas con peligros externos

-Diagramas de clasificación de las áreas eléctricas

Formulación de las preguntas

La formulación de las preguntas qué sucede sí representa la cuarta etapa del análisis. Las preguntas son hechas en la forma ¿qué sucede si?. Estas pueden dirigirse a:

- Falla del equipo
- Alteración en las condiciones del proceso (debido a un cambio en la temperatura, presión o alimentación)
- Falla de la instrumentación
- Falla en los servicios
- Improvisación del operador, mal funcionamiento, descuidos
- Desviación de los procedimientos de operación durante las operaciones normales, arranque o paro
- Accidentes relacionados con el mantenimiento
- Sitios, tales como áreas de transportación, impacto de una grúa o accidentes relacionados con el manejo
- Eventos externos, como accidentes de avión, vandalismo, tormentas y combinación de fallas, tales como múltiples fallas del equipo o falla del equipo combinada, con el error del operador.

Las preguntas pueden ser preparadas de manera sistemática, iniciando por la alimentación del proceso avanzando a través de este y terminando en la corriente del producto final.

Evaluación

Corresponde a la quinta etapa del análisis. las preguntas son recopiladas por el coordinador del equipo, quien las organiza en grupos, pudiendo ser arregladas de acuerdo a la cronología del proceso u operación. Las preguntas pueden ser listadas como se muestra en la tabla 3.13, con las siguientes columnas.

- Descripción de la pregunta
- Correspondiente consecuencia o peligro
- Criticidad del peligro basado en el potencial liberado
- Acciones recomendadas para mitigar el peligro

Cada renglón en la tabla representa una pregunta individual.

La sexta y última etapa en el análisis es la realización de la tabla resumen preparada en la revisión. La tabla no solamente puede incluir las cuatro columnas usadas en la revisión, si no también información como: identificación de la unidad, localización, fecha, número de diagrama, número de revisión y participantes. LA tabla además puede presentar cualquier discusión realizada durante la revisión y que no fue resuelta en ese momento.

Resultados

Los resultados del análisis son resumidos en la tabla ejemplo de la figura 3.16. Los requerimientos locales (regulaciones) pueden necesitar la modificación de la tabla.

El rango de criticidad se emplea para indicar el rango cualitativo del peligro asociado con la pregunta. Algunos criterios que pueden ser usados para el rango de criticidad son los siguientes:

- Estimación de la cantidad liberada. Puede ser expresada en términos cualitativos, tales como nada, bajo, medio, alto.
- Número de trabajadores afectados en el sitio. Este número puede ser expresado como todo (evacuación general), mayor (aproximadamente el 50% de los empleados afectados o evacuación parcial), local ($\leq 10\%$ de los empleados afectados) o nada.
- Liberación reportada por una agencia. Incluyendo la regulación de la respuesta, investigación y seguimiento administrativo.
- Pérdidas de equipo. Expresado en términos económicos (nada, bajo, medio o alto), usando cualquier intervalo de tiempo (nada, minutos, horas, días o meses).

Ventajas y Desventajas

Ventajas:

No requiere de técnicas especializadas

Puede ser efectuado en cualquier tiempo durante la vida de la planta

Es medianamente barato

Proporciona una tabla resumen de los resultados

Desventajas:

Requiere de un grupo multidisciplinario

Se requiere de un equipo con experiencia, intuición e imaginación

Es un análisis subjetivo y no sistemático como algunos otros (por ejem.,

HAZOP)

Los resultados son cualitativos sin una priorización numérica.

Tabla 3.16 Análisis qué sucede si?

¿QUÉ SUCEDE SI?	RESPUESTA / PELIGRO	CRITICIDAD	RECOMENDACIONES
18 * Existe ruptura de la línea de vapor sobrecalentado en la columna principal de FCC?	Iniciar el procedimiento de paro de emergencia; el material del reactor y la columna así como el gas deberán ser liberados. Esta corriente debe ser enfriada a la salida del reactor, el potencial de autoignición es reducido, así el H ₂ S no puede ser combustionado	M ^b	Seguir las prácticas y procedimientos estándar. Avisar a los organismos de respuesta locales y estatales
23 El nivel manométrico en la columna principal produce una sobre presión generando una fractura?	El H ₂ S en una corriente de hidrocarburos puede ser liberada. El operador puede ser alertado por la presión y las lecturas de nivel en el cuarto de control y por las alarmas de nivel.	M	Seguir las prácticas y procedimientos establecidos.
28 Existe ruptura de la tubería en el enfriador de la unidad concentradora de gas?	Los hidrocarburos pueden ser liberados hacia el agua de enfriamiento. El H ₂ S puede ser arrastrado por el aire en la torre de enfriamiento.	M	Realizar pruebas hidrostática y sellar las fugas cuando sea limpiado mecánicamente.
53 Existe ruptura de los tubos en el condensador o fugas en el cabezal?	El vapor que contiene H ₂ S puede ser liberado al aire	M	Seguir prácticas y procedimientos estándar
63. Existe ruptura en la línea de vapor sobrecalentado en el regenerador de metanol amina MEA (es un evento externo)?	Parar el área de refinación. Desfogar el H ₂ S hasta que el flujo nico en MEA del regenerador sea detenido, detectado por la pérdida de flujo / presión en los indicadores del cuarto de control.	M	Inicio de la respuesta a emergencias. Seguir el procedimiento normal de paro. Seguir los programas de inspección en tuberías
80. No se cuenta con controladores de relevo para el quemador, los pilotos del quemador están apagados?	La planta saldrá fuera de operación. H ₂ S es liberado durante 30 min. aproximadamente.	M	Seguir los procedimientos de paro normal y notificar de la emergencia

a: No todas las preguntas aparecen, solamente son presentados los peligros de criticidad moderada.

M^b = Moderado. Otros valores de criticidad son "bajo" y "alto".

UNIDAD: REVISIÓN:		FECHA:	NO. DE DTI:
Localización:		Evaluador(s):	
Pregunta ¿Qué sucede si?	Peligro o consecuencia	Rango de criticidad	Acciones a seguir
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			

fig.3.16 Formato para los resultados del análisis ¿Qué sucede si?

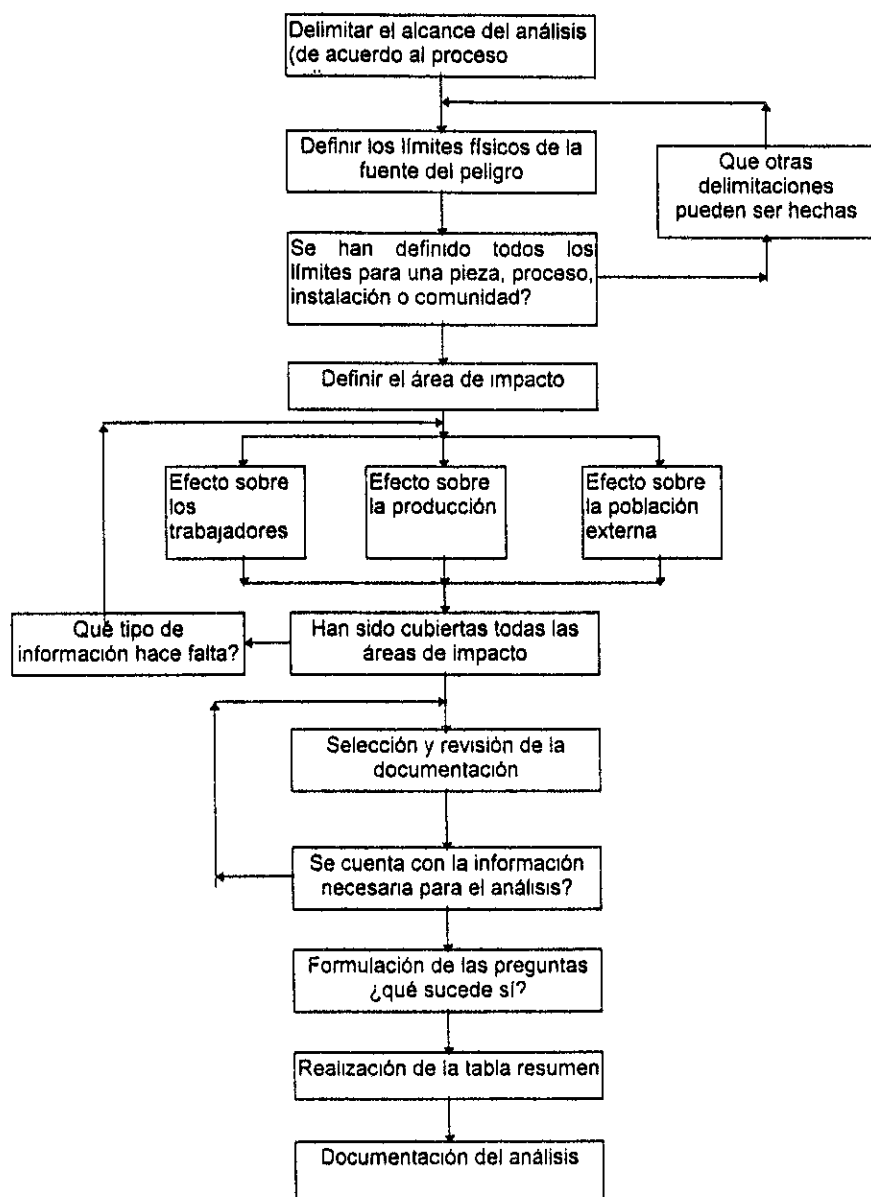


Fig.3.17 Diagrama de bloques para el análisis ¿qué sucede si?

3.4.6 Análisis de Efectos y Modos de Falla (FMEA)

El análisis evalúa las vías por las que el equipo puede fallar (o ser inadecuadamente operado) y los efectos de estas fallas sobre el proceso. La descripción de estas fallas dan las bases para determinar que cambios pueden ser hechos para mejorar el diseño de un sistema. Durante un FMEA, se describen las consecuencias potenciales relacionadas solamente con las fallas del equipo.

Cada falla individual es considerada como un suceso independiente, sin ninguna relación con otras fallas en el sistema, excepto para los subsecuentes efectos que pudiesen producirse.. Sin embargo, en circunstancias especiales, las causas comunes de falla de más de uno de los componentes del sistema deben de ser considerados.

El desarrollo de un FMEA consta de tres etapas:

- 1) Definición del problema bajo estudio
- 2) Revisión del desarrollo
- 3) Documentación de los resultados

Definición del problema.

En esta etapa se identifican los puntos específicos a ser incluidos en el análisis y las condiciones bajo las cuales estos son analizados. la definición del problema involucra:

- 1) Establecimiento adecuado del nivel de resolución para el análisis
- 2) Definición de las condiciones límite para el análisis

El nivel de resolución determina la extensión de los detalles incluidos en el análisis.

La definición de las condiciones límite para el análisis incluye:

- Identificación de la planta y/o sistema que será sujeta al análisis
- Establecimiento de los límites físicos del sistema para el análisis.
Esto incluye las interfaces con otros procesos y los sistemas de soporte / servicio. Un camino para indicar los límites físicos del sistema, es marcarlos sobre un diagrama de dicho sistema que englobe a todo el equipo junto con el alcance del análisis. Estas condiciones límite pueden ser además el estado en las condiciones de operación en las interfaces.
- Establecimiento de los límites analíticos del sistema, incluyendo:
 - 1) modos de falla, consecuencias de la operación, causas y salvaguardas existentes
 - 2) condiciones de operación iniciales o posición del equipo
- Recopilación de los datos para la información de referencia que identifica al equipo y su relación funcional con la planta / sistema .
Esta información es necesaria para todo el equipo incluido dentro de los límites del sistema y las interfaces adecuadas con el resto de la planta.

Revisión del desarrollo.

El análisis puede ser realizado de una manera sistemática para reducir la posibilidad de omisiones y para aumentar la perfección del análisis. Una manera de ayudar a asegurar una revisión eficiente y completa es el desarrollo de un formato para registrar los resultados. La tabla 3.14 muestra un formato. La información adicional, tal como las causas de los modos de falla pueden ser adicionadas para facilitar la priorización de los resultados. Todos los modos de falla pueden ser evaluados para cada componente o sistema identificado en el análisis antes de proceder con el siguiente componente. Los siguientes conceptos pueden ser registros estándar para el formato del análisis.

Identificación del equipo. Se debe de tener una única identificación para el equipo tanto en el diagrama del sistema, proceso o localización. Esta identificación lo distingue entre equipo similar (por ejem., dos válvulas accionadas por motor) que realizan diferentes funciones dentro del mismo sistema. Los números de equipo o claves en los diagramas del sistema, como los DTI's usualmente disponibles, dan una referencia para el sistema existente.

Tabla 3.17 Formato típico para un FMEA

Fecha: Planta: Referencia:				Página: de Sistema: Analista(s):		
Punto	Identificación	Descripción	Modos de falla	Efectos	Salvaguarda	Acción

Descripción del equipo. La descripción puede incluir el tipo de equipo, la configuración de operación y otros servicios característicos (como alta temperatura, alta presión o un servicio corrosivo) estos pueden influenciar los modos de falla y sus efectos. Por ejem., una válvula puede ser descrita como "una válvula accionada por un motor, normalmente abierta, en una línea de tres pulgadas de ácido sulfúrico".

Modos de falla. Se pueden listar todos los modos de falla para cada componente junto con la descripción del equipo. Considerando la condición de operación normal del equipo se pueden concebir todos los mal funcionamientos que alteran el estado de operación normal del equipo. Por ejem., los modos de falla de una válvula normalmente cerrada pueden ser:

- La válvula se pega permaneciendo cerrada (o falla para abrir cuando se requiere)
- La válvula se mueve inadvertidamente durante una operación
- La válvula presenta fugas hacia el medio ambiente
- La válvula presenta goteras
- La válvula exhibe rupturas

La tabla 3.18 contiene ejemplos adicionales de modos de fallas

Tabla 3.18 Ejemplos de modos de falla usados en un FMEA

Descripción del equipo	Ejemplo de los modos de falla
Bomba, operada normalmente	Falla al arranque (falla para detenerse cuando es requerido) Transferencia del interruptor (se detiene cuando se requiere que arranque) Ruptura del empaque / goteras Ruptura de la cubierta de la bomba / fuga
Intercambiador de calor, alta presión en el lado de los tubos.	Ruptura / fuga, del lado de los tubos hacia la coraza Ruptura / fuga, del lado de la coraza hacia el exterior Lado del tubo, punto sellado Lado de la coraza, punto de unión Ensuciamiento

Efectos. Para cada modo de falla identificado, se pueden escribir los efectos inmediatos sobre la localización y los efectos de falla sobre otro equipo, así como también sobre el sistema global o proceso. Por ejemplo, el efecto inmediato de la fuga en el sello de la bomba, es un derrame en el área circundante de la bomba. Si el fluido es inflamable, el derrame puede inflamarse dado que la bomba es una fuente potencial de ignición. Subsecuentemente, el fuego puede dañar al equipo cercano, como también puede ser una amenaza para el personal en el área. La clave para asegurar un FMEA consistente, es asegurar que los efectos de todas las fallas del equipo son analizadas.

Salvaguardas. Para cada modo de falla identificado se deben de describir algunas medidas de seguridad o procedimientos asociados con el sistema que puedan reducir la probabilidad de ocurrencia de una falla específica o que pueda mitigar las consecuencias de la falla.

Acciones. Para cada modo de falla se pueden listar varias acciones correctivas, para reducir la probabilidad de los efectos asociados con el modo de falla. Por ejemplo, una alarma por alta presión puede ser sugerida para un reactor.

Documentación de los resultados.

La documentación del FMEA es una tabulación consistente y sistemática de los efectos de las fallas del equipo, proceso o sistema. La identificación del equipo en el FMEA provee una referencia directa entre el equipo y los DTI's del sistema o diagramas de flujo de proceso.

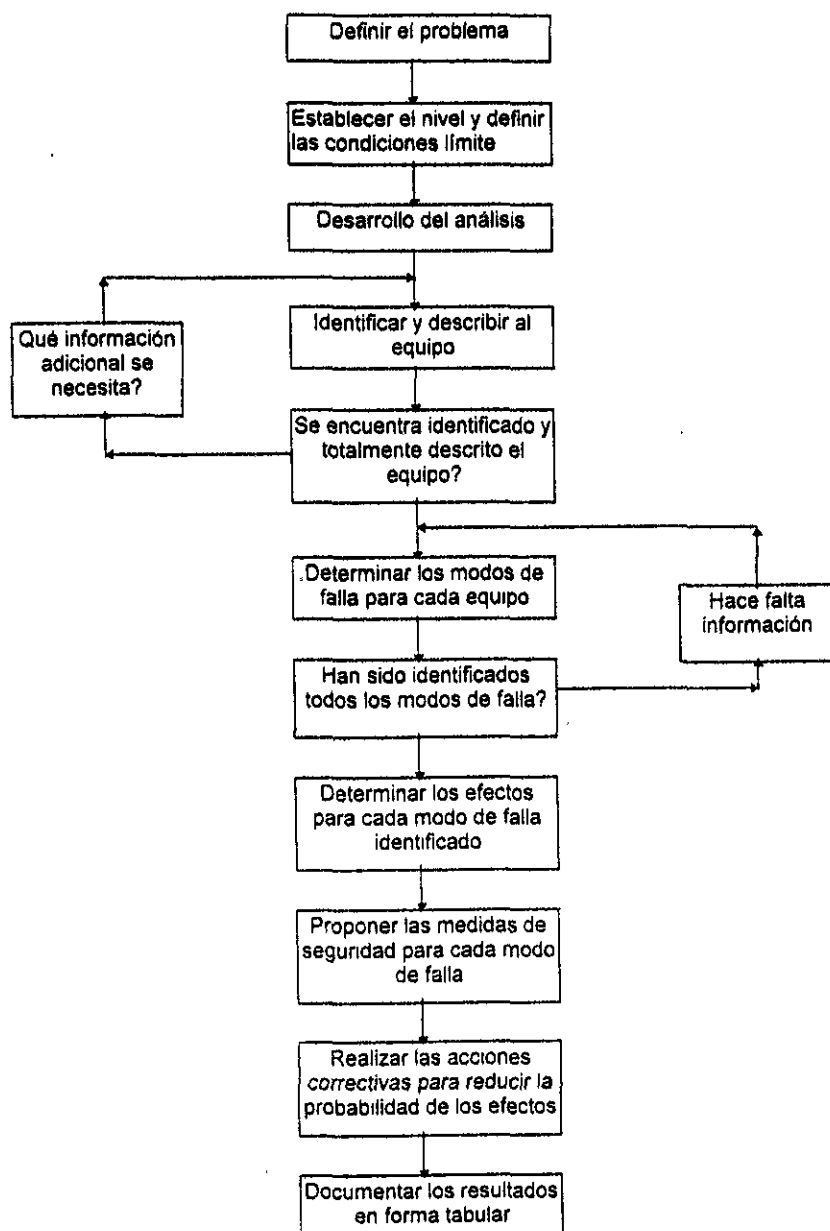


Fig. 3.18 Diagrama de bloques para realizar un FMEA

3.4.7 ESTUDIO DE RIESGOS Y OPERABILIDAD (HAZOP)

La industria química es una industria preocupada por la innovación, ya que en ella se desarrollan nuevos procesos y productos, lo que en ocasiones tiene como consecuencias operar a altas temperaturas, presiones y medios tóxicos.

Cuando algo nuevo o algo distinto a lo usual se lleva a cabo en una planta química existe el riesgo de que alguna parte del proceso no se comporte conforme a lo esperado. Esta desviación podría tener efectos muy serios en alguna otra parte del proceso. Una técnica diseñada para identificar estos peligros sobre el personal, la planta y el medio ambiente es conocida como: "estudio de riesgos y operabilidad". (Hazard and Operability Studies).

El objetivo de la técnica es estimular la imaginación del diseñador de una forma sistemática. Es lo suficientemente flexible para aplicarse a todo tipo de plantas, procesos continuos o batch, equipos individuales, etc.

La técnica se puede aplicar sobre los conceptos iniciales desarrollados en laboratorio; en el diseño final de la planta o algún diseño intermedio; al hacer reparaciones y trabajos de mantenimiento; en el arranque o paro de plantas.

A través de la técnica uno imagina "desviaciones" utilizando ciertas "palabras clave" que permiten una búsqueda sistemática de los peligros escondidos en las plantas.

El método tiene sus limitaciones pero ha probado ser práctico y poderoso , aunque es imposible eliminar todos los peligros en una planta, éstos si pueden ser determinados y estudiados.

La técnica sería una pérdida de tiempo si el mantenimiento de la planta fuera poco serio y los equipos o instrumentos no fueran revisados regularmente.

Desarrollo del método

Palabras clave.

Son palabras simples usadas para analizar el propósito del uso de un equipo, guiando y estimulando la creatividad de un grupo de trabajo para descubrir las posibles desviaciones al proceso".

PALABRA CLAVE	SIGNIFICADO	COMENTARIOS	DESVIACION
No, Nada	Total negación de la intención	Ninguna parte de la intención ocurre	No existe flujo donde debiera. No hay energía
Más, Mayor	Aumenta el grado de la intención	Se refiere a cantidades y propiedades	Mayor flujo, más carga, tiempo de reacción, alta temperatura, presión, viscosidad
Menos, Menor	Disminuye el grado de la intención	Se refiere a cantidades y propiedades	Menor flujo, menos carga, tiempo de reacción, baja temperatura, presión, viscosidad
Aparte de, también	Un aumento cualitativo	La intención ocurre junto con otra actividad	Otras fases, impurezas, otros flujos, aparte existe corrosión
Aparte de, sólo parte de	Una disminución cualitativa	Algunas intenciones ocurren otras no	Composición diferente, alguna omisión en adiciones
Contrario a	Ocurre lo opuesto a la lógica	Ocurre lo contrario a lo que se esperaba	El flujo se regresa, el producto envenena, "D" VS "L"
En vez de, antes de, después de, a donde más	Sustitución completa	Ocurre algo totalmente distinto a lo esperado	En vez de cargar "A" se carga "B"; en vez de enfriar, calentar

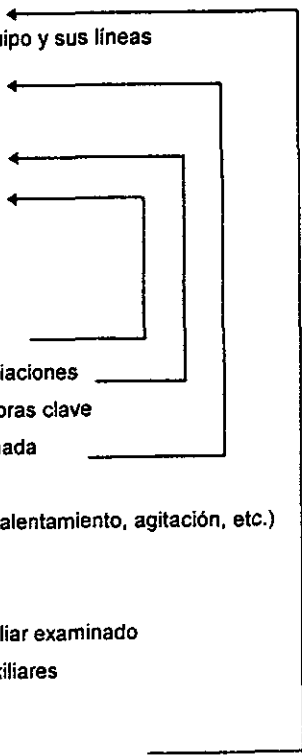
El cuestionamiento se enfoca cada parte del diseño o planta explorándose cualquier forma posible en que podría ocurrir una desviación. Esto produce un

El cuestionamiento se enfoca cada parte del diseño o planta explorándose cualquier forma posible en que podría ocurrir una desviación. Esto produce un número de "desviaciones teóricas", planteándose como podrían ser causadas y cuáles serían las consecuencias.

Algunas causas serán irreales y sin probabilidad de que tengan consecuencias. Otras serán reales con consecuencias triviales pero sin necesidad de estudiarse y por último algunas serán reales y con consecuencias potencialmente peligrosas. En este caso, si la solución no es obvia puede ser necesario obtener más información (literatura, trabajo experimental, etc.). El éxito o fracaso de esta técnica depende de:

- a). La exactitud de los dibujos y los datos
- b). La habilidad del grupo para utilizar la técnica como una ayuda a su imaginación
- c). La habilidad del grupo para mantener un sentido de proporción en desviaciones, causas, consecuencias y peligros.

Secuencia detallada del procedimiento

1. Seleccionar un equipo
 2. explicar la intención general del equipo y sus líneas
 3. seleccionar una línea
 4. Explicar la intención de la línea
 5. Aplicar la primera palabra clave
 6. Proponer una desviación factible
 7. Examinar posibles causas
 8. Examinar consecuencias
 9. Detectar peligros
 10. Hacer un registro
 11. Repetir 6 - 10 para todas las desviaciones
 12. Repetir 5 - 11 para todas las palabras clave
 13. Poner señal sobre la línea examinada
 14. Repetir 3 - 13 para cada línea
 15. Seleccionar un sistema auxiliar (calentamiento, agitación, etc.)
 16. Explicar la intención del auxiliar
 17. Repetir 5 - 12 para el auxiliar
 18. poner señal sobre el sistema auxiliar examinado
 19. Repetir 15 - 18 para todos los auxiliares
 20. Explicar la intención del equipo
 21. Repetir 5 - 12
 22. Poner señal sobre el equipo examinado
 23. Repetir 1 - 22 para todos los equipos del diagrama
 24. Marcar el diagrama como revisado
 25. Repetir 1 - 24 para todos los diagramas
- 

Composición del grupo de trabajo

Existen dos tipos de miembros: técnicos y de soporte

Técnicos:

- Ingeniero mecánico
- Ingeniero de proyecto
- Ingeniero químico
- Ingeniero de proceso
- Supervisor de seguridad
- Químico investigador
- Superintendente de producción
- Gerente de proyecto
- Instrumentista

Se recomienda que el grupo sea entre tres y cinco técnicos. Si se requirieran más se recomienda dividir el grupo.

Soporte:

- Líder del equipo: dirige el cuestionamiento. De preferencia, alejado del caso en cuestión.
- Secretario

EJEMPLO.

Considerar una planta donde las sustancias A y B reaccionan formando el producto C. Suponer que B no debe exceder a A pues ocurriría una explosión. (obsérvese que ya se conoce este efecto, o sea un amplio conocimiento de la reacción).

Intención: Transferir A a un flujo determinado

Desviación: Flujo

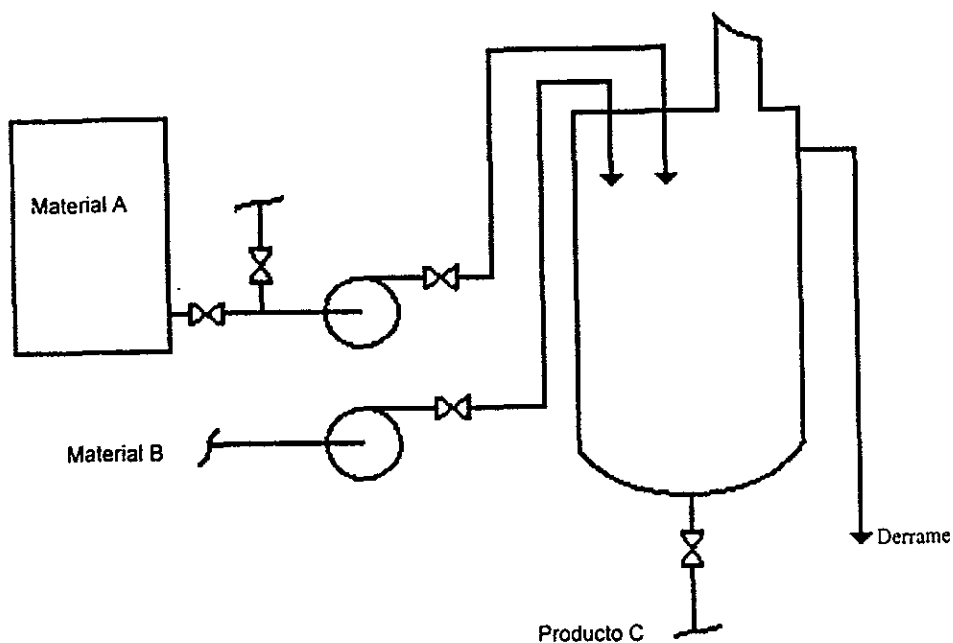


Fig. 3.19 Aplicación de la técnica Hazop en la reacción de las sustancias A y B

Palabra clave: No, Nada (no hay flujo, nada de flujo)

Causas:

- El tanque de suministro esta vacío o con bajo nivel
- Falla de la bomba (mecánica, eléctrica, apagada)
- Fractura de la tubería
- Válvula cerrada

Todas las causas anteriores son posibles, por lo que la desviación también lo es. Consecuencia: incremento de B sobre A = Explosión.

Se ha localizado un peligro y se deben tomar las medidas correspondientes.

Palabra clave: Más , Mayor (el flujo de A es mayor, o se carga más de A) (continuo) (Batch).

Causas:

- La bomba produce un flujo excesivo.
- Se carga en exceso A en el tanque de suministro (Batch)

Consecuencias:

- Se producirá un producto C contaminado con A.
- Parte del producto se perderá en el derrame.
- Se requiere de más información para analizar las consecuencias.

Palabra clave: Menos, Menor (el flujo de A es menor, o se carga menos de A).

Causas:

- La válvula esta parcialmente cerrada.
- La línea esta parcialmente bloqueada.
- La bomba no produce el flujo adecuado (mecánico).
- Se carga menor cantidad de A en el tanque de suministro (Batch).
- Flujo desviado a otra parte del proceso.
- Consecuencia:
 - Incremento de B sobre A en el reactor = Explosión
 - Se ha localizado un peligro y se deben tomar las medidas correspondientes.

Palabra clave: Aparte de, También (aparte de tener A, se tiene otro compuesto).

Causas:

- A la succión de la bomba hay una válvula en la línea proveniente de otra parte del proceso. Válvula abierta.

Consecuencias:

- Descomposición de A en la línea a la bomba.
- Se requiere de más información para analizar las consecuencias.

Palabra clave: Parte de (parte de A es transferida).

Algún componente de A falta (se requiere conocimiento de la composición)

Palabra clave: Contrario a (flujo inverso del reactor a la bomba).

Causas:

- ΔP , By pass, Conexiones erróneas.

Consecuencias:

- No determinadas. Se deben estudiar.

Palabra clave: En vez de (se carga un material en vez de A).

Causas:

- Válvula del tanque de alimentación cerrada y abierta la de la T
- Se carga otro producto en el tanque de alimentación en vez de A
- Se descarga A en otro lugar por la T en vez del reactor. A solidifica en vez de ser líquido, taponándose la línea.

Comentarios a la técnica.

- El estudio no se puede llevar a cabo sin contarse con un diagrama de tubería e instrumentación y diagrama de flujo. Estos diagramas deben de estar actualizados cuando se estudia una planta existente.
- En plantas Batch se requiere a parte identificar la secuencia de operaciones por medio de diagramas lógicos o de secuencia.
- El estudio de cada equipo toma de 1.5 a 3 hrs.
- Cada reunión de trabajo no debe durar más de 3 hrs, 2 a 3 veces por semana.

- Para evitar cambios costosos en la construcción de una nueva planta, muchas compañías llevan a cabo un estudio preliminar de riesgo y operabilidad antes de tenerse el DTI final. esto no elimina la necesidad de tener que llevar a cabo un estudio final posteriormente.

Las acciones para eliminar (o reducir) los riesgos en una planta generalmente son:

- a). Cambio en el proceso (materias, "receta", etc.).
- b). Cambio en las condiciones del proceso (P, T, etc.).
- c). Cambios del diseño físico.
- d). Cambios en el método de operación.

En caso de que se demostrara que los riesgos no pueden ser totalmente eliminados, el equipo de trabajo deberá considerar lo que debe hacerse para proteger a los operadores, el medio ambiente y la vecindad de la planta.

Revisión previa: detección de peligros mayores

Es altamente recomendable estimar los peligros mayores, incluso las peligrosas interacciones entre distintas plantas al inicio del desarrollo de una planta. Posteriormente se pueden tomar decisiones fundamentales como:

- 1). Localización de la planta.
- 2). Localización de la planta referida a otra planta.
- 3). Aspectos particulares del diseño.
- 4). Investigación requerida.

Este estudio evitará que el estudio de riesgo y operabilidad llevado posteriormente conduzca a cambios (costos) mayores.

PARAMETROS GENERALES	PELIGROS POTENCIALES
1) Materiales •Materias primas •Intermedios •Productos •Efluentes	•Fuego •Explosión •Detonación •Toxicidad •Corrosión
2) Operaciones unitarias •Mezclado •Destilación •Secado, etc.	•Radiación •Ruido •Vibración •Material nocivo
3) Arreglo •Arreglo entre operaciones unitarias •Relaciones de espacio	•Electrocución •Asfixia •Falla mecánica

Tabla 3.19 Hoja de trabajo para realizar el análisis de riesgo y operabilidad (HAZOP)

Nodo de referencia:		DOCUMENTO DE REFERENCIA		REVISION:
TITULO DEL DOCUMENTO:				
CONCEPTO:				
Desviación	Causa	Consecuencia	Precauciones	Acción

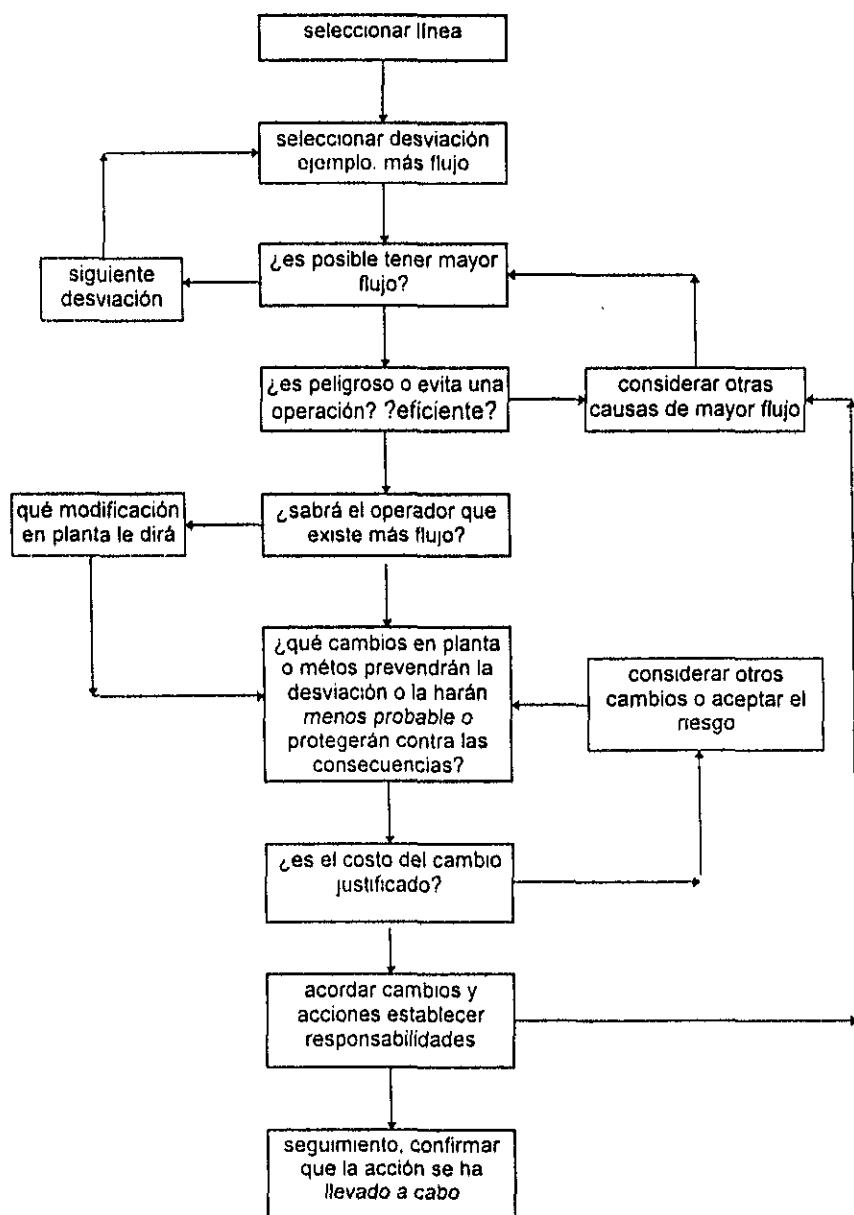


Fig. 3.20 Diagrama de bloques para la construcción del HAZOP

3.4.8 INDICE MOND

Introducción

El índice Mond es un método rápido que se usa para la valoración de la planta química o en el diseño de una nueva instalación. En este método se generan rangos numéricos para cada sección de la planta basados en la naturaleza de los materiales presentes, cantidad, condiciones de operación y tipo de proceso. Las escalas son provistas para convertir los rangos en descripciones cualitativas del peligro potencial para cada unidad. El índice Mond considera problemas de fuego y explosión; por otra parte, la toxicidad se toma en cuenta solo como un factor de complicación.

El procedimiento es seguido en cada análisis, basado en formas estándares las cuales están disponibles en la guía del manual de la referencia.

El manual provee una explicación y ejemplos para cada sub-sección en la forma y da guías de factores numéricos que se utilizan. Estos factores como la escala de conversión anteriormente mencionada, se tomaron para considerar algunas unidades de reconocido potencial y prueba de los rangos producidos por el índice en estas unidades. Es un método flexible y usa formas variadas de factores sugeridos o penalizaciones extras consideradas en un problema particular.

Cuando el factor no es aplicable, cero puede ser considerado en la forma.

El método se desarrollo del Índice Dow por miembros de la división Mond de la sección de peligros de explosión. El primer gran desarrollo fue reportado en 1979; la versión presentada es una revisión substancial que incorpora experiencia ganada de su uso.

- (1). Otros materiales pueden ser considerados. Oxidantes particulares como el cloro, como material que tiene una propiedad explosiva.
- (2). Un amplio rango de procesos es cubierto incluyendo:
 - Operaciones básicas químicas.
 - Procesado de petróleo.
 - Operaciones que involucran polvos inflamables.
 - Instalaciones de almacenaje.
 - Instalaciones costeras de petróleo e instalaciones de gas.
 - Calentamiento de hornos y operaciones.
 - Tratamiento de efluentes y desechos de gas, líquidos y desechos sólidos.
- (3). Rangos individuales son provistos para fuego, explosiones internas y explosiones aéreas potenciales, en resumen todos los índices de peligros.
- (4). Esta es una valoración de la seguridad de la planta y procedimientos de como se realizan estos.

El detalle del trabajo involucrado es llevar la valoración del índice Mond por un grupo pequeño, idealmente incluye personal familiarizado con la planta y proceso, y por un miembro con experiencia en el uso del índice. El análisis en la división Mond es realizado por miembros de la sección peligros de explosión junto con personal del diseño de la planta.

Supervisores de seguros, inspectores HSE, oficiales de brigadas contra fuego y oficiales de gobierno local involucrados con aplicaciones de planeación o con planes de incidentes mayores.

El método puede ser fácil y rápidamente aprendido en un curso de entrenamiento en un día regular dado por la sección de peligros de explosión de la división Mond. Este conjunto de metas da un significado rápido de la identificación y valoración de estas secciones de la planta teniendo un significado potencial de fuego o explosión. El uso del índice incluye valoración de plantas operacionales y la examinación inicial de nuevos diseños, donde este puede ser usado como una ayuda para diseños inherentes de seguridad y auxiliar con la distribución del equipo (layout) .

Este se usa durante la protección anticipada de una planta o proceso identificando las fallas que requieren más detalle de estudio por técnicas tales como Ingeniería de Seguridad, HAZOP, y el análisis HAZARD . Si se usa el índice en cada etapa se pueden salvar perdidas financieras por simplificación en el diseño de una planta; en todos los casos su uso conduce a un gasto racional en seguridad y maximiza los beneficios. Sin embargo puede ser realizado como un método de rangos y este no puede ser diseñado para identificar exactas diferencias entre detalles similares.

DESCRIPCION GENERAL DEL INDICE MOND

La figura 3.20 muestra la secuencia total cuando el índice es aplicado a una planta o proceso.

Inicialmente la planta se divide en un número de unidades las cuales son valoradas individualmente: el procedimiento para esta división es cubierta en la sección siguiente. Cada unidad es valorada por un procedimiento de tres etapas. La forma estándar provee espacio para registrar la localización de la planta y de las unidades particulares valoradas, los materiales contenidos en la unidad y

alguna otra información relevante, en resumen las condiciones de operación del proceso como presión y temperatura.

La primer etapa considera la unidad en una forma básica con un mínimo de controles requeridos para una operación normal. Esto da el peor caso de valoración. Esta etapa identifica el material peligroso dominante y su factor material calculado. El factor material presenta y provee una base numérica para los índices. Sin embargo, esta base puede ser modificada por algunas otras consideraciones, tales como:

- Propiedades especiales del material las cuales pueden aumentar el peligro potencial
- Los efectos del tipo de proceso
- Los efectos de las condiciones del proceso
- Las cantidades involucradas
- Fallas relevantes en la distribución de la planta (layout)
- Toxicidad del material

Cada sección es subdividida para cubrir aspectos individuales para los factores de penalización que pueden ser asignados. En algunos casos son dados de recomendaciones el rango de factores que pueden ser usados. En la práctica, solo una minoría de las sub-secciones pueden aplicar a una unidad en particular y el resto puede estar en blanco.

Cuando se asignan factores se recomienda que el manual se use como guía, y no como un libro de reglas, y los factores pueden ser variados si la experiencia sugiere que el rango recomendado es inapropiado en una instancia en particular.

Posteriormente que todos los factores han sido asignados los índices son calculados usando la formula:

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

y sus categorías registradas.

La segunda etapa en la valoración de las unidades es una revisión de los factores que contribuyen al índice inicial. Esto da una oportunidad para reconsiderar algunas de las penalizaciones asignadas anteriormente para poder ver datos más precisos acerca de los materiales en uso o cerca de las condiciones de la planta. La revisión es innecesaria si, por ejemplo, las condiciones y materiales fueran bien conocidos desde el inicio o si el rango obtenido es satisfactorio a través de datos pesimistas usados. La tercer etapa es la desviación, de las fallas de seguridad.

Esto considera que fallas, si se mantienen *correctamente*, puede ayudar a reducir la magnitud de un incidente en el arranque. Tales fallas asignan valores menores a uno. Las fórmulas permiten reducir valores de los índices calculados. Esta valoración final, más bajo de la valoración representa el rango del índice Mond de una unidad bien mantenida y operada. La diferencia del rango indica el *grado de dependencia* en fallas de seguridad extrínseca como opuesto a fallas inherentes.

Cuando una planta o proceso es evaluado en la tercer etapa se repite para cada unidad.

Este es a menudo mejorado fuera de la primer etapa para todas las unidades usando el mejor dato disponible, incluidos pesimisticamente estimados donde el valor exacto no es conocido, e incluye un factor menor que el factor de penalización en todos los casos en donde existía duda como recordatorio de un posible problema. Algunas unidades dan un rango bajo satisfactorio con su aproximación no necesaria sujeta a las dos etapas y tres etapas requeridas. Cuando el índice se aplica en la etapa de diseño no siempre es posible llevar fuera una valoración completa.

DIVISION DE LA PLANTA

Una unidad es definida como parte de una planta que puede ser fácilmente y lógicamente caracterizado como una entidad física separada. Aparte de ser físicamente separada de las unidades cercanas (o potencialmente separables) a unidades es también probable que difiera en la naturaleza de las operaciones llevadas fuera, los materiales que contienen o las condiciones de operación en la unidad.

Esto es solo para dividir una planta en unidades, las cuales se analizan individualmente siendo posible tener un panorama de las características de peligros de la planta. Si esta división no fue hecha en toda la planta puede ser identificado con el potencial del peligro mayor con este. La división en las unidades no solo da peligros particulares que pueden ser valorados y corregidos también da para las unidades el potencial mayor para ser separado de otras unidades de alto potencial o alto costo capital.

El rango de posibles unidades es extremadamente amplio incluyendo no solo las obvias como almacenaje, reacción y destilación, pero se extiende al recorrido del fluido (tubería) y tratamiento de efluentes.

Algunos servicios de la planta pueden contener materiales peligrosos y pueden necesitar ser valorados. Ejemplos incluyen plantas refrigerantes que usan amonio o etileno y sistemas de transferencia de calor usando combustibles flamables. En el caso de unidades tales como el horno de crackeo puede ser necesario tratar el flujo de proceso como una unidad y la combustión del combustible como unidad separada.

En áreas de almacenaje una unidad puede ser definida como un área de carga, incluyendo todos los tanques con un almacenaje común. Tanques separados, aunque sean adyacentes, pueden ser tratados como unidades distintas.

Cuando varios materiales son almacenados en áreas próximas puede ser tratada como una unidad simple y la valoración del peligro puede considerar las consecuencias del mezclado de los materiales. Esto puede ser importante, por ejemplo donde hay cloratos y materiales combustibles son almacenados en áreas cerradas o donde haya derrame de material tal como metales alkali, que pueden reaccionar con agua o con aire.

Sin embargo, si los materiales son incompatibles y son separados por una barrera física tal como un cortafuego ellos pueden ser tratados como unidades separadas.

En construcciones con multialmacenaje donde hay operaciones de proceso separadas son llevadas fuera de lo usual para definir unidades basadas en separaciones verticales y horizontales no previstos en la operación del proceso, tal como una columna de destilación, que pasa a través de unidades adyacentes.

Al inicio del estudio puede ser difícil decidir como dividir la planta en unidades. Donde es relativamente fácil combinar un número de unidades en una sola.

SELECCIÓN DEL MATERIAL DOMINANTE

El material clave (dominante) es un compuesto o mezcla en la unidad, debido a sus propiedades inherentes y cantidades presentes, provee el potencial mayor para una liberación de energía por combustión, explosión o reacción exotérmica. En diferentes circunstancias puede ser un reactivo, un producto, un intermedio, solvente o catalizador. La esencia de la falla es que su combustión u otras reacciones pueden proveer una liberación de energía mayor por la unidad. Esto no es común pero el material clave puede ser una mezcla.

El material clave puede estar presente en cantidad suficiente en la unidad para presentar un peligro real como líquido o sólido. Así si el acetileno fue disuelto en pequeñas proporciones en acetona entonces el material clave puede ser la acetona.

A no ser que el componente en una mezcla es inerte es usual ignorar los componentes presentes arriba de 10 % en peso.

Si es difícil seleccionar el material clave, la evaluación puede ser hecha para cada opción y usar la valoración más severa al final. Esta situación surge en un reactor donde la composición y cantidad varía con el tiempo.

CALCULO DEL FACTOR MATERIAL

El primer paso en la valoración del Índice Mond es el cálculo del factor material para el material clave presente en la unidad.

El factor material es una medida cuantitativa del potencial de energía liberada del material clave por fuego o explosión.

MATERIALES PELIGROSOS ESPECIALES: M

Esta sección toma algunas propiedades especiales del material clave las cuales pueden afectar la naturaleza de un incidente o la probabilidad de su ocurrencia. El material es considerado bajo condiciones normalmente existente en la unidad en la planta, aunque el mismo material este involucrado.

Los factores dados pueden dar peligros significantes introducidos por la presencia de catalizadores o estos no pueden afectar el factor material. Si el factor material, las propiedades de los componentes individuales pueden ser *considerados*.

PELIGROS GENERALES DE PROCESO: P

Estos peligros relacionan el tipo básico de proceso o de otras operaciones llevadas fuera de la unidad.

PROCESOS CON PELIGROS ESPECIALES: S

Esta sección asigna factores para características de operación del proceso el cual incrementa los peligros totales más allá del nivel básico .

El nivel de control del equipo y las características de protección que se presentan es importante que sean evaluadas.

La planta deberá asumir un adecuado control del sistema para una operación normal y un sofisticado control de sistemas, esto más una buena seguridad para optimizar la eficiencia.

Ejemplos de características de seguridad, no deben ser tomados los que ya están incluidos como sistemas especiales de interconexión, equipo de supresión de explosiones, venteos o sistemas continuos de gas, sistemas inertes fijos, válvulas de operación a distancia remota.

Ignorar estas características para la evaluación inicial representaría todo el potencial de peligro de la unidad, los créditos para seguridad interna se dan más adelante.

Cuando las unidades de proceso opera en condiciones regulares de ciclos, ejemplo alta y baja presión o alta y baja temperatura no se da un factor para ambos extremos solo se toma el valor mayor asignado (autorizado).

CANTIDAD DE PELIGROS: Q

Un factor es asignado para peligros adicionales asociados con el uso de grandes cantidades de combustible, flamable, explosivo o materiales que se descomponen.

La cantidad total de material en la unidad estudiada puede ser calculada (incluyendo tuberías, tanques de alimentación y columnas, así como tanques de reacción) por medio del volumen y densidad o directamente por el peso del material.

En el caso de unidades tales como el recorrido mayor de tubería, tubería atrincherada o tubería, la cantidad total del material clave entre lugares accesibles

o en válvulas remotamente operadas pueden ser calculadas para cada longitud de línea que lleve el material clave.

La cantidad de material puede ser restringido en toneladas y la cantidad factor Q, se determina usando las figuras 5-7 la cual cubre un rango arriba de 80 00 te. Un valor mínimo de $Q=1$ puede ser usado para cantidades menores de 100 kg (0.1 te).

PELIGROS DE DISTRIBUCION: L

Varias fallas del diseño y distribución de la unidad puede ser evaluado pudiendo introducir peligros adicionales. Esta sección considera estas fallas en detalle y da una guía de los factores usados.

PELIGROS AGUDOS A LA SALUD : T

Esta sección considera la influencia de peligros tóxicos agudos en la valoración de la unidad. El planteamiento usado es considerar el retraso del efecto causado por un material tóxico cuando es tomado del desarrollo o del incidente potencial. Esta sección no conduce a un índice de toxicidad independiente y problemas fuertes no son evaluados. Los problemas asociados con materiales radiactivos no son cubiertos pero el planteamiento usado puede ser adoptado para incluir estos.

Un incidente usualmente involucra la liberación de material. Si los operadores no tiene el equipo de protección en orden en el punto de liberación donde se presente el incidente de fuego o explosión mayor. Los factores sugeridos abajo son designados. La importancia de las propiedades del material que se escapa en relación de su toxicidad, de inhalación del vapor (polvo o niebla particular) o sus

productos de combustión. Estos aspectos son discutidos separadamente abajo. Si hay más que una aplicación los factores son sumados.

- 1). más extensa es para daños inmediatos a la vida o la salud, IDLH valores .

Algunas otras más restringidos son listados .

- 2). Para exposiciones térmicas cortas es dado en la lista HSE " límites de exposición ocupacional".

Se tiene que tener mucha precaución del estimado del STTL como STELS ya que ambos son protección de exposiciones que produzcan efectos crónicos en el tiempo de vida.

Los factores recomendados son dados abajo y se basan en la combinación del STTL y la presión de vapor de los materiales a la temperatura de su liberación. Gases y líquidos inflamables pueden ser tratados con una presión de vapor de 1 atm. Ocasionalmente la mayoría del material liberado puede diferir del material clave seleccionado para la evaluación de fuego y explosión. Obviamente la penalización puede basarse en el peor caso.

RADIO DE VP/STTL	FACTOR
>10 (si el aparato breathing esta especificado y asignado para alguna liberación)	50
1-10	1-49
>1	0

CALCULO DE INDICES.

Esta sección describe el calculo de cinco índices nombrados uno equivalente del índice DOW y separadamente índice para fuego, explosión interna, explosión aérea y todos los riesgos. El índice DOW no es usado para propósitos interpretativos pero sirve para el método DOW y simplificar cálculos posteriores. Los siguientes tres rangos de índices particularmente unidades con peligros pueden ser usados individualmente. Los otros índices de riesgo es una combinación de los otros índices con otros índices, este valor puede ser una ecuación para describir alguna categoría. Este índice facilita la comparación entre unidades con diferentes tipos de peligros.

EQUIVALENTE DEL INDICE DOW

El equivalente del Índice Dow es calculado usando la expresión:

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

La experiencia muestra que el uso del índice Dow original de la unidad da un valor similar de índice Dow el cual tiene diferentes tipos de peligros potenciales con dominio de riesgo de fuego de fuego en un caso y explosión en el otro. Para

distinguir entre estos casos por separado el índice de fuego y los dos índices de explosión que han sido desarrollados. Con la disponibilidad de los índices por separado no es necesario convertir el valor del índice Dow en rangos descriptivos o usar unidades comparativas. Sin embargo este es conservado como elemento básico en el índice global de los riesgos.

INDICE DE FUEGO : F

El índice de fuego se concentra en el aumento de material flamable en la unidad, el potencial de energía liberada y el área de la unidad.

La expresión es:

$$F = B \times (K / N)$$

y las categorías descriptivas pueden ser derivadas de la tabla siguiente:

F	CATEGORIA
0-2	Ligero
2-5	bajo
5-10	moderado
10-20	alto
20-50	muy alto
50-100	intenso
100-250	extremo
> 250	catastrófico

Como se definió en la ecuación anterior el índice de fuego es directamente relacionado con la carga de fuego, con carga de fuego:

$$(\text{en BTU/ft}^2) = F \times 2.05 \times 10^5$$

Esta relación asume que todos los materiales disponibles pueden ser consumidos. Para construcciones domésticas y convencionales, donde el material combustible es celulosa, se establece una relación entre carga de fuego y la duración del fuego. Donde los químicos son flamables la relación es alterado por la

dependencia de la razón de quemado en el tipo de material, forma en segundo lugar por el factor que es solo 5% a 10 % del total del material es consumido antes que el incidente se controle. La siguiente tabla relaciona las cargas de fuego para aproximarse a la duración del fuego para cuatro tipos de materiales se asume un 100% de combustión.

Estimaciones de la duración del fuego de esta tabla puede incorporar tolerancias para la fracción del material actualmente consumido, la estructura de la unidad y la probabilidad que la define el área normal de trabajo representa el área de fuego.

CARGA DE FUEGO BTU/FT ²	COMBUSTIBLE SÓLIDO	LÍQUIDOS ALTAMENTE FLAMABLES	CRUDO PESADO ACEITE	GASES LICUADOS FLAMABLES Y LNG
50000	30min-1hrs	10-50min	40min-1 1/2hrs	10-20min
100000	1-2hrs	15min-1 1/2hrs	1-2 1/2hrs	10-30min
200000	2-4hrs	25min-2 1/2hrs	1 1/2-5hrs	15-30min
400000	4-8hrs	50min-5hrs	2 1/2-10hrs	20min-1 1/2hrs
1000000	10-1día	2-12hr	8hr-1día	40min-3hrs
2000000	1-2 días	4hr-1día	12hr-2días	1 1/2-6hrs
5000000	2 1/2-5días	10hrs-5días	1-5días	4-12hrs
10000000	5-10días	1-10 días	1-10 días	7 1/2 hrs-1día

Aparte de su uso en la indicación aproximada de duración de un fuego el índice de fuego puede ser usado para hacer comparaciones entre las unidades. Esto es particularmente disponible para el rango de unidades de carácter comparable.

IIÍNDICE DE EXPLOSION

Los índices separados que han sido desarrollados para indicar el potencial de la unidad para una explosión interna o aérea (nube de vapor)

INDICE DE EXPLOSION INTERNA

Esto se expresa como sigue:

$$E = 1 + (M + P + S) / 100$$

y nos da la medida de un potencial de explosión dentro de la unidad la descripción de las diferentes categorías es como sigue:

INDICE DE EXPLOSIÓN INTERNA	CATEGORÍA
0.0 - 1.5	pequeño
1.5 - 2.5	bajo
2.5 - 4.0	moderado
4.0 - 6.0	alto
más de 6	muy alto

INDICE DE EXPLOSION AEREA (A)

Importantes características en la valoración aérea del riesgo de explosión incluye la cantidad de materia.

La cantidad de material disponible, el calor de combustión, la probabilidad de liberación el radio y altura de la liberación y las características de la mezcla de gases, todos estos factores han sido evaluados, en el Índice Mond y basándose en un alto número de liberaciones inflamables, así que se han combinado para obtener una mejor forma de evaluar este tipo de incidentes.

Se calculara de acuerdo con la expresión:

$$A = B (1 + m / 100) (QHE / 1000) (t + 273 / 300) (1 + p)$$

las categorías quedaran como sigue:

Categorías del índice de explosiones aéreas

CATEGORÍA	ÍNDICE DE EXPLOSIONES AÉREAS
pequeña	0-10
baja	10-30
moderada	30-100
alta	100-400
muy alta	400-1700
1700 o más	extrema

RANGO DE TODOS LOS RIESGOS, R

Para lograr esto es necesario comparar unidades con diferentes tipos de riesgos, el índice de riesgos generales ha sido desarrollado basándose en los índices que se describen a continuación.

$$R = D (1 + (0.2 X E X (AF)))$$

las categorías son descritas como sigue:

FACTOR GENERAL DE RIESGOS	CATEGORÍA GENERAL DE RIESGOS
0-20	poco severo
20-100	bajo
00-500	moderado
500-1100	alto (grupo1)
1100-2500	alto (grupo2)
2500-12500	muy alto
12500-65000	extremo
+65000	muy extremo

Para calcular estos valores, uno de los índices que se tomo en cuenta son las evaluaciones hechas por el índice Mond, después de otras evaluaciones se compararon los resultados con los de otras unidades de proceso ocasionalmente se omiten detalles demasiado particulares.

CRITERIO

El índice más importante es el de riesgos generales R. La experiencia nos ha demostrado que generalmente el método se aplica de manera completa, y generalmente los riesgos son superiores a el nivel alto (grupo2) tomando en cuenta que la operación de la planta sea en las mejores condiciones.

Cuando el nivel de riesgos es menor al que se menciona anteriormente no será tan necesario hacer tan severa evaluación.

Sin embargo siempre deberá de valorarse lo importante que resulta, mantener las condiciones de operación de la planta en el mejor estado posible así que en la mayoría de los casos recomendamos terminar la valoración completa, aunque esta no sea indispensable.

En resumen para examinar la categoría de riesgos generales, es necesario tomar en cuenta los otros índices.

Siempre y cuando el nivel de riesgo no sea mayor a (alto 2). El índice de fuego se relaciona directamente con la carga de fuego emitida. Para categorías más intensas se deberá de usar algún índice específico particularmente tanques de reservas. Además de que para los casos de los índices de explosión interna y aérea un nivel de moderado o bajo puede ser buscado.

Donde los niveles de altura o cerca en la valoración inicial indica que la revisión y las etapas pueden ser llevadas fuera y mostrar donde es más necesario compensar las fallas.

REVISION

Antes de proceder a la evaluación el primer paso es revisar los factores asignados. Como la valorización inicial se intenta que sea completa pero posiblemente la valoración pesimista del potencial de peligro puede contener

casos estimados y factores asignados donde no se firmo, donde la información no fue tomada.

Cuando la valoración inicial es desfavorable es necesario depurar estas estimaciones para obtener mejores resultados por ejemplo a especialistas que se encuentren en capacidad de asesorarnos para poder así realizar los ajustes necesarios, o también consultar en un campo más extenso de literatura existente.

Al mismo tiempo será necesario considerar los posibles cambios que se pudieran presentar en los materiales empleados en la construcción, reducción en inventario, alteración en tamaño de equipo y condiciones de operación, sustitución de diferente equipo de proceso.

El ámbito para cada cambio es mayor en la valoración conducida en la etapa de diseño. Para plantas existentes la etapa de revisión reconsidera los factores asignados inicialmente y poder incluir cambios en los tipos listados arriba.

Nuevos valores asignados para algunos factores individuales de peligro pueden ser introducidos en el valor reducido en la columna en la forma y hacer una nota de la razón para el cambio. Cuando todos los factores han sido revisados los índices son recalculados. Estos nuevos valores del índice reducido forma la fase de la etapa final de índices.

En la etapa de revisión es aconsejable considerar si la unidad tiene fallas especiales que puedan distorsionar el método del Índice Mond. Esto puede ser raro pero puede resultar por ejemplo de una posible puesta a tierra de un gas denso en una estructura, por la presencia de aceite en el piso o en el

revestimiento, en plantas que manejan materiales tóxicos dentro de cubículos con libre acceso para operar los controles, o por aplicación del Índice en una operación a pequeña escala. Si este es el caso un juicio puede ser hecho de algunas variaciones en los factores usados.

Este puede ser encontrado en la etapa de revisión cuando el Índice es aplicado en la etapa de diseño. Por contraste se usa más en plantas existentes o posteriores a la etapa de diseño. En una etapa de diseño fácil solo puede ser posible: que nunca un valor de algún problema de iluminación requiera atención posterior.

CLASIFICACION DE LAS FALLAS DE SEGURIDAD Y MEDIDAS PREVENTIVAS

Las fallas de seguridad y medidas preventivas pueden ser incorporadas en una unidad de la planta son divididos en dos grandes áreas:

- Reducción de peligros por disminución de un número de incidentes
- Reducción de peligros por disminución del tamaño del potencial del incidente

La primer área comprende estas fallas de seguridad y medidas preventivas las cuales conciernen primeramente con evitar los incidentes que son probable el resultado en pocos incidentes. Las fallas que pueden disminuir el número de incidentes son fallas en el diseño mecánico, instrumentación de control y seguridad, procedimientos de operación y mantenimiento, entrenamiento de personal, buena operación de la planta y el gobierno. Algunas de estas fallas

actúan directamente por el aseguramiento que en las fallas de diseño no se tomaron en cuenta o se removieron.

La segunda área consiste de las fallas de seguridad y las medidas preventivas las cuales auxilian a reducir el tamaño de algunos incidentes los cuales pueden ocurrir y se intenta minimizar las consecuencias del daño de fuego o explosión. Tal compensación es importante porque es imposible eliminar totalmente el riesgo de ocurrencia de un incidente. Ejemplos en esta área incluye protección del fuego , sistemas combatientes contra el fuego.

Algunas medidas puede producir beneficios en ambas áreas.

Donde su clasificación en este manual de acuerdo a su efecto de importancia, esta no puede ser incluida.

Los efectos combinados de estas dos áreas de medir es reducir la categoría de peligro en la unidad: Esta es la importancia en la valoración de los niveles de peligro si son aceptables y apropiados en la distribución de la planta.

TRATAMIENTO DE LAS MEDIDAS COMPENSATORIAS QUE DISMINUYEN EL NUMERO DE INCIDENTES.

Las medidas compensatorias en esta área son agrupados bajo el contenido de control de procesos y actitudes de seguridad. Para cada grupo el manual explica el tipo de fallas a las que se les puede dar un crédito durante la revisión y sugiere factores apropiados. La combinación final de los factores y sus usos es para reducir el valor del índice en el formato del índice Mond.

MEDIDAS Y TRATAMIENTOS QUE AYUDARAN A REDUCIR LA MEDIDA DE LOS INCIDENTES

Se dividen en grupos como protección contra fuego, aislamiento del material, de acuerdo a las características de cada sección y que ayudaran ademas a seleccionar el factor más adecuado. La combinación final de los factores y su uso, reducirá el indice de valores.

CALCULOS PARA EL INDICE DE COMPENSACION

El primer paso para calcular la compensación general de factores, K1 a K6, para factores individuales . En cada caso el factor general, será el producto de los factores individuales localizados en un grupo particular. No se considerará valor K si se toma como 1.

Los índices de compensación pueden ser obtenidos de los valores originales usando las siguientes expresiones:

Compensación del índice de fuego = $F \# K1 \# K3 \# K5 \# K6$

Compensación del índice de explosión interna = $E \# K2 \# K3$

Compensación del índice de explosión aérea = $A \# K1 \# K2 \# K3 \# K5$

Compensación del rango de riesgos = $R \# K1 \# K2 \# K3 \# K4$
 $\# K5 \# K6$

En cada caso, la descripción correspondiente a cada categoría esta fundada en tablas. La comparación con las categorías originales indican que se exentan los beneficios por la compensación de las medidas. Cuando se usan los factores de compensación, es importante recordar que el beneficio dependerá de las

condiciones de mantenimiento, y de los procedimientos de la dirección. No se debe de bajar del nivel original de protección, porque esto aumentaría los riesgos.

FORMATO PARA EL INDICE MOND

LOCALIZACION: _____

PLANTA: _____

UNIDAD: _____

MATERIALES: _____

INFORMACION ADICIONAL: _____ COMENTARIO NUMERO: _____

PRESION: _____ TEMPERATURA: _____

FACTOR MATERIAL: _____

MATERIAL CLAVE O MEZCLA: _____

FACTOR DETERMINADO POR: _____

FACTOR MATERIAL: _____

PELIGROS ESPECIALES DEL MATERIAL	RANGO	FACTOR INICIAL REVISADO
1. MATERIALES OXIDANTES	0.0 A 20.0	
2. GAS COMBUSTIBLE CON AGUA	0.0 A 30.0	
3. CARACTERISTICAS DE DISPERSION Y MEZCLADO	60 A 100	
4. SUJETO A CALENTAMIENTO ESPONTANEO	30 A 250	
5. POLIMERIZACION ESPONTANEA	25 A 75	
6. SENSIBILIDAD DE IGNICION	-75 A 150	
7. DESCOMPOSICION SUJETA A EXPLOSION	78 A 150	
8. GASES SUJETOS A DETONACION	0 A 150	
9. PROPIEDADES DE LA FASE CONDENSADA	200 A 1500	
10. OTROS	0 A 150	

PELIGROS GENERALES DE PROCESO (M)

1. MANEJO Y CAMBIOS FISICOS HECHOS	1 A 60
2. CARACTERISTICAS DE REACCION	26 A 60
3. REACCIONES BATCH	10 A 60

4. MULTIPLICIDAD DE REACCIONES	25	A	75
5. TRANSFERENCIA DE MATERIAL	0	A	150
6. CONTENEDORES TRANSPORTABLES	10	A	100

PELIGROS GENERALES DE PROCESO (F)

PELIGROS ESPECIALES DE PROCESO

1. BAJA PRESION (ABAJO DE 15 PSIA)	50	A	150
2. ALTA PRESION	0	A	150 p
3. BAJA TEMPERATURA: a. ACERO AL CARBON			
+100 A -250	0	A	30
b. ACERO AL CARBON ABAJO DE -250	30	A	100
c. OTROS MATERIALES	0	A	100
4. ALTA TEMPERATURA			
a. MATERIAL FLAMABLE	0	A	35
b. RESISTENCIA DEL MATERIAL	0	A	25
5. CORROSION Y EROSION	0	A	400
6. JUNTAS Y PERDIDAS DE EMBALAJE	0	A	60
7. VIBRACION Y PERDIDA DE CARGA	0	A	100
8. DIFICULTAD DE CONTROL			
PROCESO/REACCION	20	A	300
9. OPERACIÓN CERCA DEL RANGO			
DE FLAMABILIDAD	25	A	450
10. PROBABILIDAD DE EXPLOSION			
MAYOR	40	A	100
11. PELIGRO DE EXPLOSION DE POLVOS			
MEZCLAS	30	A	70
12. OXIDANTES ALTAMENTE RESISTENTES	0	A	400
13. SENSIBILIDAD DEL PROCESO DE IGNICION	0	A	100
14. PELIGROS ELECTROSTATICOS	10	A	200

PELIGROS ESPECIALES TOTALES DEL PROCESO (S)

CANTIDAD DE PELIGROS

MATERIAL TOTAL TONELADAS (K)

CANTIDAD DEL FACTOR (Q)

PELIGROS LAYOUT (DISTRIBUCIÓN)

ALTURA EN METROS (H)

AREA DE TRABAJO EN METROS CUADRADOS (N)

1. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA	0	A	200
2. EFECTO DOMINO	0	A	250
3. BAJO TIERRA	50	A	150
4. SUPERFICIE DE DRENAGE	0	A	100
5. OTROS	50	A	250

PELIGROS TOTALES LAYOUT (DISTRIBUCION L)

PELIGROS A LA SALUD

1. EFECTOS EN LA PIEL	0	A	50
2. EFECTOS DE INHALACION	0	A	50

PELIGROS TOTALES A LA SALUD (T)

COMPENSACION DE LOS VALORES DEL INDICE PARA SEGURIDAD Y MEDIDAS PREVENTIVAS

A. PELIGROS DE CONTENCION

1. RECIPIENTES A PRESION

2. TANQUES DE ALMACENAMIENTO VERTICAL SIN PRESION

3. TUBERIA DE TRANSFERENCIA

• DISEÑO A LA RESISTENCIA

• JUNTAS Y GUARNICIONES

4. CONTENEDORES ADICIONALES

5. DETECCION DE PERDIDA Y RESPUESTA

6. VENTEO DE EMERGENCIA O DESCARGA

PRODUCTO TOTAL DE FACTORES DE CONTENCION X1 =

B. CONTROL DE PROCESO

1. SISTEMAS DE ALARMA

2. SUMINISTRO DE LA ENERGIA DE EMERGENCIA

3. SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO DEL PROCESO

4. SISTEMAS DE GAS INERTE

5. ACTIVIDADES DE ESTUDIO DE PELIGROS

6. SISTEMAS DE SEGURIDAD EN EL ARRANQUE/ PARO
7. CONTROL POR COMPUTADORAS
8. PROTECCION INCORRECTA DE EXPLOSION DE UN REACTOR
9. INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN
10. SUPERVISION DE LA PLANTA

TOTAL DEL PRODUCTO DE LOS FACTORES DE CONTROL K2 =

- C. ACTITUDES DE SEGURIDAD
1. PARTICIPACION EN EL MANEJO
 2. ENTRENAMIENTO EN SEGURIDAD
 3. MANTENIMIENTO Y PROCEDIMIENTOS DE SEGURIDAD

PRODUCTO TOTAL DE LOS FACTORES DE ACTITUD DE SEGURIDAD K3 =

- D. PROTECCION CONTRA FUEGO
1. ESTRUCTURAS DE PROTECCION CONTRA FUEGO
 2. PARED CONTRA FUEGO, BARRERAS
 3. EQUIPO DE PROTECCION CONTRA FUEGO

PRODUCTO TOTAL DE LOS FACTORES DE PROTECCION CONTRA FUEGO K4 =

- E. MATERIAL DE AISLAMIENTO
1. SISTEMAS DE VALVULAS
 2. VENTILACION

PRODUCTO TOTAL DEL MATERIAL DE AISLAMIENTO K5 =

- F. COMBATE CONTRA EL FUEGO
1. ALARMAS DE FUEGO
 2. EXTINGUIDORES MANUALES
 3. SUMINISTRO DE AGUA
 4. SISTEMAS DE MONITOREO Y ESPREADO
 5. ESPUMA E INSTALACIONES INERTES
 6. BRIGADAS CONTRA INCENDIOS
 7. LUGARES DE COOPERACION EN COMBATE CONTRA INCENDIO
 8. VENTILADORES DE HUMO

PRODUCTO TOTAL DE LOS FACTORES DE COMBATE CONTAR EL FUEGO $K8 =$

ECUACIONES

EQUIVALENTE DEL INDICE DOW (PARA VALORACION INICIAL Y REVISION)

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

INDICE DE FUEGO

VALORACION INICIAL Y REVISION

$$F = (B \times K)/N$$

DESVIO COMPENSACION

$$ExK2XK3XK5XK6$$

INDICE DE EXPLOSION INTERNA

VALORACION INICIAL Y REVISION

$$E = 1 + ((M+P+S)/100)$$

DESVIO O COMPENSACION

$$ExK2XK3$$

INDICE DE EXPLOSION AEREA

VALORACION INICIAL Y REVISION

$$A = B \times (1 + (m/100)) \times (1 + p) \times ((Q \times H \times E)/1000) \times ((1 + 273)/300)$$

DESVIO O COMPENSACION

$$AxK1 \times K2 \times K3 \times K5$$

RANGO DE TODOS LOS RIESGOS

VALORACION INICIAL Y REVISION

$$R = D \times 1 + (0.2 \times (A+F)^{0.5})$$

DESVIO O COMPENSACION

$$RxK1 \times K2 \times K3 \times K4 \times K5 \times K6$$

COMPUTO DE LOS INDICES

INDICE	INICIAL		REVISION		DESVIO	
	VALOR	CATEGORIA	VALOR	CATEGORIA	VALOR	CATEGORIA
D						
F						
E						
A						
R						

INDICE MOND DE FUEGO, EXPLOSION Y TOXICIDAD

CARACTERISTICAS

- Método cuantitativo
- Cuantifica el daño probable en incidentes potenciales de fuego, explosión y toxicidad.
- Identifica por secciones, el equipo y sustancia que contribuye al origen o la escalación de un incidente
- Da a conocer el potencial de pérdida en el área de proceso

USOS

Se utiliza durante las etapas de :

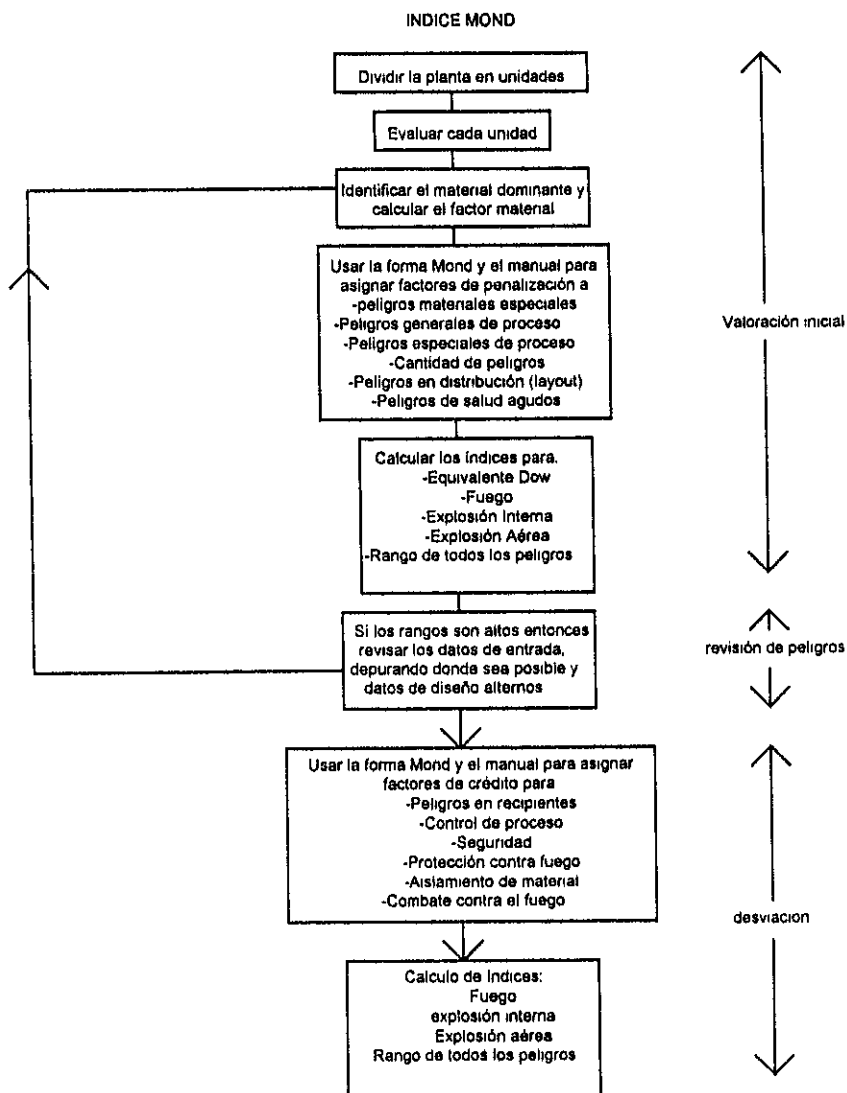
- Diseño de instalaciones
- Operaciones
- Realización de cambios mayores

Ventajas

- Amplia gama de materiales a considerar
- Amplio rango de procesos
- Rápido y fácil de usar
- Estima el valor de las pérdidas en el área de estudio (totales)
- Identifica las secciones más peligrosas, y por tanto, a buscar medidas ingenieriles de seguridad.

Desventajas

- Se debe seccionar en base a los materiales presentes, cantidad, condiciones de operación y tipo de proceso.
- La toxicidad es considerada sólo como un factor de complicación.



3.4.9 Índice Dow de fuego y explosión (F&EI)

El método para determinar los riesgos por fuego y explosión es una evaluación objetiva en términos reales de fuego, explosión y potencial de reactividad de los materiales involucrados y el equipo. La cuantificación utiliza datos históricos de pérdidas, energía potencial del material bajo estudio y el grado de las prácticas para la prevención de accidentes. Este método fue desarrollado por la Dow Chemical Company para identificar áreas con pérdidas potenciales en un proceso químico

Los objetivos del Índice de fuego y explosión (F&EI) son :

1. Cuantificar el daño potencial del incidente de fuego y explosión en términos reales.
2. Identificar el equipo que puede contribuir a la creación o aparición de un incidente de fuego y explosión.
3. Comunicar el grado de riesgo potencial de fuego y explosión al responsable de la planta o en su defecto del proceso.

Detrás de todos los números, gráficas, y figuras lo más importante es saber interpretar las pérdidas potenciales del área de proceso, ayudando a identificar formas para disminuir pérdidas económicas .

Algunos valores son basados en incidentes imaginables. Pudiendo ser estimadas las pérdidas.

El análisis dow (F&EI) intenta determinar la máxima pérdida real que pueda ocurrir en el proceso en condiciones de operación adversa, realizando el calculo con datos cuantificables reales, tales como proporciones, temperaturas de ebullición y de inflamación, así como las características químicas del material los cuales son parámetros de un probable incidente que es estudiado y evaluado.

El método F&EI puede ser usado en operaciones con materiales inflamantes, combustibles o reactivos almacenados, productos, también puede ser usado en las facilidades de perdida potencial de tratado de aguas residuales, sistemas de distribución, tuberías, rectificadores, transformadores, calderas y ciertos elementos de energía en la planta. Puede ser usado para evaluar pequeños procesos con pequeños inventarios de materiales potencialmente peligrosos. Su aplicación en plantas piloto es muy recomendada.

Cuidado y precauciones que se deben tener.

- a). Al ordenar la planeación para usar el método F&EI.
- b). Censo común y buen juicio durante el cálculo y la interpretación de los resultados.
- c). Los peligros del proceso que contribuyen a la magnitud de pérdidas deben ser cuantificadas como penalizaciones para proveer factores de peso en el método, pero no todas las fallas pueden aplicarse a una situación específica y algunas veces ser modificadas.
- d). Contactar personas que se dediquen a la prevención de pérdidas sirviendo como fuente de valor en los cálculos.

Procedimiento para el análisis de riesgos

1. El desarrollo del F&EI y del análisis de riesgos debe contar con :
 - a). Un exacto plot-plan de la planta (plano de distribución de equipo)
 - b). Un diagrama de flujo de proceso
 - c). Una guía de la clasificación de peligros F&EI
 - d). Una forma de F&EI (exhibido en A)
 - e). Resumen del análisis de las unidades
 - f). Resumen del análisis de riesgos en la planta
 - g). Datos del costo para el equipo de proceso, que se encuentra bajo estudio. El diagrama del F&EI muestra una revisión esquemática del procedimiento de calculo.
- 2). Identificar en el plot-plan las unidades de proceso consideradas pertinentes en el proceso y que pueden tener gran impacto de algún fuego o explosión.
- 3). Determinar el factor material (MF) para cada unidad del proceso. Los MF's de los componentes en la unidad de proceso son obtenidos de la tabla 3.20, de los apéndices A o B del manual para asignar las penalizaciones referido a la bibliografía³¹.
- 4.) Evaluar cada contribución de los factores de peligro listados en la forma F&EI, " peligros generales de proceso F1 " y " peligros especiales de proceso F2 " y aplicar las fallas apropiadas.
- 5). El producto de los factores generales de peligro y los factores especiales de peligro representan el "factor unitario de peligro F3" , el cual mide el grado de explosión al peligro de la unidad de proceso., el factor unitario

de peligro es usado con el factor material para determinar el "factor de daño", el cual representa el grado de exposición a la pérdida.

- 6). El producto del factor unitario y el factor material representa el "F&EI".

Este es usado para determinar " el área de exposición " circundantes a las unidades de proceso evaluadas.

Determinar el valor en dólares de todo el equipo de acuerdo al área de exposición. Este valor es usado para obtener " la base del daño máximo probable a la propiedad " (base MPPD).

- 7). La base MPPD puede ser reducida a un actual MPPD aplicando varios " factores de crédito " y/o por cambio de ciertos valores altos de equipo fuera del área de exposición.

- 8). El actual MPPD representa la pérdida probable en un incidente de magnitud razonable con un funcionamiento razonable de todos los equipos de protección. Si el funcionamiento de las medidas de protección es menor que lo razonable, entonces la magnitud de la actual MPPD puede dirigírsela base MPPD.

- 9). El daño máximo probable a la pérdida (actual MPPD) es usado para obtener los días máximo probable fuera de trabajo (MPDO). La interrupción comercial puede ser calculada de estos datos.

Selección de las unidades de proceso

El calculo de F&EI es un instrumento que ayuda a determinar las áreas con mayor potencial de pérdida en un proceso en particular. También es útil para predecir el daño físico que puede ocurrir en un incidente y las pérdidas pueden ser consecuencia de una interrupción.

Para el cálculo efectivo de F&EI, se sigue primero un procedimiento lógico para determinar que unidades en la planta pueden ser estudiados.

La selección de las unidades pertinentes ayudan en la determinación de las áreas con mayor pérdida potencial.

Una unidad de proceso se define como una parte primaria del equipo de proceso. Como por ejemplo:

- ♦ La sección de apagado / horno de una planta VCM / EDC precalentador, EDC evaporador, horno, columna de apagado .
- ♦ El área de proceso de una planta de látex s/b tiene las siguientes unidades de proceso: mezclador, alimentador del monómero, reactores, banda transportadora, recubrimiento del monómero, tanque de agua y lavador de estireno.
- ♦ Un almacén puede ser tratado como unidad de proceso, para calcular el índice de fuego y explosión sólo las unidades de proceso que tienen un impacto en el proceso de la prevención de pérdidas. Estas son conocidas como "unidades pertinentes de proceso".

Factores importantes para la selección de las unidades de proceso:

- a). Energía potencial química (factor material).
- b). Cuantificación de material peligroso en la unidad de proceso.
- c). Densidad capital (dólar por pie cubico)
- d). Presión y temperatura del proceso.

- e). Problemas históricos pasados que pueden conducir a un incidente de fuego o explosión.

La destrucción en un incidente raro (escaso), crítico, o uno de algún equipo bueno cerca de una unidad de proceso puede producir días de cierre de la planta. El daño mínimo de fuego y explosión, este puede crear grandes pérdidas en la interrupción de alimentación.

Otro criterio valido para la selección de la unidad de proceso pertinente puede ser la pérdida de tal equipo crítico.

No existen reglas que gobiernen la evaluación de las unidades de proceso. Apoyándonos para determinar que piezas del equipo tienen gran potencial de crear fuego o explosión, consultando Manuales de tecnología, ingenieros de planta, ingenieros de proceso.

Consideraciones importantes

1. El índice de fuego y explosión indica que la unidad de proceso tiene o toma un mínimo de 5000 libras o cerca de 600 galones de combustible flamable, o material reactivo. Si el material involucrado es menor (en una planta piloto), el riesgo queda fuera del rango de aplicación (risk will be overstated) . Como regla general, el calculo F&EI provee significado de los resultados para una planta piloto si se toman valores menores a 1000 libras o cerca de 120 galones de combustible o material reactivo.

2. Se deben tener consideraciones cuando el equipo esta arreglado en serie y estos no son aislados uno de otro (un ejemplo puede ser un tren de reacción con una bomba intermedia). En tales situaciones, el tipo de proceso determina cuando todo el tren o solo una parte se considera como unidad de proceso.

En un tren de poliestireno, por ejemplo, donde el principal peligro es el material que no reacciona en la primera etapa del reactor, es inapropiado aplicar algunas penalizaciones para la operación de vacío en el tanque flash o en el volatilizador (el cual es en la tercera etapa o cuarta etapa) porque es inconcebible que ambos ocurran en el mismo punto en el proceso. En este caso se pueden realizar por separado el calculo de F&EI, tratando la primer etapa y cuarta etapa del reactor como unidades de proceso separadas.

Es raramente necesario calcular el F&EI para más de tres o cuatro unidades de proceso en una misma área del proceso de la planta. El número de áreas de proceso puede variar dependiendo del tipo de proceso y configuración de la planta. Una forma F&EI por separado (mostrado en A y B) puede completarse para cada unidad de proceso. Los resultados de calculo puede ser listado en el resumen del análisis de riesgos (mostrado en C).

3. Es importante considerar el estado o fase de la operación. Por su naturaleza, tal como etapa normal de operación como arranque, estado de operación, cierre, relleno, vaciado, adición de catalizador,

etc.; Posteriormente crea condiciones únicas teniendo un impacto en el F&EI. Un buen juicio para seleccionar la etapa de operación donde se realice el cálculo de F&EI, pero ocasionalmente más de una etapa puede estudiarse para detectar el significado del riesgo.

Determinación del factor material (mf)

El factor material es una medida de la proporción intrínseca de la liberación de la energía potencial de alguna explosión o fuego producido por la combustión o la reacción química.

El MF se obtiene de Nf y Nr. El Nf y Nr son NFPA "indicaciones" de expresión de inflamabilidad y reactividad o inestabilidad respectivamente, como se indica en sustancias no enlistadas de la guía del manual³¹.

Generalmente, Nf y Nr son a temperatura ambiente. Se debe tener en cuenta que el peligro de fuego y reacción de un material aumenta marcadamente con la temperatura.

El peligro de fuego de un combustible líquido a una temperatura ambiente. La proporción de reacción también aumenta marcadamente con la temperatura.

Si la temperatura del material sobre la cual se basa el MF está arriba de 140 °F, ciertos ajustes se deben realizar, como posteriormente se verá con el nombre de "ajuste de la temperatura del factor material".

El apéndice A de la guía para el cálculo del índice de fuego y explosión provee una lista de MF's para un número de compuestos químicos y materiales, estos valores pueden ser usados en varios casos. Si en el apéndice A no se encuentra el material, Nf y Nr puede encontrarse en NFPA325M o NFPA49 ajustando la temperatura apropiadamente, y usado con la tabla 1 para determinar el MF. Si el material es un combustible en polvo, usar el número St en lugar de Nf. Si en el apéndice A no se encuentran valores para la sustancia ver la tabla 1 guía para determinar el factor material.

Factores de contribución de peligros

Después de haber determinado el factor material, el siguiente paso es calcular el " **FACTOR UNITARIO DE PELIGRO (F3)**" el cual se multiplica por el factor material para obtener el F&EI.

El valor numérico de el factor unitario de peligrosidad se determina revisando cada contribución de peligros listada en la forma F&EI (mostrada en A) tomados de peligros generales de proceso (F1) y peligros especiales de proceso (F2). Cada uno listado es contribución de peligro considerado como factor de contribución a el desarrollo o escalación de un incidente que pueda causar fuego y explosión.

Cuando se calculan las penalizaciones el factor unitario de peligro F3; busca un instante específico en tiempo durante el cual el material representado por el MF es asociado con la unidad de proceso con la mayoría de los peligros *en operación normal*. Arranque, operación general y paro son entre los estados operacionales que pueden ser considerados.

La definición estricta es intentar prevenir una doble o triple aparición de peligros que pueden ocurrir en el proceso.

Donde el MF se toma puede ser que la sustancia peligrosa presente en la unidad de proceso, pueda ser cierto que el análisis de fuego y explosión pueda basarse en el peor de los casos cuando la atención en la mayoría de los peligros de los puntos operacionales involucran el MF; y así puede ser el peor caso, uno que posiblemente ocurra.

En el sistema F&EI, solo un peligro puede ser evaluado en un tiempo. Si el MF se basa en un líquido inflamable presente en la unidad de proceso, no tomar fallas relacionadas con polvos combustibles, siempre que el polvo este presente a un tiempo diferente.

Una aproximación razonable puede ser evaluada en la unidad de proceso solo usando el MF de el líquido inflamable y en un segundo término (tiempo) usando el MF de el polvo, proponiendo solo la exposición más alta o el F&EI más alto calculado.

Una excepción importante es el híbrido descrito previamente bajo el nombre de mezclas. Si la mezcla híbrida es seleccionada como el material peligroso presente, este se penaliza como polvos y como vapor inflamable en la sección de factores de contribución de peligros.

Algunos detalles de la forma F&EI tiene valores de falla fijos.

Hay que tener en cuenta analizar solo un peligro a un tiempo. La mayoría de los peligros (ejem, Arranque, operación normal o paro). Mantiene la atención en la unidad de proceso específico y el factor material seleccionado para el análisis y mantiene el juicio (presente) que los resultados de el calculo son validos únicamente como consistencia de la valoración de las fallas.

Peligros generales de proceso (F1)

Los peligros generales de proceso son factores que juegan un papel muy importante en determinar la magnitud de pérdida de un incidente.

Recordemos que para evaluar un riesgo descubierto de alguna unidad de proceso realmente se puede aplicar los peligros generales de proceso bajo la mayoría de las condiciones normales de operación que pueden ocurrir durante la asociación de el factor material específico con la unidad de proceso antes analizada.

Peligros especiales de proceso (F2)

Los peligros especiales del proceso son factores que contribuyen primeramente a la probabilidad de incidentes de pérdida. Estos consisten de condiciones específicas del proceso que pueden causar incidentes mayores de fuego y explosión. Igual mente se debe consultar la guía para la asignación de los factores dependiendo de cada circunstancia o proceso.

Determinación del factor unitario de peligro (f_3)

El factor unitario de peligros (F_3) es el producto del factor general de peligros del proceso (F_1) y el factor especial de peligro de proceso (F_2). el producto es usado como la suma porque la "contribución de peligros" incluida en F_1 (peligros generales de proceso) y F_2 (peligros especiales de proceso) son conocidos y tienen un efecto componente uno con otro. Por ejemplo , una penalización para un drenaje malo en F_1 es compuesto por la magnitud de la cantidad en F_2 .

El factor unitario de peligros (F_3), el cual es normal en un rango de 1 a 8, es usado para determinar el F&EI (mostrado en A,) y realizar el calculo del factor de daño .

Cuando las penalizaciones son aplicadas propiamente a varios peligros en proceso, F_3 no debe exceder de 8.0. Si se tiene un valor más alto usar un máximo de 8.0.

Determinación del índice de fuego y explosión (F&EI)

El cálculo del índice de fuego y explosión es usado para estimar el daño que probablemente resultan de un incidente en plantas de proceso. La contribución de varios factores, tales como tipo de reacción, temperaturas de proceso, presiones, cantidades de combustibles etc.; indican la probabilidad y magnitud potencial de liberación de combustible o energía resultado de fallas en control de procesos, fallas de equipo, o vibraciones u otras fuentes de fatiga o rotura.

Los efectos de fuego y/o explosión combustible-aire seguido de liberación de material flamable y su ignición son categorizados de acuerdo a su causa inmediata:

- a). La onda expansiva o deflagración
- b). Exposición de fuego de la liberación original
- c). Impacto de misiles en tuberías y equipo de la explosión de tanques
- d). Otras liberaciones de combustible como evento secundario.

Los eventos secundarios dan más significado como el factor unitario de peligro y el factor material incrementa.

El índice de fuego y explosión es el producto del factor unitario de peligro (F3) y el factor material (MF).

El F&EI puede relacionarse posteriormente al radio de exposición ..

Perdida de control en los factores de crédito

En la construcción de algunas plantas de procesos químicos o edificios, deben considerarse un número de fallas en el diseño básico (apéndice C, de la guía) incluyendo varios códigos tal como el de construcción o el código ASME, NFPA; ASTM, ANSI, y requerimientos de gobierno local.

En resumen estos requerimientos en el diseño básico, ciertas fallas en pérdidas de control basadas en la experiencia tienen que proveer beneficio en

"prevenir incidentes serios y reducir la probabilidad y magnitud de un incidente particular.

Estas son tres categorías en fallas por perdida de control.

C₁ Control en el proceso

C₂ Liberación de material

C₃ Protección contra fuego

El siguiente procedimiento es usado para calcular los factores de crédito en la perdidas de control:

1. Colocar inmediatamente el factor apropiado de crédito en el lado derecho de cada crédito elegido.
2. Note que cada categoría de factor de crédito en la perdida de control es el producto de todos los factores usados en esta categoría.
3. Realizar el calculo ($C_1 \times C_2 \times C_3$) para determinar el factor de crédito.
4. Introducir el factor de crédito en la línea D del resumen del análisis de la unidad exhibido en B.

Las fallas en la perdidas de control puede ser seleccionado por la contribución que puede hacer para reducir o controlar las unidades de peligro evaluadas. La selección de las perdidas de créditos simplemente acumulan los créditos y no es un análisis de riesgo; el intento es reducir el costo dólares en riesgo o la base MPPD lo más probable, en valor real. Las fallas en la perdida de control son listadas y explicadas en la guía para asignación de penalizaciones.

Determinación del factor unitario de daños

El factor unitario de daños se determina de el factor unitario de peligros (F_3) y el factor material (MF)

El factor unitario de daño representa la totalidad de efectos de fuego, resultado de una liberación de combustible o energía reactiva de una unidad de proceso.

Para algunos cálculos en donde F_3 excede 8.00, no extrapolar . Usar 8.00 como F_3 para obtener el factor de daño.

Como el factor material (MF) y el factor unitario de peligros (F_3) incrementa el factor de daño con incrementos de 0.01 a 1.00. Introducir el factor unitario de daño en la línea B mostrado en B.

Por ejemplo, dos unidades de proceso A y B tienen factores unitarios de riesgo de 4.00. La unidad A tiene un factor material de 16 y la unidad B tiene un factor material de 24. De gráficas, es posible determinar el factor de daños, así para la unidad A es de 0.45 y el factor de daños para la unidad B es de 0.74.

Determinar el área de exposición

El F&EI calculado es convertido a un "radio" multiplicando el F&EI por 0.84 o y usando el área (radio) de exposición.

Esta área de exposición representa el área que contiene al equipo que puede ser expuesto a fuego, combustible-aire, explosión generada en la unidad de proceso evaluada. Es típicamente el volumen de un cilindro el área de la

planta alrededor de la unidad de proceso. Este volumen es considerado como de riesgo en caso de que se produzca un fuego o alguna explosión causada por algún incidente en la unidad de proceso que esta bajo estudio.

Es claramente reconocido que un accidente de fuego o explosión no se expande en círculo perfecto, produciendo los mismos daños en todas direcciones. El daño provocado puede variar de acuerdo a la colocación del equipo, la dirección del viento, el drenaje y los factores que pueden estar dispuestos para la prevención de los daños. Sin embargo el círculo puede servir como base para iniciar el cálculo.

Es de interés que el radio de exposición sea computado para el fácil estudio, este es calculado primero del F&EI considerando los probables efectos de liberaciones en varios materiales inflamables de tres pulgadas (8 cm) de profundidad así como calcular también los efectos potenciales de las mezclas de vapores- aire, considerándolos bajo severas condiciones ambientales (climatológicas).

Cuando la unidad de proceso que va a ser evaluada es una pequeña pieza del equipo. El radio de exposición puede ser considerado el centro de la pieza concerniente.

El área de exposición para grandes piezas de equipo puede extenderse exteriormente en una superficie igual al radio. El volumen de esta área más el área del volumen de la unidad de proceso dan como resultado el área de exposición (volumen actual).

Para casos específicos pueden considerarse venteos, áreas de ventilación, juntas de expansión, conexiones normales y sobrecargadas para ser el centro del círculo.

Si el área de exposición es externa, pueden ser incluidas paredes de edificios que hayan resistido al fuego, a la explosión o a ambos y que el edificio no este en riesgo, y puedan ser excluidos del área de exposición. En general, el riesgo de explosión puede existir cuando una importante cantidad de material es procesada cerca de su punto de inflamación.

Cuando el material es almacenado en bodegas o en otro edificio el riesgo se puede limitar solo a ese edificio, mediante la construcción de muros que impidan la propagación del fuego, y de una explosión.

Si este edificio no es capaz de contener el fuego, el área de exposición trascenderá estos muros.

Algunas consideraciones adicionales son:

1. Si el edificio completo contiene la unidad de proceso puede entonces ser considerado como área de exposición si por lo menos las diferentes partes del edificio están separadas por muros anti-inflamables. Si el riesgo de explotación existe, el edificio entero es considerado como área de exposición incluso si esta separado por muros antifiama.

2. Si el edificio es de varios pisos y estos se hayan divididos entre si por paredes antifiama, entonces el edificio se divide en zonas de exposición por pisos.
3. Paredes resistentes al fuego excluyen al edificio de la penalización si la fuente de fuego es externa. Sin embargo si existe un peligro de explosión una pared antifuego no puede ser considerada como una barrera efectiva.
4. Paredes resistentes son consideradas como adecuadas para colocarse en el área de exposición ya que si se colocan en la dirección correcta proveen de protección.

El valor del área de exposición, se encuentra en la línea A-3 " resumen de la unidad de análisis" exhibido en B. La base MPPD es obtenida al multiplicar A-3 y B, metiéndolas a la línea C "resumen de la unidad de análisis". mostrada en B .

El efecto real de F&EI en la línea final de evaluación, puede ser visto como sigue:

Unidad de proceso A		Unidad de proceso B	
Unidad de factor de riesgo	4.00	Unidad de factor de riesgo	4.00
Factor material	16.0	Factor material	24.0
Factor de años	0.45	Factor de años	0.74
Índice F&EI	64.0	Índice F&EI	0.96
Radio de exposición	54' (16.4 m)	Radio de exposición	81' (24.6)

Ambas unidades de proceso, tienen un factor unitario de riesgos de 4.0. En la medición final es posible que disminuya la exposición al incluir el riesgo del material que es procesado manualmente.

Las condiciones de la unidad de proceso "A" representan el 45% del daño 9156 ft^2 (851 m^2) en el área circundante.

Las condiciones de la unidad de proceso "B" representan el 74% del daño 20600 ft^2 (1914 m^2) en el área circundante.

Si en la unidad de proceso B la unidad del factor de riesgos fuera de 2.7 en lugar de 4.0 el índice F&EI podría ser el mismo que el de la unidad de proceso A. Sin embargo el factor de daños para la unidad de proceso B puede ser de 0.64 (basados en el factor material de 24) que comparado con el factor de daños de 0.45 (basados en el factor material de 16) para la unidad de proceso A.

Valor del área de exposición y base máxima probable de daños en la propiedad (base mppd)

En este punto en los cálculos, se determino un área de exposición y un factor de daño de la figura 7³¹. Este es ahora necesario para obtener el valor en dólares para el equipo de la planta que es el volumen teórico de exposición.

El valor del área de exposición es obtenido del "valor de reemplazo" de la propiedad contenido en este.

VALOR DE REEMPLAZO = COSTO ORIGINAL X 0.82 X FACTOR DE ESCALACION

El factor 0.82 es un factor de tolerancia para el costo no sujeto a pérdidas o reemplazo, como zonas de preparación, caminos, costos de ingeniería etc. Este factor puede cambiar de acuerdo a las necesidades existentes. El valor de reemplazo puede ser calculado de varias maneras.

1. Usar el valor de reemplazo del equipo en el área de exposición. El valor actual puede ser determinado como se menciona anteriormente. De acuerdo a grabaciones, si la propiedad fue construida, y puede proveer esta información.
2. Note. Se puede tener un valor asegurable o un valor actual cash (A.C.V.), el cual es computado del valor de reemplazo. La cantidad de dólares cubiertos por el seguro en el evento de pérdida basados en el valor asegurable, el riesgo estimado es basado en el valor de reemplazo.
3. Realizando un costo actual estimado de ingeniería del valor de reemplazo (excluyendo los cimientos del edificio y otros costos no

- sujetos a pérdidas) de todas las áreas de exposición. Para plantas nuevas puede consumir tiempo. Para simplificar el procedimiento, usar el costo del equipo mayor solo en la estimación e instalación del costo usando factores de la estimación de la instalación de ingeniería.
4. Derivar un costo por equipo por pie cuadrado en el valor de reemplazo de la planta.
 5. Multiplicar este costo por el área de la planta del plan de revisión del área de exposición. Este es un método menos actual, este puede ser *más practico para algunas plantas.*
 6. Cuando se realice del valor de reemplazo por el área de exposición es necesario usar el valor de los productos del inventario. Para los tanques de almacenamiento use el 80% de su capacidad total del tanque, para columnas, torres, bombas, reactores etc. Usar el material de inventario o contactos de una fuente de suministro. Deje circular durante 15 minutos el volumen disponible, *para evitar perdidas.*

El valor de esto puede sustentarse en el costo de manufactura para el trabajo en proceso, en las ventas y en el costo del desecho. Todos los productos el área de exposición deberán ser incluidos.

Nota: Cuando el área de exposición abarca otra área de exposicion, los valores no deben ser sumados

INDICE DOW DE FUEGO Y EXPLOSIÓN (F&EI)

CARACTERISTICAS

- ES UN METODO CUANTITATIVO.
- CUANTIFICA EL DAÑO PROBABLE EN INCIDENTES POTENCIALES DE FUEGO Y EXPLOSION.
- IDENTIFICA EL EQUIPO O UNIDAD DE PROCESO QUE PUEDE CONTRIBUIR AL ORIGEN O ESCALACION DE UN INCIDENTE.
- DA UN RADIO DE ALCANCE DEL POTENCIAL DE PERDIDAS EN EL AREA DE PROCESO.
- DA UN ESTIMADO DE LA PERDIDA MONETARIA (MILES DE DOLARES).

USO

SIRVE UNICAMENTE PARA EVALUAR ALGUN INCIDENTE DE FUEGO Y EXPLOSION.

DURANTE LAS ETAPAS

- CONCEPTUALIZACION Y DISEÑO (APROXIMACION).
- EN PLANTAS EXISTENTES.

VENTAJAS

- UTIL PARA ASIGNAR RANGOS O VALORES DE RIESGO EN PLANTAS EXISTENTES.
- CUANTIFICA EL DAÑO PROBABLE POR FUEGO O EXPLOSION EN LA PLANTA.
- ESTIMA EL VALOR DE PERDIDAS EN EL AREA DE ESTUDIO.
- IDENTIFICA EL EQUIPO QUE PUEDE CONTRIBUIR AL ORIGEN DE UN ACCIDENTE.

- RALATIVAMENTE FACIL DE USAR PARA GENTE CON POCA EXPERIENCIA.

DESVENTAJAS

- PROVEE UN RANGO RELATIVO DE PELIGROS.
- RECOMENDADO PARA PLANTAS DONDE MANEJAN SUSTANCIAS INFLAMABLES Y RADIOACTIVAS.
- REQUIERE CONTAR DON DTI'S ACTUALIZADOS.
- CONTAR CON INFORMACION DEL MATERIAL.
- TENER LA RELACION DE COSTOS DE EQUIPO DE PROCESO INSTALADO EN EL AREA DE ESTUDIO.
- CONOCER LAS MEDIDAS DE SEGURIDAD DE LA PLANTA.

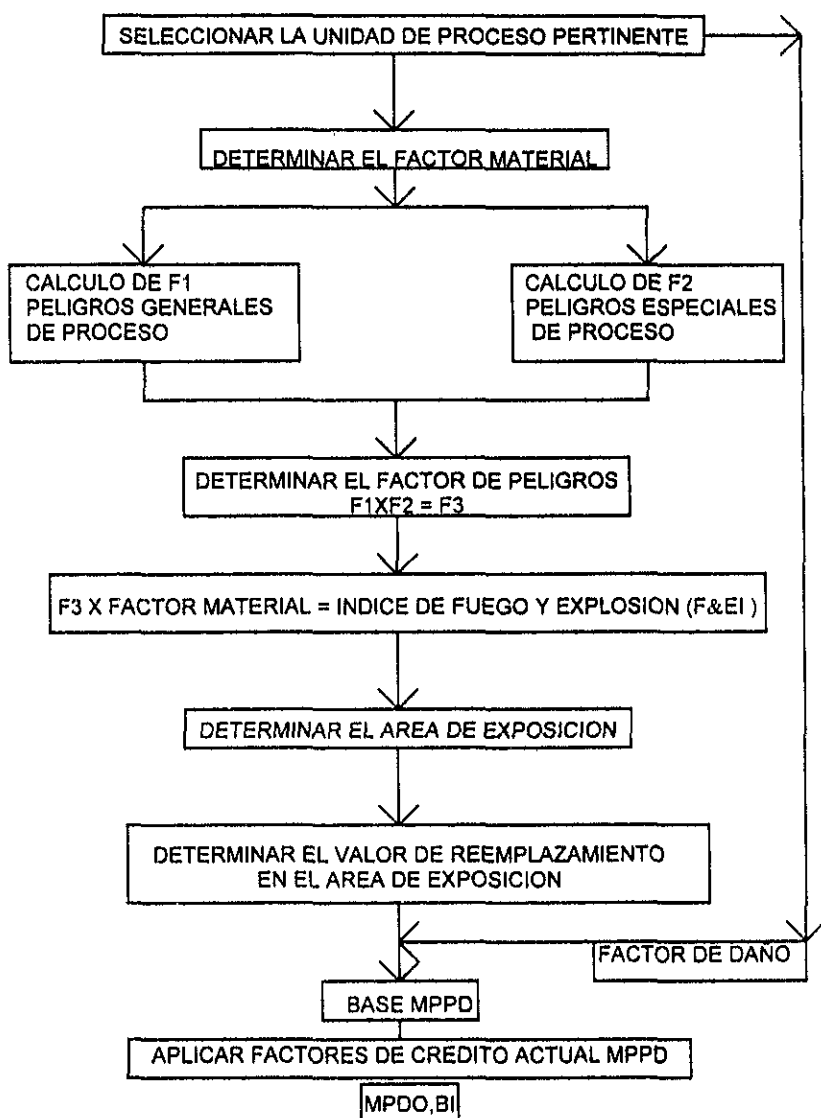


Fig.3.21 Diagrama de bloques Indice DOW

3.4.10 RANGO RELATIVO

La técnica rango relativo jerarquiza las área de proceso o las operaciones de la planta por comparación del grado de peligro de las sustancias químicas, condiciones de proceso y los parámetros de operación. Algunas veces se usa para comparar los sitios de proceso o las alternativas de diseño. Generalmente con la técnica se pretende distinguir entre varias áreas de proceso basándose en la magnitud de los peligros, la probabilidad de los accidentes y/o la severidad de los accidentes potenciales. Este método es usado para una variedad de sistemas sencillos y complejos, pudiendo ser en ambos de forma cualitativa y cuantitativa. Por ejemplo el analista puede crear un rango (jerarquización) sencillo de las áreas de proceso basándose en estimaciones cualitativas de las magnitudes esperadas para los peligros, en las probabilidades de los accidentes y/o severidad de los accidentes. O un esquema numérico más complejo, el cual asigna valores numéricos a las características del proceso, puede ser usado para calcular numéricamente los factores del rango. El método de rango relativo puede ser tan rudimentario o sofisticado como sea necesario para cubrir las necesidades del estudio.

El proceso para identificar y cuantificar los parámetros potenciales por medio de una técnica específica de rango relativo puede ser más prescriptiva que muchas otras evaluaciones de peligros. Así aplicando algunas técnicas de rango relativo se pueden requerir menos juicios subjetivos en comparación con otros análisis de peligros o un conocimiento de la ingeniería de proceso para lograr el desempeño de la evaluación.

Los métodos de rango relativo pueden direccionar los peligros por fuego, explosión y/o toxicidad y los asociados con la seguridad, salud medio ambiente

y efectos económicos para un proceso o actividad. El analista puede usar el rango relativo para comparar más de una área de proceso o varios diseños de la misma área de proceso. Las técnicas de rango relativo pueden ser usadas durante cualquier fase de la vida de la planta o proceso para:

- Identificar las áreas de proceso que contribuyen más a la prevención global del peligro y los atributos del accidente para una instalación
- Identificar las propiedades de los materiales, condiciones del proceso y/o características que contribuyan más a la prevención del peligro y las características del accidente de una sola área del proceso o una instalación completa
- Usar la prevención del peligro y las características del accidente para realizar una eliminación entre varios diseños, sitios u opciones de operación
- Comparar la prevención del peligro y los atributos del accidente de las áreas del proceso o instalaciones con otros atributos o características que son mejor comprendidos y más comúnmente aceptados.

Típicamente, las técnicas de rango relativo no usan los cálculos detallados del análisis de riesgos (por ejemplo, frecuencias estimadas de un accidente, usando las fallas del equipo y sus consecuencias; modelos de dispersión; etc.). En lugar de eso muchos métodos de rango relativo determinan una puntuación o índice basado en una comparación de los peligros característicos del proceso. El método de cálculo para estos índices, como no es una tarea simple, se basa en los conceptos tradicionales del análisis de riesgos. Por ejemplo un riesgo está fundamentalmente asociado con la existencia de un peligro, la combinación de la probabilidad y los efectos de un accidente, una

técnica de rango relativo puede además demostrar la dependencia de estos factores. Una combinación del análisis de estos factores puede reflejar por anticipado las características del riesgo para una área del proceso u operación.

El análisis de peligros puede realizarse a partir de la selección de una variedad de índices de rango de peligro. La tabla 3.22 resume algunos de los métodos más conocidos. Si se desea desarrollar un índice de rango relativo se deben de considerar los siguientes factores:

- Las propiedades del material (por ej., estado físico, presión de vapor, densidad, viscosidad, nivel de toxicidad, límites de inflamabilidad, flash point, temperatura de autoignición, reactividad)
- Condiciones del proceso (temperatura, presión, cantidades de los materiales, concentraciones relativas de los materiales, operación del medio)
- Características del proceso y sistemas de soporte (por ej., purgas, ventilación accesorios, enfriamiento, calentamiento, reacciones exotérmicas, almacenaje bajo presión)
- Diseño del sistema y construcción (por ej., control de fuego, control de explosión, layout del equipo y espaciado, resistencia contra la corrosión / erosión, resistencia a los desastres naturales, duplicidad de sistemas)
- Actividades operacionales (por ej., capacitación de los operadores, manuales de procedimientos, situaciones de posible error, margen de operación, políticas operacionales)

- Actividades PSM (por ej., periodos de prueba e inspección, políticas y actividades de mantenimiento, programas de revisión de peligros y seguridad, manejo de las políticas de cambio)
- Posibilidades de exposición (v.g., frecuencia y tiempo de operación, número de actividades del operador, número de piezas del equipo, modos no frecuentes de operación).

Los valores de las condiciones físicas o propiedades químicas pueden ser usadas en las fórmulas de los índices o los analistas pueden simplemente asignar valores numéricos a las variables de las fórmulas basándose en la comprensión de la influencia de las variables sobre el riesgo en el área de proceso. Por ejemplo, el grado de control (medidas de control) del fuego presente en un área puede ser considerado como un valor entre 0 y 10, mientras que una variable del proceso tal como la temperatura puede ser usada directamente en una relación numérica.

En la práctica, el desarrollo de las evaluaciones del índice de riesgo es complicado. Algunos de los parámetros no pueden ser específicamente medidos o asignarles un valor (ej., nivel de protección contra fuego). Relaciones desconocidas pueden existir entre algunos parámetros determinísticos (por ej., la temperatura de autoignición de una mezcla que no ha sido investigada). La importancia relativa de cada factor que contribuye al riesgo de la instalación es subjetivo, basándose en las técnicas desarrolladas por la experiencia (v.g., "¿es el equipo a prueba de incendios más importante que la capacidad para combatir un incendio?"). Además, esto es difícil cuantificar por los factores que afectan la frecuencia de los accidentes, dados los pocos datos que proporciona la experiencia y que están usualmente

disponibles; y ya que la frecuencia de sus características están inherentemente basadas en factores probabilísticos, más algunos son más fácilmente derivados determinísticamente.

Se cuenta con varias opciones para cubrir las dificultades del desarrollo de las relaciones numéricas para una técnica de rango relativo. La investigación experimental o los datos históricos pueden ser usados para desarrollar relaciones empíricas entre los parámetros. Esto puede incluir trabajo de laboratorio para identificar las relaciones de las condiciones del proceso y/o material (v.g., propiedades peligrosas de nuevos materiales). El análisis estadístico para comprender mejor los efectos de ciertos procedimientos (v.g., acciones de respuesta a emergencias) o diseños característicos (v.g., planeación de salvaguardas) como resultado de un accidente que puede ser evaluado.

Tabla 3.22 Resumen de los índices de rango relativo**Índice Dow de fuego y explosión**

Las evaluaciones de peligros por fuego y explosión asociados con unidades de proceso discretas (conjuntos de equipos que contienen un material inflamable o explosivo). Considerando una variedad de factores, incluyendo las propiedades del material, condiciones del proceso, características de operación y diseño del proceso, distancia a las áreas adjuntas, la existencia de sistemas de seguridad y protección contra fuego, etc. El resultado final es un índice para cada unidad del proceso analizado. La clasificación de las unidades de proceso puede ser usada (1) para especificar directamente los trabajos sobre seguridad que se tengan que implementar, relacionándolos con los parámetros más importantes y que han sido usados en el cálculo del F&EI o (2) como identificación de las áreas para una evaluación de peligros más detallada o un estudio de análisis de riesgo.

Índice Mond

Este método es una extensión del Dow F&EI. El índice Mond específicamente incluye factores que adicionan los peligros por toxicidad asociados con los materiales en las unidades de proceso. Una versión del método (1985) adiciona algunos peligros a la salud.

Índice de sustancias peligrosas (SHI)

Se define como "la concentración del vapor en equilibrio (EVC) de un material a 20° C dividida por la concentración de toxicidad aguda". Este índice relaciona la tendencia de un material, si es liberado, a viajar en el aire y su efecto en las personas por inhalación de los vapores tóxicos. El EVC es una presión de vapor del material (mmHg) $\times 10^6 / 760$. Diferentes organizaciones que emplean este índice usan diferentes parámetros de toxicidad: LC LO, IDLH, etc.

Índice de materiales peligrosos (MHI)

Es usado para determinar las cantidades umbrales de materiales con una peligrosidad aguda, para lo cual los programas de prevención y administración del riesgo deben de ser desarrollados. Definido como la presión de vapor de un material a 25 o C dividida por el nivel de

concentración. El establecimiento de los niveles puede ser definido en base a la toxicidad, fuego, explosión u otros tipos de efectos peligrosos que puedan ser propagados a través del aire.

Índice de exposición química (CEI)

Discute cinco tipos de factores que pueden tener influencia en los efectos de un material liberado (1) toxicidad aguda, (2) volatilidad del material que puede ser liberado, (3) distancia hasta las áreas afectables, (4) peso molecular de la sustancia, y (5) varios parámetros del proceso tales como temperatura, presión, reactividad, etc. El CEI es el producto de los valores asignados para cada uno de los factores de interés, usando escalas numéricas definidas arbitrariamente.

3.4.11 ANALISIS PRELIMINAR DE PELIGROS

En la industria de procesos químicos, este método es desarrollado durante el diseño conceptual de la planta de proceso, fases de localización o durante el desarrollo posterior para determinar cualquier peligro que pueda existir. Un análisis preliminar de peligros (PHA) no excluye la necesidad de una evaluación de peligros posterior, de hecho este es usualmente un precursor para subsecuentes estudios de evaluación de peligros. Se presentan dos principales ventajas al usar la técnica PHA al inicio de la vida de un proceso: (1) puede identificar los peligros potenciales en una etapa cuando estos pueden ser corregidos a un mínimo costo e interrupciones y (2) puede auxiliar a identificar y/o desarrollar delineamientos de operación que pueden ser usados durante la vida del proceso. Así los peligros principales pueden ser eliminados, minimizados o controlados desde el arranque del proceso. Un PHA puede además ser desarrollado en instalaciones existentes.

En un PHA, se listan los elementos básicos del sistema y los peligros de interés, los cuales fueron definidos en la etapa del diseño conceptual. Esta lista incluye:

- propiedades peligrosas de materias primas, productos intermedios, catalizadores, residuos y producto final
- el equipo con el que cuenta la planta
- interfaces entre componentes
- medio ambiente para la operación
- procedimientos de operación
- layout de la instalación
- equipo de seguridad y protección contra fuego.

Para cada situación de peligro identificada se deben de listar las causas potenciales, los efectos y las posibles medidas preventivas y/o correctivas.

Un PHA consiste de las siguientes etapas:

- 1). Preparación de la revisión
- 2). Ejecución de la revisión
- 3). Documentación de los resultados.

Preparación de la revisión. Un PHA requiere que se tenga información disponible acerca de la planta o sistema, así como también cualquier otra información relevante (por ej., a partir de cualquier planta similar o de una planta que tenga un proceso diferente pero use equipo y materiales similares).

Debido a que un PHA es específicamente realizado para descubrir los peligros al inicio de la vida de la planta, la información sobre esta puede ser limitada. Sin embargo, para que un PHA pueda ser efectivo, se debe de tener un mínimo de la descripción del diseño conceptual del proceso. Así las sustancias básicas, las reacciones y los parámetros del proceso deben de ser conocidos, al igual que el tipo de equipo (por ej., recipientes, intercambiadores de calor, etc.). Además los objetivos operacionales y los requerimientos básicos del funcionamiento para la planta pueden ayudar a definir los tipos de peligro y el medio ambiente operacional en la instalación.

Ejecución de la revisión. En la ejecución de un PHA se identifican los peligros mayores y las situaciones de accidentes que pueden tener una consecuencia indeseable. Además, el PHA puede identificar los criterios de diseño o alternativas que ayudan a eliminar o reducir dichos peligros.

Obviamente se requiere de alguna experiencia en la realización de tales juicios. Al ejecutarse el PHA pueden considerarse los siguientes factores:

- Los peligros del equipo y los materiales en la planta (por ej., combustibles, sustancias altamente reactivas, sustancias tóxicas, explosivas, sistemas a alta presión y otros sistemas de almacenaje de energía):
- Seguridad relacionada con las interfaces entre el equipo de la planta y los materiales (ej., interacciones del material iniciación y propagación de fuego/explosión y sistemas de paro y control)
- Factores ambientales que pueden tener influencia sobre el equipo de la planta y los materiales (ej., temblores, vibraciones, inundaciones, temperaturas extremas, descargas eléctricas y humedad)
- Procedimientos de operación, prueba, mantenimiento y emergencia (ej., importancia del error humano, funciones del operador que debe de cumplir, accesibilidad / layout del equipo y seguridad del personal)
- Instalaciones de soporte (ej., almacenaje equipo de prueba, entrenamiento y servicios)
- Seguridad relacionada con el equipo (ej. sistemas de mitigación, sistemas de soporte, supresión de fuego y equipo de protección personal).

Para cada área del proceso, el análisis de peligros identifica los peligros y evalúa las posibles causas y los efectos del accidente potencial que involucran estos peligros. Usualmente no se procura desarrollar una lista exhaustiva de causas; más bien se lista un número suficiente para realizar un juicio sobre el accidente. Finalmente se asigna a cada situación de accidente potencial una de las siguientes categorías de peligro, basada en el significado de las causas y los efectos del accidente:

Categoría I	Sin efecto
Categoría II	Marginal
Categoría III	Crítico
Categoría IV	Catastrófico

Documentación de los resultados. Los resultados de un PHA son convenientemente ordenados en una tabla, en la cual se presentan los peligros identificados, las causas, las consecuencias potenciales, la categoría del peligro y cualquier medida preventiva o correctiva identificada. La tabla 3.23 presenta un formato.

Tabla 3.8 Formato típico para un PHA

Área: _____ Fecha _____

Estudio No. _____ Realizadores _____

Peligro	Causa	Efectos mayores	Categoría de peligro	Medidas correctivas / preventivas sugeridas

3.5 GUIA PARA LA ELABORACION DEL ESTUDIO DE RIESGO MODALIDAD ANALISIS DE RIESGO

1. DATOS GENERALES

(La información escrita en este apartado, es necesario escribirla sin abreviaturas y legible; cuando existan varios departamentos involucrados en el plano o proyecto, anotarlos, pero con la observación de cuál es el responsable).

1.1 Nombre de la Empresa u Organismo

Registro federal de causantes

1.1 Objeto de la empresa u organismo

1.2 Cámara o asociación a la que pertenece.

1.4.1 Número de registro de la cámara o asociación.

1.4.2 Fecha

1.5 Instrumento jurídico mediante el cuál se constituyo la empresa u organismo (escritura pública, decreto de creación)

1.6 Departamento proponente.

1.6.1 Domicilio para oír y recibir notificaciones

Estado

Ciudad

Municipio

Localidad

Código Postal

Tel.

1.6.2 Nombre completo de la persona responsable

Anexar comprobantes que identifiquen la capacidad jurídica del responsable de la empresa, suficiente para suscribir el presente documento.

1.6.3 Puesto

1.6.4 Instrumento jurídico mediante el cual se concede poder suficiente al responsable para suscribir el presente documento (mandato, nombramiento, etc.). Anexar comprobante.

1.6.5 Firma del responsable bajo protesta de decir la verdad

2. DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO

(La información que se solicita en este apartado se requiere de forma concisa y breve, en caso necesario anexar hojas adicionales. Cuando la localización del predio sea fácilmente identificable, no contestar el renglón de las coordenadas del predio)

2.1 Nombre de la planta

2.1.1 Planes de crecimiento a futuro

2.2 ubicación de la planta

Estado

Municipio

Localidad

Anexar planos de localización, marcando puntos importantes de interés cerca al plan o proyecto, la escala de plano puede ser 1:20,000 o 1:25,000 en la microregión y 1:100,00 en la región.

2.2.1 Coordenadas del predio

2.2.2 Describir las colindancias del predio y los usos del suelo en un radio de 200 metros en su entorno, anotando los datos pertinentes del registro público de la propiedad correspondiente.

2.2.3 Superficie total (m²)

Requerida (m²)

2.2.4 origen legal del predio (compra, venta, concesión, expropiación, arrendamiento, etc.)

- 2.2.5 Descripción de acceso (marítimos, terrestres y aéreos)
- 2.2.6 Infraestructura necesaria (actual y proyectada)
- 2.3 actividades conexas (industriales, comerciales, servicios)
- 2.4 Lineamientos y programas de contratación de personal.
- 2.5 Programas de capacitación y adiestramiento de personal
- 2.6 especificar si cuentan con otras autorizaciones oficiales para realizar la actividad propuesta (licencia de funcionamiento, permiso de uso de suelo etc.) anexar comprobantes.

3. ASPECTOS DEL MEDIO NATURAL Y SOCIOECONOMICO:

Describe el sitio seleccionado para la realización del proyecto bajo los siguientes parámetros contestando negativa o afirmativamente y especificando los elementos relevantes en su caso.

- 3.1 ¿ Es una zona de cualidades estéticas únicas o excepcionales (por ejemplo miradores sobre paisajes costeros naturales) ?
- 3.2 ¿ esto se encuentra cercano a una zona donde hay hacinamiento?
- 3.3 ¿ Es o se encuentra cercano a un recurso acuático (lago, río etc.)?
- 3.4 ¿ es o se encuentra cerca de un lugar o zona turística?
- 3.5 ¿ Es o se encuentra cercano a una zona de recreo (parques, escuelas u hospitales)
- 3.6 ¿ Es o se encuentra cercano a zonas que se reservan o debieran reservarse para hábitat de fauna silvestre?
- 3.7 ¿ Es o se encuentra cerca a una zona de especies acuáticas?

- 3.8 ¿ es o se encuentra cercano a una zona de ecosistemas excepcionales?
- 3.9 ¿ es o se encuentra cercano a una zona de centros culturales, religiosos o históricos del país?
- 3.10 ¿ es o se encuentra cercano a una zona de parajes para fines educativos (por ejemplo zonas ricas en características geológicas o arqueológicas) ?
- 3.11 ¿ Es o se encuentra cercano a una zona de pesqueras comerciales?
- 3.12 ¿ Se están evaluando otros sitios donde sería posible establecer el proyecto? ¿ cuales son?
- 3.13 ¿ Se encuentra incluido el sitio seleccionado para el proyecto en un programa de planificación adecuado o aplicable (por ejemplo el plan de ordenamiento ecológico del área?
- 3.14 ¿ Dentro de un radio aproximado de 10 km. del área del proyecto, que actividades se desarrollan?
- () Tierras cultivables
 - () Bosques
 - () Actividades industriales (incluidas las minas)
 - () Centros urbanos
 - () núcleos residenciales
 - () Centros rurales
 - () Zona de uso restringido (por motivos culturales, históricos, arqueológicos o reservas ecológicas)
 - () cuerpos de agua.
- 3.15 ¿ Está el lugar ubicado en una zona susceptible a:
- () Terremotos (sismicidad)?

- () Corrimientos de tierra?
- () derrumbamientos o hundimientos?
- () efectos meteorológicos adversos (inversión térmica, niebla, etc.)
- () Inundaciones (historial de 10 años, promedio anual de precipitación pluvial)?
- () Pérdidas de suelo debido a la erosión?
- () Contaminación de las aguas superficiales debido a escurrimientos y erosión?
- () Riesgos radiológicos?

3.16 ¿ Ha habido informes sobre contaminación del aire, de las aguas o por residuos sólidos debido a otras actividades en la zona del proyecto?
Especificar

3.17 ¿ Existirán durante las etapas de construcción y operación del proyecto, niveles de ruido que pudieran afectar a las poblaciones cercanas a el '

3.18 ¿ Existe un historial epidémico y endémico de enfermedades cíclicas en el área del proyecto?

3.19 ¿ Existen especies animales, vegetales (terrestres o acuáticos) en peligro de extinción o únicas, dentro del área del proyecto)

3.20 ¿ Existe alguna afectación a los hábitats presentes?

Describe en términos de su composición biológica, física y su grado actual de degradación.

3.21 ¿ Es la economía del área exclusivamente de subsistencia?

3.22 ¿Cuál es el ingreso medio anual per cápita de los habitantes del área del proyecto en un radio de 10 km, en relación con el resto del país? Describa.

4.3.4.2 Contacto con los ojos

4.3.4.3 Contacto con la piel

4.3.4.4 Absorción

4.3.4.5 Toxicidad

IDLH, (ppm o mg / m³) _____TLV 8 horas, (ppm o mg / m³) _____TLV 15 min, (ppm o mg / m³) _____

4.3.4.7 Daño genético: Clasificación de sustancias de acuerdo a las características carcinogenéticas en humanos por ejemplo instructivo No.10 de la secretaria del trabajo y previsión social u otros , especificar.

Domésticos: _____

Industriales: _____

4.4.2 Sistema y tecnología de control y tratamientos (descripción general, características y capacita)

4.4.3 Disposición final : (volumen, composición y cuerpos receptores)

4.4.4 Aguas tratadas

4.4.5 Residuos sólidos

4.4.6 Factibilidad de reciclaje

4.4.7 uso del agua corriente abajo del proyecto (abastecimiento público, riego, recreo, deporte, hábitat de especies acuáticas, únicas o valiosas).
No contestar en caso de que la descarga se realice as la red de alcantarillado municipal.

4.5 CONDICIONES DE OPERACIÓN

4.5.1 Características de instrumentación y control (debiendo incluir diagrama lógico de control y planos de tuberías e instrumentación)

- 5.6 Descripción de normas de seguridad y operación para captación y traslado de materias primas, productos y subproductos utilizados que se consideran tóxicos, inflamables, explosivos etc.
- 5.7 Descripción de rutas de traslado de sustancias que se consideren tóxicas, inflamables, explosivas etc.
- 5.8 Descripción del entrenamiento para capacitación de los operarios de transportes.
- 5.9 Descripción de riesgos que tengan afectación potencial al entorno de la planta, señalando el área de afectación en un plano de localización a escala 1:5000.
- 5.10 Definición y justificación de las zonas de protección alrededor de la instalación.
- 5.11 Respuesta a la lista de comprobaciones detallada de seguridad
- 5.12 Descripción de auditorías de seguridad.
- 5.13 Drenajes y efluentes acuosos
 - 5.13.1 Planos de distribución de drenajes.
 - 5.13.2 Diagrama de instalación del sistema de segregación de drenajes
 - 5.13.3 Frecuencia de monitoreo de la calidad fisicoquímica de los efluentes y parámetros analizados en los mismos.
 - 5.13.4 Registro y medición de los gastos volumétricos de los efluentes.
 - 5.13.5 Tratamiento o disposición actual de los efluentes
 - 5.13.6 Manifiesto y condiciones particulares de descarga de efluentes.

3.6 SELECCION DE LAS TECNICAS PARA LA EVALUACION DE RIESGOS

La habilidad para tener un proceso seguro es influenciado por varios factores: como son la tecnología apropiada en el diseño y construcción anticipándose a los efectos de circunstancias externas. En el manejo de un proceso seguro con el seguimiento de un programa de evaluación de peligros (HE).

El seguimiento del programa HE requiere de un soporte que incluye gente técnicamente competente, un adecuado banco de datos y las herramientas necesarias para el HE.

Las técnicas que actualmente existen para realizar la evaluación de riesgos, son muy flexibles, cada técnica presenta sus guías generales que deben ser aplicados en los procesos químicos, adecuándose a gran variedad de situaciones.

Un estudio HE debe contar con las siguientes características.

1. La información necesaria para el estudio del mismo riesgo.
2. Los resultados deben ser de alta calidad y fáciles para la toma de decisiones.
3. El estudio debe realizarse con los recursos mínimos necesarios, obviamente se debe escoger la mejor técnica que se adecue a las necesidades de la planta.

Muchos factores pueden afectar la elección de la técnica HE. Antes de tratar con el aspecto técnico de esta decisión, es recomendable tener presente

las preguntas que pueden influenciar el suceso del estudio HE. Es apropiado y necesario que el encargado defina el documento básico para el estudio HE: el objetivo principal del estudio, el tipo de decisión de acuerdo a los resultados necesarios, los recursos iniciales y el tiempo para realizar el estudio.

Se puede alternar más de un método HE para que el estudio arroje resultados aun más satisfactorios. Por ejemplo un grupo corporativo de seguridad que a decidido usar el análisis HAZOP para ejecutar la mayor parte de el estudio HE. El grupo HE para la modificación de un proceso mayor realiza un análisis de la distribución del sistema de control (DCS) que se instalo junto con el proyecto. En este caso el líder del proyecto se basara acercándose en la experiencia del HAZOP no siendo el método más eficiente para investigar las formas que el DCS puede causar situaciones de peligro. Se puede usar la técnica FMEA para el análisis de este tipo de problema.

La selección del método correcto, no es un arte si no más bien una ciencia, ya que pueden resultar no ser tan ideales en la aplicación particular ya que una planta presentará una gran cantidad de riesgos.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA SELECCION DE LAS TECNICAS DE EVALUACION DE RIESGOS

El proceso de selección de una técnica HE puede presentar dificultades para una persona inexperta. Aunque la selección de la técnica HE para un proceso es compleja, y existen factores que influyen en la toma de decisión. La tabla 1.1 lista seis categorías de factores que se deben tomar en cuenta para seleccionar la técnica HE adecuada para un proceso específico.

1. Motivación para el estudio y tipo de resultados necesarios: Este es uno de los factores más importantes que el analista debe considerar. La técnica HE que se seleccione debe proveer la información requerida para satisfacer las razones del estudio.

Otro factor que debe tenerse en cuenta es que los resultados del estudio HE no sean manipulados por organizaciones que puedan dar panoramas distintos o números que sean convenientes.

2. El tipo de información disponible, características y análisis del problema: Asociado con el proceso o actividad son factores que conducen a condiciones limitantes inherentes del análisis elegido, estos factores representan condiciones que generalmente el analista no tiene control, si estos factores dominan el análisis elegido el o ella no pueden elegir algunas técnicas excepto los permitidos por estos factores; por ejemplo, si estos factores conducen al analista a creer que la técnica del análisis del árbol de fallas puede ser usado para una situación particular, pero que no se tienen en detalle los diagramas del proceso disponible, los cuales definen el sistema y características de fallas,

el analista puede corregir cualquiera de los dos, la deficiencia de información (por ejemplo datos) o escoger otra técnica.

Si los diagramas no están disponibles porque no han sido archivados, entonces puede ser posible (tomando en cuenta consumo de tiempo y expansión) desarrollar diagramas y archivarlos. Por otro lado, si el proceso esta sujeto a una fase de diseño conceptual, entonces puede ser imposible obtener diagramas de detalle. Otra técnica puede ser seleccionada bajo el grupo HE conduciendo a creer que la técnica del árbol de fallas puede ser aplicado con menos detalle y satisfacer los objetivos del estudio HE.

3. La última categoría involucra fuentes disponibles y analista/dirección preferente: Tomando en cuenta consideraciones importantes en cuanto a información disponible y que pueden no dominar la selección de la técnica HE. Creer que una técnica basada solamente en su bajo costo o que la técnica particular es frecuentemente usada conduciendo a ineficiencia, baja calidad, o resultados inusuales.

MOTIVACION PARA EL ESTUDIO EVALUACIÓN DE PELIGROS (HE)

Esta categoría de factores puede ser la más importante para todos los analistas de peligros.

Ejecutando un estudio HE con el entendimiento de su motivación y tomado todos los propósitos definidos para no desperdiciar recursos. Un número de preguntas pueden dar forma al propósito de un estudio dado. Por ejemplo

¿Cual es la importancia de las actividades en el estudio en primer lugar? ¿El estudio estará documentado como parte legal? ¿Es un proceso nuevo? .

Los analistas de riesgos responsables de seleccionar la técnica HE más apropiada deben proveer las fuentes humanas, técnicas y físicas con que se cuenta, así como registrar por escrito lo que se espera y se busca en este análisis.

Dependiendo de la motivación para un estudio HE, una variedad de resultados puede ir arrojando, . Dependiendo el tipo de información necesana para satisfacer el objetivo del estudio HE. Lo siguiente son cinco categorías de información que pueden ser producidos del estudio HE.

- * Lista de peligros
- * Lista de situaciones de accidentes potenciales
- * Lista de alternativas para reducir áreas de riesgo necesarias para el estudio posterior
- * Prioridad de resultados
- * Información para un estudio cuantitativo

Algunas técnicas pueden ser utilizadas solo para identificar los peligros asociados con el proceso o actividad. Todas las técnicas HE pueden proveer listas de situaciones potenciales de accidentes y posibles alternativas de reducir peligros (por ejemplo acciones); usados para dar una prioridad a la acción basada en el grupo de percepción del nivel del riesgo asociado con la situación que se presentase.

TIPO DE INFORMACION DISPONIBLE PARA REALIZAR EL ESTUDIO

Hay dos condiciones que definen que información esta disponible para el grupo HE:

- 1) La etapa de vida del proceso o actividad, cuando necesita realizarse el estudio.
- 2) La calidad y curso de la documentación disponible.

La primera condición es determinante para el estudio del HE, y el analista no puede cambiar esta. La tabla 1.2 muestra la información disponible en la evolución de la planta.

La etapa de vida de un proceso establece el límite práctico de la información de detalle disponible en el grupo HE. Por ejemplo, si un estudio HE es realizado en el diseño conceptual de un proceso, este es menos confiable debido a que durante la construcción y montaje pueden surgir variaciones de lo ya establecido en planos y diagramas. Así si un analista puede escoger entre un análisis HAZOP y un análisis ¿ Que pasa si ?, entonces este factor " fase de vida " puede dictaminar que el análisis ¿ Que pasa si ? puede ser usado, donde falta información para realizar un adecuado HAZOP. La figura 1.1 ilustra que técnicas son comunes de usar para el estudio HE en varias fases de la vida de un proceso.

Un analista no puede acelerar el desarrollo de un proceso justo solo para usar cierta técnica HE. Sin embargo, los analistas pueden usar una técnica de más detalle. Finalmente, si el analista cree que, porque el paquete de información, los objetivos de el estudio no pueden ser usados en una técnica HE apropiada, el puede recomendar el manejo de sus objetivos por

reexaminación o el estudio a ser desarrollado bajo información suficientemente disponible.

La segunda condición permite una calidad y soporte de la documentación que pueda existir.

Para un estudio HE de un proceso existente, el analista de peligros puede ver que los P&IDS no están archivados o no existen , tendrá que ir y realizar en campo estos diagramas con sus respectivos datos ya que en caso contrario si solo usa algunos datos de información del proceso será una perdida de tiempo y recursos.

CARACTERISTICAS DEL ANALISIS DEL PROBLEMA

Para realizar una técnica HE, un analista puede considerar ciertas características de la planta o proceso bajo estudio. Estas características pueden ser divididas en cinco áreas:

Complejidad y tamaño del problema.

Es importante porque algunas técnicas HE pueden obstaculizar cuando se usan para analizar problemas extremadamente complicados. La complejidad y tamaño de un problema son funciones del número de procesos o sistemas analizados, el número de piezas de equipo en cada proceso o sistema, el número de pasos en las operaciones, el número y tipos de peligros, efectos analizados (ejemplo tóxico, fuego, explosión, económico, ambiental). Es particularmente importante que el analista seleccione el nivel de resolución que sea compatible con el propósito de estudio. Por ejemplo, si se puede analizar gran cantidad con facilidad en pequeñas piezas.

Sin embargo, si el propósito de el estudio es primeramente proteger de los peligros (ejemplo desarrollo de planes de respuestas de emergencia), el

analista puede escoger un nivel de resolución que contemple un sistema en componentes individuales. Para propósito de planes de emergencia, un analista puede usar el método ¿ Que pasa si ? para identificar los tipos generales de accidente que pueden tener un impacto en la población de la planta.

Para algunas técnicas HE, que consideran un gran número de equipos en las etapas operacionales pueden incrementar el tiempo y necesidades para el estudio. Por ejemplo, usar la técnica FMEA que generalmente toma 5 veces más esfuerzo para un proceso que contiene 100 equipos que para uno que solo contiene 20 . El HAZOP ocupa un tiempo para analizar un sistema de un reactor batch que consiste de 50 etapas operacionales el cual lleva 20 veces más esfuerzo que para un proceso con 25 etapas. Así, los tipos y números de peligros y efectos que han sido evaluados es proporcional a el esfuerzo requerido para realizar un estudio HE, solo en algunos casos esto no puede ser una relación lineal.

El analista puede considerar tiempo y esfuerzo extra si se analiza una variedad de peligros en un sistema complejo. Por ejemplo, analizando todos los tipos de peligros en un proceso complejo y que al mismo tiempo presente dificultad al analista se debe concentrar en el significado de las situaciones de accidentes que involucran una clase de peligros analizados. Por otro lado un sistema complejo puede tener piezas similares o redundantes en el equipo pudiendo no ser tan extenso el estudio.

Tipo de proceso.

Los procesos individuales pueden ser compuestos de uno o más de este tipo. La mayoría de las técnicas HE puede ser usada por algún tipo de combinación de proceso. Sin embargo, ciertas técnicas son mejores que otras

para procesos asociados para procesos particulares. Por ejemplo, la FMEA sirve para procesos asociados con sistemas computacionales y electrónicos, el HAZOP no es aplicable a este tipo de sistemas.

Tipo de Operaciones.

Incluidas en el proceso también influye en la selección de la técnica HE.

Algunas operaciones son:

- Mezclado o un sistema de transportación.
- Si el proceso es permanente o transiente.
- Continuo, semi-batch o batch.

Todas las técnicas pueden ser usadas para analizar mezclado o para operaciones de transportación. Porque los accidentes potenciales en una transportación son sistemas típicamente simples, los eventos discretos (por ejemplo fallas en el vehículo debido al impacto).

La permanencia del proceso puede afectar la selección en la siguiente forma: Si todos los otros factores son iguales, el analista puede usar con más detalle, exhaustivo si aprovecha que el proceso opera continuamente durante un periodo largo de tiempo. Para más detalle y documentario, el análisis de la operación permanente puede ser usado como soporte de actividades PSM. Por ejemplo una tabla HAZOP en lista en detalle los tipos de entradas, causas, consecuencias, vigilancia y puede ser usada en un programa de entrenamiento.

Por otro lado el analista puede escoger una técnica menos extensiva si la actividad de operación es en un periodo de tiempo. Un analista puede usar la revisión de seguridad para evaluar el periodo de la actividad. Sin embargo, los analistas son precavidos para reconocer una operación temporal que pueden

presentar peligros significantes y poder justificar con más detalle la técnica HE, tal como un análisis de árbol de fallas.

Finalmente, algunos métodos tales como el análisis ¿ Que pasa si ?, ¿ Que pasa si /listas de verificación, HAZOP, ETA, y HRA son aplicables para procesos Batch, los métodos FTA, FMEA, CCA no son fáciles de aplicar porque con estos métodos es difícil evaluar el tiempo del que depende la operación batch

La naturaleza de los peligros.

Asociado con el proceso tiene una menor influencia en la selección de la técnica HE. Toxicidad, fuego, explosión, y reactividad son peligros que pueden ser analizados con una de las técnicas HE, a través de algunos índices de rango relativo cubiertas por el DOW F&EI que solo cubren peligro de fuego y explosión.

Fallas, eventos o situaciones.

Un foco de estudio son

- Fallas múltiples contra fallas simples.
- Pérdidas simples en recipientes.
- Eventos de pérdida de funciones.
- Perturbación de procesos.
- Hardware, procedimiento, software, o fallas humanas que pueden afectar la selección de la técnica.

La influencia más grande en esta categoría de factores es el estudio directo del análisis por una evaluación compleja, situaciones de múltiples fallas.

El análisis del árbol de fallas, el análisis del árbol de eventos y el análisis causa-consecuencia son primeramente usados para estas situaciones.

Métodos para fallas simples como el análisis HAZOP y FMEA no son usados para este propósito, a través de ellos pueden extenderse para evaluar accidentes simples o situaciones que involucren más de un evento.

PERCEPCION DEL RIESGO DEL PROCESO O ACTIVIDAD

Si todos los estudios fueran perfectos, entonces no importaría que técnica HE se utilice para realizar el análisis. Esta imperfección es una limitación importante.

Las organizaciones tratan de complementar esta limitación con grupos interdisciplinarios para realizar el análisis, capitalizando la experiencia combinada del grupo. Ya que varias personas piensan más que una, esta estrategia hace que el estudio se realice con gran calidad usando ciertas técnicas (ejemplo HAZOP, ¿Qué pasa si ?,) . Las organizaciones tienden a usar técnicas más sistemáticas para procesos que poseen alto riesgo (situaciones con severas consecuencias).

Cuando una organización tiene varios tipos de información su arreglo ayuda al analista a entender el riesgo inherente de un proceso o actividad de la siguiente manera:

- El aumento de experiencia con el proceso
- La naturaleza de la experiencia con el proceso
- La relevancia continua de la experiencia del proceso

Lo más importante es el factor experiencia durante el transcurso del tiempo. ¿ Cuando se tiene un proceso que ha sido operado cerca de 30 años, y operan junto a la organización y la industria? ¿o si el proceso es relativamente nuevo ?. Para procesos nuevos que involucran tecnología en

fase de diseño puede resultar más difícil adquirir la experiencia con el proceso sujeto.

El siguiente factor de experiencia trata con la bitácora de operación del proceso.

¿ Qué tan frecuentes son los accidentes consecuencias-severas? ¿ O solo se han tenido incidentes menores ?.

Algunas veces un proceso puede ser operado por muchos años y nunca experimentar accidentes mayores, siendo que el potencial siempre ha existido siendo este latente.: La organización inmediata debe desarrollar la percepción del riesgo de accidente motivando al director del análisis ha continuar con la investigación.

Cuando se han realizado cambios al proceso que invalida la experiencia en la operación como indicador de aparición de riesgo en el proceso. En este caso la organización puede justificar tener confianza en la experiencia existente siendo un buen factor para predecir la seguridad futura.

Estos factores contribuyen a un nivel de confianza concerniente en la organización.

Típicamente cuando 1) El proceso opera relativamente libre de accidente en un tiempo largo y el potencial de accidentes mayores - consecuencia es bajo y 2) Cuando se tienen pocos cambios en el proceso que pueda invalidar su experiencia base.

FUENTES DISPONIBLES Y PREFERENCIA

Una variedad de otros factores pueden influenciar la selección de la técnica de evaluación de peligros. Algunos factores afectan la selección de la técnica son.

- 1) Disponibilidad de personal calificado y conocedor.
- 2) Datos de los objetivos por los cuales se realiza el estudio.
- 3) Recursos financieros.
- 4) Preferencia del analista de peligros.
- 5) Preferencia del director del estudio HE.

Generalmente dos tipos de personal puede contratarse para el estudio HE, expertos en pérdidas y practicantes de técnicas particulares HE, y gente que conozca las actividades en el proceso analizado. Si es necesario ingenieros de diseño, operadores, personal de mantenimiento etc. Cuando no se dispone con este personal la calidad del estudio es baja y en caso contrario aumenta la oportunidad de tener un estudio más confiable.

Muchas evaluaciones de peligros requieren la interacción creativa de los participantes en el grupo. El grupo puede realizarlo en días, semanas o meses dependiendo de la complejidad del proceso. Otras técnicas como el árbol de fallas puede realizarla un solo individuo.

Sin embargo para estos detalles el analista requiere de " un periodo de crecimiento" para realizar el análisis y crear modelos reales de las causas de los accidentes potenciales. Un registro confuso es una molestia que ocasiona retroceso y permite regresar a otras técnicas.

Sin embargo, si la decisión de una técnica es baja y se tienen por demás recursos iguales, entonces el analista puede seleccionar la que produzca resultados con pocos recursos y tiempo.

Estimaciones reales para estudios HE son necesarios en una organización para tener planes adecuados y un proceso seguro.

Tabla 3.24 Selección de las técnicas

Categorías de los factores que pueden influenciar la selección de las técnicas HE
• Motivación para el estudio. • Tipo de resultados necesarios • Tipo de información necesaria para realizar el estudio • Características del análisis del problema • Riesgos percibidos asociados al proceso o actividad • Disponibilidad de recursos y preferencia por analista/ director administrador

Tabla 3 25 Información para el análisis de peligros

Información Típica disponible en el análisis de peligros		
Tipo de información	Incremento nivel de detalle	Tiempo cuando la información esta disponible del proyecto
• Experiencia específica de operación. • Procedimientos de operación. • Pruebas de equipo • P&IDS • PFD • Experiencia con procesos similares. • Inventarios de material • Química del proceso básico. • Datos químicos, físicos del material.	↑	↑

Métodos más usados en un proceso

	REVISIÓN DE SEGURIDAD	CHECKLIST	RANGO RELATIVO	PHA	¿QUE SUCEDE SI?	¿QUE SUCEDE SI / CHECKLIST ?	HAZOP	FMEA	FT	ET	CCA	HRA
R&D			▲	▲	▲							
Diseño conceptual		▲	▲	▲	▲							
Operación planta piloto		▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
Ingeniería de detalle		▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
Construcción /pero mantenue	▲	▲			▲	▲						▲
rutinas de operación	▲	▲			▲	▲	▲	▲		▲	▲	▲
Expansión o modificación	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
Investigación de incidentes					▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲



Comúnmente usado



Raramente usado

CAPITULO IV

APLICACION DEL METODO HAZOP

A LA

**PLANTA RECUPERADORA DE AZUFRE Y
TRATAMIENTO DE GAS RESIDUAL**

REFINERIA ANTONIO M. AMOR

SALAMANCA GUANAJUATO.

INTRODUCCION

Se realizó un análisis de riesgo para la Planta Recuperadora de azufre y Tratamiento de Gas Residual de nombre Antonio M. Amor en la Refinería de Salamanca Guanajuato. Considerando la metodología HAZOP, es una de las técnicas de análisis de riesgos más empleadas en la industria.

Esta técnica tiene como finalidad la identificación de procesos peligrosos y evalúa de que manera se puede reducir o eliminar el riesgo que afecte la seguridad e integridad de los empleados y/ o al público en general, los equipos de la planta y evitar la contaminación del medio ambiente. El método HAZOP es apropiado para este tipo de instalaciones y satisface los requerimientos de los códigos internacionales aplicables vigentes (API 750).

4.1 MOTIVO DEL ESTUDIO.

El motivo fundamental de este reporte es el de proporcionar la información necesaria para la prevención de accidentes, utilizando el análisis de riesgos HAZOP, que es un método que proporciona una perspectiva del camino que sigue paso a paso el proceso de la planta, de la misma manera las piezas o accesorios de los equipos susceptibles a fallas, mal funcionamiento o una operación inadecuada. La aplicación de la técnica HAZOP proporciona a los operadores de la planta ideas creativas tendientes a disminuir la probabilidad de riesgo y tener un mayor control durante los problemas en la operación del proceso de la planta.

Identifica los riesgos asociados con el proceso de los productos químicos. La premisa de la técnica HAZOP es que un problema puede existir si hay desviaciones al proceso tomando en consideración el diseño.

La determinación del nivel de seguridad de la planta recuperadora de azufre y tratamiento de gas residual, justifica la realización de un análisis de operabilidad y riesgos (HAZOP), con lo cual se tendrá un panorama completo de la tecnología usada en el proceso, la localización de las áreas de proceso, distribución de la planta, la ubicación de los sistemas de prevención y combate de emergencia, las protecciones de seguridad en equipos mayores y procedimientos de operación, mantenimiento y emergencia.

ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.

Un análisis del posible efecto de un evento como una Explosión de Vapores producto de la Expansión de Líquidos en Ebullición ("BLEVE", Boiling Liquid-Expanding Vapor Explosion) , o explosiones en espacios confinados y no confinados involucrando fluidos inflamables, así como las ondas de sobrepresión generadas y su radiación, empleando para ello algoritmos matemáticos para predecir la extensión real (consecuencias) en el sistema.

4.2 ALCANCE DEL ESTUDIO

El propósito del estudio fue realizar un *Análisis de Riesgos del Proceso* de la Planta Recuperadora de Azufre y Tratamiento de Gas Residual de la Refinería Antonio M. Amor, de Salamanca Guanajuato, dicho análisis se enfoca a cubrir los aspectos indicados a continuación:

- Determinación de causas, consecuencias, y acciones concretas para la corrección de los riesgos de proceso.
- Evaluación de riesgos, identificando y jerarquizando los riesgos de proceso, almacenamiento y transporte.
- Definición de los radios de afectación de los eventos probables de riesgo.

La ingeniería básica y la ingeniería de detalle de este proyecto fueron realizadas por la firma Ford Bacon and Davies Technologies, Inc. De Houston Texas, U.S.A. La planta tendrá una capacidad de producción de azufre de 85 toneladas por día, con una inversión estimada de 15,000,000.00 U.S. DLLS.

El proyecto consiste en la recuperación del azufre contenido en el ácido sulfhídrico de los gases amargos y ácidos provenientes de la planta hidrodesulfuradora de diesel, así como minimizar los gases contaminantes arrojados a la atmósfera como el SO_2 .

El análisis de riesgos del proceso incluye un análisis de Operabilidad y Riesgos (HAZOP), un análisis de consecuencias y recomendaciones así como

las acciones necesarias para realizar el mantenimiento y operaciones seguras de la planta.

4.3 ENFOQUE DE LA EJECUCION DEL ESTUDIO

La forma en que se llevo a cabo el estudio de análisis de riesgo del proceso, fue por medio de la revisión sistemática básica del proyecto (bases de diseño, diagramas de flujo de proceso, balances de materia y energía, diagramas de tubería e instrumentación, hojas de datos de equipo, hojas de especificaciones, manual de operación) tomando como directriz el método HAZOP.

4.3.1 CONCLUSIONES GENERALES

El análisis de HAZOP que se presenta en la sección 4.5 identifica ocho partidas de acción con recomendaciones para mejorar la seguridad del proceso. Estas recomendaciones se ubican en las siguientes categorías:

- Monitoreo constante de condiciones de operación.
- Realización de mantenimiento preventivo y correctivo.
- Conocimiento profundo de operaciones y procedimientos del proceso.
- Realización de muestreos y análisis de acuerdo al requerimiento.

Basándose en los resultados del análisis de consecuencias que se presenta en la sección 4.6 , el accidente catastrófico más crítico simulado, que puede ocurrir en el área de la planta recuperadora de azufre de gas residual,

podría causar consecuencias serias, dicho accidente podría dañar áreas aledañas a la planta en un radio de aproximadamente 70 metros en caso de una explosión y la radiación emitida podría afectar un área de 20 metros de radio.

ANÁLISIS DE HAZOP

Dentro del estudio de HAZOP se identificaron las posibles desviaciones del proceso, se determinaron las posibles consecuencias, se consideraron las precauciones existentes y se incluyeron algunas recomendaciones que son necesarias para mejorar la seguridad. Se elaboraron ocho hojas de trabajo del HAZOP dentro de tres secciones de la planta (Recuperadora de Azufre, Tratamiento de gases de cola e Incineración), las cuales se encuentran en la sección 4.5.

Las recomendaciones son las siguientes:

1. Establecer comunicación constante con la Planta Hidrodesulfuradora de Diesel para conocer sus condiciones de operación, así como anticipar cualquier posible desviación y prevenir las posibles acciones que se deberán tomar.
2. Tener los manuales de operación y procedimientos de emergencia en el cuarto de control y posible aplicación de los procedimientos en caso de requerirse. De igual manera tener plenamente identificados cada uno de los procedimientos y operaciones concretas.
3. Impartir cursos de retroalimentación al personal de operación, mantenimiento y seguridad, en los cuales se revise el contenido y alcance específico de los procedimientos existentes en la planta, con el propósito de dar una pronta y efectiva respuesta ante cualquier eventualidad de riesgo originada en alguna de las tres secciones de la unidad.
4. Establecer un monitoreo constante de las condiciones de operación de la planta de tal suerte que al menor indicio de desvío de cualquiera de las

- variables del proceso se investigue a fondo cual es la causa de la desviación y corregirla a la brevedad posible.
5. Efectuar periódicamente el mantenimiento preventivo y correctivo a cada uno de los equipos, dispositivos, instrumentación, etc; de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes, poniendo cuidado en establecer la posición de las válvulas de bloqueo, después de cualquier operación de paro de emergencia.
 6. Una vez que se detecta la falla de algún equipo, dispositivo o instrumento, poner en funcionamiento el de relevo (en caso de contar con dicha flexibilidad) e inmediatamente programar el mantenimiento correctivo del que falle.
 7. Efectuar el muestreo de las líneas indicadas de acuerdo al manual de operación y con la periodicidad establecida; en caso de detecta alguna desviación, determinar la causa y corregirla.
 8. De cada anomalía detectada, así como su solución, mantener un registro por escrito a manera de historial de fallas tanto por equipo, accesorio y área operativa.

ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS

Se consideraron los siguientes tipos posibles de accidentes en el análisis de consecuencias de las instalaciones:

- Incendio de Gas Acido de Amina en la línea de alimentación (fuga de fluido).
- Explosión de nube de Gas Acido de Amina, línea de alimentación (en espacio no confinado).

- Incendio de gas en la alimentación del incinerador (fuga de fluido a presión).
- Fuga de gas en la alimentación del incinerador, provocando nubes explosivas.
- Incendio de hidrógeno en la alimentación al calentador de carga (fuga de fluido a presión).
- Explosión de nube de hidrógeno en la alimentación al calentador de carga.

Los riesgos resultantes de los accidentes arriba mencionados son: exposición a las ondas de presión (ondas de choque) generadas por la explosión, exposición a la radiación y exposición a proyectiles.

Se utilizaron varios paquetes de software para modelar los efectos de la radiación por fuego, simulación de explosión de nubes de vapor y evaluación de sobrepresión generada. La secuencia de cálculo se muestra en la figura 4.3.1.

Los resultados de los modelos muestran claramente que las consecuencias en el caso de fuga de gas de venteo en la corriente (1) del incinerador UM-14701, podría causar daños graves tanto a la planta como a las áreas aledañas a la misma. A continuación se presenta la máxima distancia a la que podrían ocasionar lesiones originada por problemas dentro de la planta.

TABLA 4.3.1
Máxima distancia a la que se podrían esperar lesiones (metros)

ACCIDENTE	DISTANCIA (METROS)
Incendio de gas ácido de amina en la alimentación del FA-14701 o FA-14702	13.2
Explosión de nube de gas ácido de amina en la alimentación del FA-14701 o FA-14702	38.4
Incendio de gas en alimentación del incinerador UM-14701	19.8
Explosión de gas en alimentación del incinerador UM-14701	70.6
Incendio de hidrógeno en la línea de salida del calentador de carga BA-14701	2.6
Explosión de nube de hidrógeno en la línea de salida del calentador de carga BA-14704	21.8

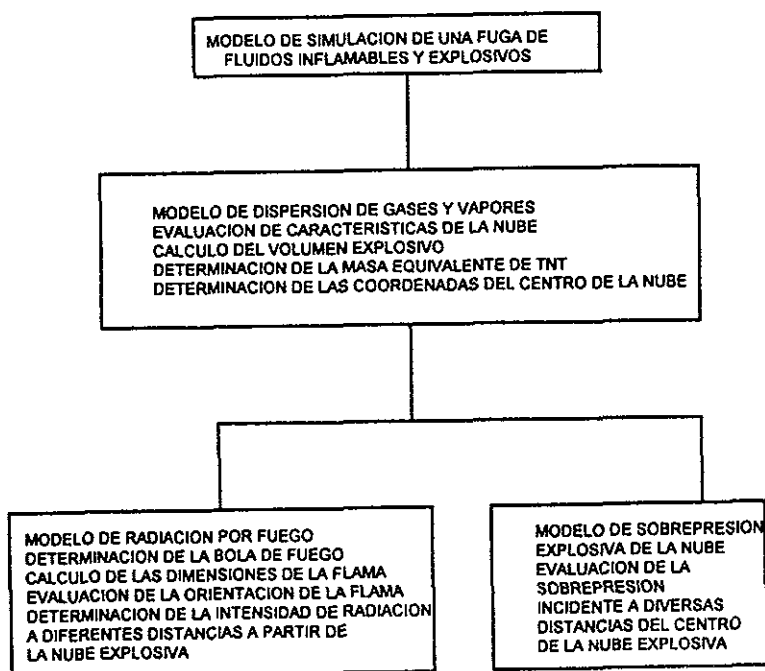


FIGURA 4.3.1 Diagrama de bloques de la secuencia de cálculo de modelos de dispersión de gases y vapores, radiación por fuego y sobrepresión explosiva de la nube.

4.4 PROCESO

El objetivo principal de esta planta es la recuperación de azufre y el tratamiento de los gases de H_2S provenientes de la planta hidrodesulfuradora de diesel (HDD), así como la incineración del azufre no recuperable.

La planta para recuperación de azufre (SRU), es cargada con ácido sulfhídrico (H_2S) contenido en dos corrientes principales de gas ácido provenientes de la planta hidrodesulfuradora de diesel.

La carga total como H_2S para la recuperación de azufre es 85 toneladas métricas aproximadamente.

Una de las corrientes se origina de un tratamiento de gas a base de solución de amina y es en gran parte ácido sulfhídrico (H_2S) con pequeñas cantidades de hidrocarburos ligeros, amoníaco (NH_3) y vapor de agua.

La segunda corriente proviene del agotador de aguas amargas, (su carga es 36 kg-mol/hr) contienen en gran parte H_2S y NH_3 con pequeñas cantidades de vapor de agua.

Una tercera corriente de reciclo de gas ácido de la unidad de tratamiento de gas de colas (TGTU) se origina corriente abajo de la unidad recuperadora de azufre. Esta corriente se combina con la carga de gas ácido de l.b. (límite de batería).

asegurar una total hidrogenación de todo el contenido de los componentes de azufre para formar H_2S , al cual después de ser tratado se recircula a la unidad de SRU.

La tercera sección es la incineración. El gas que sale del domo del absorbedor de la unidad TGTU fluye hacia el incinerador. El gas es calentado y suministrado con exceso de aire por medio de un quemador de gas atmosférico para el proceso de incineración total. La chimenea incrementa el tiro de aire para la operación del quemador.

La unidad de TGTU tiene un tren de producción diseñado al 100% de la capacidad nominal de la planta.

4.4.2 DESCRIPCION

Para tener una mejor comprensión de la descripción del proceso, se deberán seguir las corrientes de los diagramas de flujo de proceso y la lista de equipo, los cuales se encuentran como anexos de este análisis.

El proyecto de recuperación de azufre y tratamiento de gases de colas consta de tres secciones:

- Sección recuperadora de azufre (D-12-4700-101)
- Sección de tratamiento de gases de cola (D-12-4700-102/103)
- Sección de incineración (D-12-4700-104/105)

- Sección de incineración (D-12-4700-104/105)

SECCION RECUPERADORA DE AZUFRE

La carga para la unidad recuperadora de azufre (SRU) es ácido sulfhídrico (H_2S) contenido en dos corrientes de gas ácido de la planta hidrodesulfuradora de diesel (diseñada para procesar 25,000 BPD de destilado ácido).

La primera corriente se origina de un tratamiento de gas a base de solución de amina (proviene del tambor de reflujo de amina) . Estas corrientes son principalmente de ácido sulfhídrico y contiene cantidades menores de hidrocarburos ligeros, amoníaco y vapor de agua.

La segunda corriente proviene del agotador de aguas amargas, está constituida principalmente por ácido sulfhídrico y amoníaco con una cantidad menor de vapor de agua.

La tercer corriente de reciclo de gas ácido de la unidad de tratamiento de gas de cola (TGTU), localizada corriente abajo de la unidad de recuperación de azufre tipo Claus, hace posible la alta eficiencia de la recuperación de azufre. Esta corriente se combina con la alimentación de gas amargo.

Esta alimentación combinada fluye a través de un separador (FA-4701) para la remoción de agua a una presión de 0.63 kg/cm² man; se divide en dos corrientes y estas son medidas antes de entrar a los dos trenes de SRU. El

El aire de proceso es suministrado para la recuperación de azufre por medio de un soplador centrífugo a $0.70 \text{ kJ} / \text{cm}^2$ aproximadamente. La cantidad de aire es controlada por el estrangulamiento de la succión que recibe la señal de entrada del controlador de gas ácido / aire (el cual es ajustado por el analizador de gas de coque SRU).

El reactor térmico utiliza el proceso Claus modificado, el cual permite básicamente la total oxidación en el quemador de :

- Aproximadamente $1/3$ de H_2S para formar SO_2 y vapor de agua
- La total oxidación de todo el NH_3 para formar nitrógeno y vapor de agua
- La oxidación de la mayoría de los hidrocarburos para formar CO_2 y vapor de agua

Buena parte del gas ácido es desviado del quemador del reactor térmico (BA-4702) al reactor térmico (DC-4701 A/ B) y entra directamente a éste por lado de la coraza. Alrededor del 70 % del H_2S contenido en la corriente, reacciona térmicamente con el SO_2 del quemador para producir azufre y vapor de agua.

Los hidrocarburos son oxidados a CO_2 y vapor de agua. Pequeñas cantidades de H_2 , CO , CS_2 y sulfuro de carbonilo son usualmente producidos. Estas reacciones secundarias son químicamente inherentes y no pueden ser evitadas. La presencia de cualquier cantidad de amoníaco corriente abajo del reactor térmico formará sólidos con componentes de azufre y tapan el

reactor térmico formará sólidos con componentes de azufre y tapanán el equipo. El tipo de quemadores utilizados junto con los controles indicados, cuando se operan adecuadamente eliminarán este problema.

El efluente del reactor térmico es enfriado hasta 170 °C en los tubos de una caldereta (BA-4701) para producir vapor de 3.5 kg / cm² man. El azufre condensado es drenado a través de las líneas enchaquetadas con vapor a una pierna de sello (SE-4702, 3, 4, 5- A/ B) y luego a la fosa de azufre.

El vapor no condensado es recalentado arriba del punto de rocío del azufre en un cambiador de tubo y coraza (EA-4701 A / B), dicho vapor fluye a través de una cama de catalizador del reactor catalítico (DC-4702) para convertir azufre adicional. Esta reacción exotérmica calienta un poco más el gas. La magnitud del aumento de temperatura indica la magnitud de la reacción y la efectividad del catalizador, la cual se espera que tenga una vida útil de por lo menos dos años. Este gas es entonces enfriado y se condensa más azufre en el segundo paso de condensación de la caldereta. El azufre producto se separa y se drena a través de tuberías enchaquetadas con vapor hacia una pierna de sello y de ahí hacia la fosa de azufre.

El gas efluente no condensado es recalentado, otra vez, pasando a través de la segunda cama de catalizador en el reactor y luego enfriado en el tercer paso de condensación de la caldereta.

El azufre producto es drenado a través de la tubería enchaquetada con vapor, luego pasa a la pierna de sello y de ahí de nuevo a la fosa de azufre.

El gas effuente es recalentado nuevamente, pasando a través de una tercera cama de catalizador del reactor y luego enfriado en un condensador final de azufre (EA-4704- A / B). El vapor producido en el condensador final de azufre es totalmente condensado usando agua de enfriamiento (EA-4704-A / B). El producto de azufre condensado se drena a través de la línea enchaquetada con vapor a una pierna de sello y luego pasa a la fosa de azufre. El gas de cola no condensado es analizado para determinar su contenido de H_2S y SO_2 . La proporción de H_2S / SO_2 es calculada para ajustar la alimentación de aire al reactor y mantener así la proporción 2 a 1. Las corrientes del gas de cola (ambos trenes) de las unidad de SRU fluye después a la unidad de tratamiento de gas de cola (TGTU).

El producto líquido de azufre es colectado a una fosa de concreto con serpentines de vapor con capacidad de almacenamiento calculada para 6 días de producción de azufre. La fosa está equipada con dos bombas enchaquetadas con vapor para la transferencia de azufre líquido.

Cualquier vapor de H_2S liberado por el producto de azufre, es removido por un eyector de vapor (SE-4706) y es sacado al incinerador de gas de cola.

SECCION DE TRATAMIENTO DE GASES DE COLA

El gas de cola de SRU fluye al calentador de carga de la unidad de TGTU junto con suficiente H_2 para asegurar una total hidrogenación de todo el contenido de los componentes de azufre para formar H_2S .

En el calentador de carga (BA-4704) el gas combustible es quemado con aire suministrado por medio de un soplador centrífugo (GB-4702 A / B) para quemar completamente el gas combustible sin exceso de oxígeno. La relación de combustible es controlada de tal manera que el gas combinado esté suficientemente caliente para la hidrólisis y las reacciones de hidrogenación, que se llevan a cabo en el reactor catalítico (DC-4703). El gas caliente del reactor es enfriado a $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ aproximadamente en una caldereta (EA-4706 A / B) para producir vapor a $3.5\text{ kg / cm}^2\text{ man}$. Luego el gas entra a una torre de apagado (DA-4701) y se pone en contacto con agua para enfriar el gas a $41\text{ }^{\circ}\text{C}$ aproximadamente, la cual condensa el contenido de vapor de agua.

Este vapor de agua es bombeado (GA-4705 A / B) a un cambiador enfriado por agua (EA-4707) antes de volver a entrar a la torre de apagado. Una parte de la corriente de agua es filtrada (FV-4701 A / B). El exceso de agua que resulta de la condensación de vapor de agua, bajo control de nivel de la torre de apagado, fluye fuera de L.B: al agotador de aguas amargas.

El agua filtrada es reciclada.

El vapor de los domos de la torre de apagado fluye al absorbedor (DA-4702) y sube a través de los platos y se pone en contacto con el flujo descendente de la solución de metildietanolamina (MDEA). El H_2S es químicamente absorbido por el solvente. El CO_2 también es absorbido por el solvente pero con un rango de reacción mucho menor. Limitado en número de platos, el solvente absorberá mayor cantidad de H_2S , mientras que la mayor parte del CO_2 contenido en el gas del domo, fluirá al incinerador para la combustión de cualquier traza de H_2S y SO_2 .

El solvente proveniente del absorbedor (rico en H_2S) es bombeado (GA-4706), bajo control de nivel, al cambiador de calor amina rica/pobre (EA-4709), y fluye al plato de alimentación del agotador (DA-4703) y desciende a través de 24 platos. El vapor de la torre agotadora es generado en un rehervidor (EA-4710) localizado en la base del agotador y despoja el H_2S y el CO_2 del MDEA. Los cuatro platos del domo del agotador hacen contacto con el vapor que sube con el reflujo de agua rica para recuperar cualquier amina en el vapor. El vapor de los domos del agotador es enfriado en un cambiador enfriado con agua (condensador) (EA-4711) a $54^{\circ}C$, y la mayor parte del vapor de agua es condensado. El condensado es bombeado (GA-4708 A/ B) de regreso al plato del domo del agotador a control de nivel ajustado.

El gas ácido no condensado es recirculado a la entrada de la unidad de SRU lo cual produce una alta eficiencia de la recuperación de azufre (99.9 %).

El solvente caliente y pobre de los fondos del agotador fluye a través del cambiador amina rica/pobre (EA-4709) y es enfriado. Este solvente pobre es luego bombeado (GA-4707 A/ B) al enfriador de solvente pobre (EA-4708) y otra parte de la corriente es enviada a los filtros de solvente (FV-4702 y FV-4704). El solvente que fluye a través de los filtros regresa a la succión de la bomba de solvente pobre (GA-4707 A / B), el solvente pobre entra luego al absorbedor para completar el circuito.

Con el propósito de recircular el vapor del domo de la torre de apagado como alimentación para el calentador de la TGTU durante el arranque y paros, se ha instalado un separador y un soplador de arranque. Durante el arranque, la cama del catalizador del reactor de la unidad TGTU es precalentada antes de que el gas de cola de la SRU pueda ser procesado. Durante un paro que requiera entrada del equipo, la cama del catalizador es enfriada con el gas reciclado.

SECCION DE INCINERACION

EL gas del domo del absorbedor de la TGTU fluye hacia el incinerador y su chimenea.

El gas es calentado y suministrado con un exceso de aire por medio de un quemador de gas atmosférico (UM-4701) diseñado para suministrar suficiente aire (25% de exceso de O_2 aproximadamente) para el proceso de incineración total. La temperatura de salida del incinerador es de 621-649 °C aproximadamente. La elevada chimenea prevé el tiro de aire necesario para la

operación del quemador. El gas de la chimenea se analiza para el contenido de O_2 . El contenido normal de SO_2 del gas de la chimenea se espera que sea de 185 ppmv (permisible 250 ppmv), y el contenido del gas H_2S menos de 10 ppmv.

4.4.3 DETERMINACION DE CAUSAS, CONSECUENCIAS Y ACCIONES CONCRETAS DE CORRECCION.

El punto de partida de la determinación de causas, consecuencias y acciones concretas, fue la relación de riesgos establecidos y que para una pronta referencia se indican a continuación:

- Exceso de aire en una unidad caliente
- Mal funcionamiento del mecanismo de paro automático
- Exceso de hidrocarburos en las alimentaciones
- Daño en el refractario del reactor por sobrecalentamiento
- Químicos desconocidos en las alimentaciones
- Formación de carbón en el catalizador
- Taponamiento por sales de amonio
- Desactivación del catalizador
- Fuego en la fosa de azufre
- Agua en la fosa de azufre

En base a la revisión de documentos de ingeniería básica, como es el caso de los diagramas de flujo de proceso y diagramas de tuberías e instrumentación, se determinaron las causas, consecuencias y acciones

concretas de corrección de la mayoría de los riesgos indicados anteriormente, las cuales se describen en las tablas mostradas a continuación.

NODOS DE REF: 1 Y 2 TÍTULO DEL DOCUMENTO		DOCUMENTO DE REFERENCIA DTI'S NO. 12-14700-201/202/203/204		REVISIÓN: 0
RIESGO	CAUSA	CONSECUENCIA	PRECAUCIONES	ACCIÓN
Exceso de aire en una unidad caliente (BA-4702, DC-4701, BA-4701, EA-4701, EA-4702, y EA-4703)	1. Activación de la señal de paro de la unidad del dispositivo de falla de llama del reactor térmico DC-4701 (Cierre automático de válvula de alimentación de gas ácido y falla de solenoides en circuito de soplador de aire (GB-4701 A/B)	1. Encendido de azufre por presencia de oxígeno en forma espontánea a baja temperatura (204°C) 2. Posible daño de materiales de equipos tales como intercambiadores de recalentamiento (EA-4701, EA-4702 y EA-4703), debido al incremento súbito de la temperatura por el fuego de azufre.	1. Nunca alimentar aire en exceso a la unidad recuperadora de azufre mientras la unidad se encuentre caliente (por encima de las temperaturas habituales de operación)	1. Corroboración por parte del personal operativo que el sistema de paro del ventilador (GB-4701 A/B) funciona adecuadamente. 2. EL operador debe tener a la mano el manual de operación con los procedimientos bien identificados. 3. Seguir el procedimiento descrito cuando se tenga exceso de aire en una unidad caliente
Exceso de hidrocarburos en la alimentación	2. Contaminación por hidrocarburos de gas ácido (SWS) o gas ácido amoniacal.	3 Exceso de hidrocarburos no oxidados en la unidad y por lo tanto acarreos de los mismos al incinerador en donde por la presencia de exceso de aire se da una oxidación de ellos, alcanzando temperaturas elevadas en el incinerador, provocando daños a refractarios y demás materiales del equipo	2. Dentro de los programas operativos se encuentra el muestreo de la composición de la corriente de gas ácido alimentado a la planta, ya sea de la de gas ácido de (SWS) o gas ácido amoniacal.	4. Establecer en el procedimiento para bloqueo y paro de la planta en caso de contaminación de la alimentación

NODOS DE REFERENCIA 1, 3, 4, 5, Y 6 TÍTULO DEL DOCUMENTO		DOCUMENTO DE REFERENCIA DTIS NO. D-12-4700-201, 204, 205, 207		REVISIÓN:0
RIESGO	CAUSA	CONSECUENCIA	PRECAUCIONES	ACCIÓN
Alta temperatura en el reactor térmico, nodo 1	1. Suministro de nitrógeno para moderación de la temperatura del reactor térmico en el arranque y mala atención por parte del operador al no percatarse de la indicación de alta temperatura en el equipo.	1. Daño del material refractario en el reactor térmico DC-4701, debido a un sobrecalentamiento.	1. Existe alarma por alta temperatura en el reactor térmico DC-4701. 2. Existe alarma por muy alta temperatura en el reactor térmico DC-4701	1. En las eventualidades de arranque o paro de la unidad, atender prioritariamente las indicaciones de temperaturas del reactor térmico. 2. El operador deberá inspeccionar el refractario del reactor térmico para comprobar la indicación de temperatura (esto se logra observando la coloración del refractario). 3. Asegurarse para el arranque, que el suministro de nitrógeno no se agote
Substancias químicas desconocidas en la alimentación (nodo 3)	1. Contaminación del gas ácido alimentado a la planta de azufre ya sea durante operación normal o arranque.	1. Contaminación con gases extraños o de desfogue a la alimentación de gas ácido a la planta de azufre, proveniente del sistema de regeneración de aminas. 2. Producción de azufre oscuro (gris o negro) y combustión inadecuado en reactor térmico. 3. Degradación de hidrocarburos o polimerización en zona de reacción 4. Posible formación de carbón o coque causando problemas en la alimentación a la planta	1. Cerciorarse de nunca alimentar químicos desconocidos a la planta de azufre. 2. Evitar al máximo posible el depósito de azufre oscuro o fuera de color a las cámaras del catalizador 3. Monitoreo programado de la composición de la corriente de gas ácido proveniente del sistema de regeneración de aminas	1. Llevar a cabo inmediatamente el paro de la planta, bloqueando las válvulas apropiadas, para evitar tener contaminación del catalizador por formación de coque. 2. Tener bien asimilado y disponible el procedimiento de paro de la unidad para limpieza del catalizador.

NODOS DE REFERENCIA: 1, 3, 4, 5 Y 6 TÍTULO DEL DOCUMENTO:		DOCUMENTO DE REFERENCIA OTIS NO.D-12-4700-201, 204, 205, 207		REVISIÓN: 0
RIESGO	CAUSA	CONSECUENCIA	PRECAUCIONES	ACCIÓN
Formación y acumulación de carbón en la unidad (NODO 4)	1. Utilización de gas combustible de refinaria como medio de calentamiento y oxidación del mismo (una vez formado el azufre) en relación no estequiométrica con respecto al aire	1. Posible formación de carbono en los tubos del quemador 2. Posible bloqueo de los demisters del condensador. 3. Posible coquización de las camas del reactor catalítico, 4. Posible bloqueo del flujo a través del catalizador, debido a la excesiva acumulación de carbón en el mismo.	1. Realización de un número significativo de análisis de los productos de combustión durante las fases de calentamiento de la unidad. 2. Operación de la planta con la cantidad estequiométrica de aire para oxidación del gas combustible de calentamiento una vez formado el azufre	1. Paro de la unidad para la limpieza de tubos de quemador. 2. Paro de la unidad para limpieza y destaponamiento de demisters del condensador. 3. Reemplazo de catalizador de la cama o de las camas del reactor catalítico. 4. Tener bien asimilado y disponible el procedimiento de paro de la unidad para limpieza del catalizador

NODOS DE REFERENCIA 1, 3, 4, 5 Y 6		DOCUMENTO DE REFERENCIA DTIS NO:D12-14700-201, 204, 205, 207		REVISIÓN: 0
TÍTULO DEL DOCUMENTO		CONSECUENCIA	PRECAUCIONES	ACCIÓN
Taponamiento por sales de amonio (nodo 8)	1. Oxidación inadecuada en el reactor térmico del amoníaco (NH_3) contenido en la alimentación de gas ácido, debido a la atmósfera reductora de dicho equipo.	1 Formación de sales de sulfito y sulfato de amonio.	1. Mantener la temperatura de entrada al reactor térmico DC-4701 en un valor mayor a 82°C .	1. Verificar en forma programada las condiciones operacionales del sistema.
		2. Precipitación de las sales en el condensador de azufre (FA-4704) y taponamiento de tubos y líneas de drenaje de azufre	2. Existe indicación de temperatura para monitoreo en la corriente de gases de entrada a los equipos BA-4702 y DC-4701.	2. Eliminación mediante "lavado con agua" las sales amoniacales, requiriéndose para ello el paro de la planta.
		3 Taponamiento de líneas principales de proceso (sobre todo en tramos con válvulas)	3. Se dispone con alarmas por muy alta presión para informar entre otras cosas de la posibilidad de favorecer la reacción $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{S}$	3. Los operadores deberán tener disponible y manejar adecuadamente el procedimiento de paro de la unidad, requiriendo para realizar los trabajos de "lavado con agua" de la misma.
		4 Formación de mezclas peligrosas de $\text{H}_2\text{S-NH}_3$ corriente arriba del quemador (BA-4702) que forman espontáneamente sales insolubles de polisulfuro de amonio que tienden a taponar los tanques de separación (FA-4701/4702), así como los tubos de cambiadores de calor (EA-4701/4702 y EA-4703) y tubería asociada, medidores, conexiones de muestra y líneas principales.		

NODOS DE REFERENCIA: 1, 3, 4, 5, 6. TÍTULO DEL DOCUMENTO:		DOCUMENTO DE REFERENCIA DTIS NO. D-12-4700-201, 204, 205, 207		REVISIÓN: 0
RIESGO	CAUSA	CONSECUENCIA	PRECAUCIONES	ACCIÓN
1. Baja temperatura en corrientes de azufre líquido. 2. Bajo flujo a través de las líneas conductoras de azufre líquido (nodo 5)	1. No apertura de las líneas de vapor hacia las camisas de vapor instaladas sobre las tuberías de azufre líquido.	1. Solidificación de azufre en las líneas que van de la salida de BA-4701 hacia la fosa de azufre. 2. Taponamiento de las líneas de azufre debido a su solidificación.	1. Verificación de flujo de vapor a través de las camisas de vapor instaladas sobre las líneas de azufre. 2. Verificación del buen estado del encaquetado de la línea de azufre. 3. Verificación del buen aislamiento de las líneas de azufre. 4. Verificación de la pendiente (flujo libre) hacia la fosa de azufre.	1. Intentar derretir el azufre solidificado y "empujarlo" fuera del sistema haciendo circular azufre líquido a una temperatura elevada. 2. En caso de no lograr la remoción de azufre sólido mediante el procedimiento anterior, realizar el paro de la planta. 3. Disponer y manejar adecuadamente los procedimientos de remoción de azufre antes mencionados.
Contaminación del catalizador (nodo 6)	1. Excesiva alimentación de vapor a las camas del reactor catalítico	1. Debilitación del catalizador. 2. Posible desactivación del catalizador.	1. Se cuenta con válvulas y conexiones para toma de muestra. 2. Muestrear las corrientes de alimentación a las distintas camas del reactor catalítico corroborando que no se presenten excesivas cantidades de vapor. 3. Solo en situaciones de emergencia se justifica usar vapor de manera directa hacia el catalizador por períodos muy cortos.	1. Reactivar el catalizador elevando la temperatura de entrada al reactor hasta la temperatura máxima permisible por un período de 24 hrs hasta 48, para remover la posible acumulación de agua del catalizador. 2. En caso de no ser posible lo anterior por el hecho de que el catalizador fue dañado, realizar el procedimiento de paro de la unidad para reemplazar el catalizador desactivado.

NODOS DE REFERENCIA: 1, 3, 4, 5, 6 TÍTULO DEL DOCUMENTO:		DOCUMENTO DE REFERENCIA DTIS NO. D-12-4700-201, 204, 205, 207		REVISIÓN: 0
RIESGO	CAUSA	CONSECUENCIA	PRECAUCIONES	ACCIÓN
Baja temperatura de alimentación al reactor catalítico. (nodo 6)	1. Condensación de azufre si la temperatura de entrada al reactor catalítico es demasiado baja, el punto de rocío del azufre se puede alcanzar y empieza a condensar en el equipo.	Rápida desactivación del catalizador por presencia de azufre líquido.	1. Existen TIS instalados a la entrada y salida del reactor catalítico. 2. Existen TICs que controlan la temperatura de alimentación al reactor catalítico.	1. Monitorear constantemente las condiciones de operación del reactor catalítico. 2. Reactivar el catalizador elevando la temperatura de entrada al reactor hasta la temperatura máxima permisible por un período de 24 y hasta 48 hrs; para evaporar el azufre hacia el condensador.
Formación y acumulación de carbón en el reactor catalítico. (nodo 6)	1. Utilización de gas combustible de refinería como medio de calentamiento y oxidación del mismo (una vez formado el azufre) en relación no estequiométrica con respecto al aire.	1. Desactivación del catalizador.	1. Realización de un número significativo de análisis de los productos de combustión durante las fases de calentamiento de la unidad. 2. Operación de la planta con la cantidad estequiométrica de aire para oxidación del gas combustible de calentamiento una vez formado el azufre.	1. Reemplazo de catalizador de la cama o de las camas del reactor catalítico. 2. Tener asimilado y disponible el procedimiento de paro de la unidad para limpieza del catalizador.

Nodo de referencia: 7. Título del documento:		Documento de referencia DTI No. D-12-4700-207		Revisión: 0
RIESGO	CAUSA	CONSECUENCIA	PRECAUCIONES	ACCIÓN
Paro de la unidad de recuperación de azufre.	1. Corrosión severa en la unidad de recuperación de azufre.	1. Posible cambio de los pasos de los condensadores de azufre (EA-4704 y EA-4705). 2. Posible reemplazo de algunos "demisters" de los condensadores de azufre. 3. Posible reemplazo del catalizador colocado en las distintas camas del reactor catalítico debido a la solidificación de azufre. 4. Posible reemplazo de diversos tramos de tubería de la unidad.	1. Purgado de toda la unidad de recuperación de azufre inmediatamente después de cualquier paro de la misma. 2. Tener precaución de que si se inyecta vapor para preparar cualquier sección de la planta, no se condense y por tanto no absorba H ₂ S o SO ₂	1. Aplicar adecuadamente un procedimiento específico para purgado de la unidad en caso de cualquier operación de paro de la misma.
Fuego, radiación elevada y alta temperatura en la fosa recuperadora de azufre.	1. Incendio de azufre recuperado.	1. Oxidación del producto generado en la planta. 2. Daños materiales en la fosa recuperadora y equipo asociado, debido a la intensidad de calor generada. 3. Emisión de gases tóxicos al medio ambiente	1. Evitar la realización de trabajos que involucren el manejo de sustancias o dispositivos calientes que puedan ser arrojados y/o acumulados en la fosa de recuperadora. 2.- Cubrir temporalmente la fosa en caso de la realización de cualquier trabajo requerido en el área de la fosa o zonas adyacentes a la misma.	1. Aplicar un procedimiento específico para los casos de realización de trabajos delicados en la fosa recuperadora o zonas adyacentes a la misma. Dicho procedimiento debe incluir la saturación del área de la fosa por medio de una cortina de vapor. Con esto se desplazará el oxígeno y se evitará cualquier contacto de fuego.

NODO DE REFERENCIA: 7 TÍTULO DEL DOCUMENTO:		DOCUMENTO DE REFERENCIA DTIS NO. D-12-4700-207		REVISIÓN: 0
RIESGO	CAUSA	CONSECUENCIA	PRECAUCIONES	ACCIÓN
Alta concentración de agua fría en el azufre recuperado dentro de la fosa.	1. Acumulación de agua dentro de la fosa recuperadora de azufre debido a un agente externo al proceso.	1. Posibles escurrimientos de agua debido a la limpieza de equipo asociado.	1. Tener la precaución de no dejar escurrir o evitar a toda costa inundar la fosa recuperadora de azufre con agua fría.	1. Aplicar un procedimiento específico para la remoción de azufre solidificado por efecto de un derrame de agua fría.

4.5 EVALUACION DE RIESGOS, IDENTIFICANDO Y JERARQUIZANDO LOS RIESGOS DE PROCESO, ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE.

4.5.1 RESUMEN DEL HAZOP

Este reporte presenta los hallazgos del equipo de Estudio de Riesgos y Operabilidad (HAZOP) para el proyecto Planta Recuperadora de Azufre y Tratamiento de gas Residual. Refinería " Antonio M. Amor", Salamanca, Gto.

El grupo de análisis de Riesgos del Proceso (ARP), revisó sistemáticamente los DFP's, DTI's, hojas de datos y manuales de operación, para identificar los riesgos y problemas potenciales, así como también evaluó si las precauciones propuestas eran adecuadas y recomendó acciones para mejorar los procedimientos de operación y/o de diseño propuestos.

La metodología utilizada (sección 4.5.3) estuvo basada en los lineamientos publicados por el Center of Chemical Process Safety (CCPS) del American Institute of Chemical Engineers, de igual manera se tomo en cuenta el método HAZOP diseñado por la compañía inglesa ICI:

El reporte contiene los resultados y acciones acordadas por el grupo de HAZOP (sección 4.5.4); estas acciones están documentadas en las hojas de trabajo de HAZOP .

4.5.2 INTRODUCCION DEL HAZOP

La identificación del riesgo de proceso y la examinación de las maneras de reducir o eliminar el riesgo que pueda afectar a los empleados y /o público en general, son las metas de seguridad del proyecto de la Planta Recuperadora de Azufre y Tratamiento de Gas Residual. Refinería Antonio M. Amor", Salamanca, Gto.

El estudio de Riesgos y Operabilidad de "palabra Guía" (HAZOP) se seleccionó como la metodología adecuada para este estudio de Análisis de Riesgos del Proceso (ARP). El método de HAZOP es apropiado para este tipo de sistema, es aceptado ampliamente en toda la industria y satisface parte de los requerimientos del ARP que se encuentra en la Práctica Recomendada 750 del API.

La metodología utilizada para el estudio es llamada método HAZOP de "palabra guía", la cual es un análisis riguroso, estructurado, en el cual las palabras guía son combinadas con parámetros del proceso para examinar posibles desviaciones de la operación en puntos seleccionados en el flujo de proceso.

Las palabras guía utilizadas incluyen , no, más (superior), menos (inferior), diferente, etc. Los parámetros del proceso examinados incluyeron flujo, temperatura, presión, nivel y composición.

4.5.3 METODOLOGIA DEL ANALISIS DE RIESGO DEL PROCESO.

En la práctica recomendada 750 del API y los lineamientos del CCPS se enlistan, varias técnicas del ARP. La metodología del HAZOP se eligió como la técnica apropiada para este proyecto, a fin de asegurar un examen riguroso de los riesgos del proceso así como los problemas potenciales operacionales que podrían convertirse en "eventos graves".

Metodología del Estudio HAZOP de "Palabra Guía".

El estudio de análisis Riesgos y operabilidad (HAZOP) es un método disciplinado que proporciona a un grupo de ARP los medios para visualizar las maneras en que una planta, proceso o partes del equipo, puede fallar, tener un mal funcionamiento u operación incorrecta.

La identificación de los riesgos asociados con el procedimiento de sustancias químicas o hidrocarburos es la parte central del HAZOP.

Dentro del HAZOP, el proceso sujeto de investigación es cuestionado sistemáticamente para determinar las consecuencias (riesgos) de las desviaciones del diseño o de la operación del proceso. La premisa de la técnica de HAZOP es que puede existir un problema si el proceso se desvía de sus parámetros de diseño.

La base de la investigación de HAZOP es la desviación. Una desviación ocurre sólo si el parámetro del proceso que se está estudiando se encuentra fuera del rango deseado. Las "palabras guía" se combinan con el parámetro

del proceso para obtener una desviación hipotética del propósito del diseño. Las palabras guía son las herramientas utilizadas para dirigir sistemáticamente el HAZOP.

El primer paso en el estudio del HAZOP es seleccionar los puntos donde se examinarán las desviaciones del proceso, llamadas "nodos". El grupo de ARP, revisó los DTIs para seleccionar los nodos que se consideraron. Los nodos están numerados con el propósito de llevar registros y los números aparecen en los DTIs. Los números corresponden a los números de nodo que aparecen en el encabezado de cada hoja de trabajo de HAZOP:

El primer tema que se utilizó en la mayoría de los casos al examinar una desviación en especial fue la consecuencia potencial de la desviación en ese nodo. Si no había ninguna consecuencia o sólo se tenía una insignificante, generalmente dicha desviación no se discutía muy a fondo.

Esto permitió al grupo concentrarse en las desviaciones que pudieran causar condiciones inseguras o problemas de operación.

Cuando surgió una desviación que pudiera causar condiciones inseguras o problemas de operación, se discutieron y registraron las posibles causas y consecuencias en las columnas de CAUSA y CONSECUENCIA, respectivamente.

La técnica de estudio de HAZOP de "Palabra Guía" utilizada en este análisis incluye la documentación de las consecuencias razonables en el peor de los casos para una desviación si considerar las preocupaciones existentes.

Esto permite al grupo de ARP examinar los riesgos o consecuencias asociadas con fallas de controles de ingeniería y administración para estas unidades.

Una vez que se evaluaron y documentaron las consecuencias, el grupo se centró en la identificación de las PRECAUCIONES existentes para la desviación. Si éstas no existían, el grupo ARP desarrolló partidas de acción para mejorar la seguridad de la operación.

Si las precauciones del sistema, como instrumentación, alarmas y paros, válvulas de alivio o acciones del operador pudieran ayudar a mitigar la situación, la respuesta esperada del sistema se incluyó en la columna de PRECAUCIONES en la hoja de trabajo de HAZOP.

Si después del análisis se decidió que era necesario un cambio para mejorar la seguridad u operabilidad, dichas sugerencias se anotaron en la columna de ACCION.

Las palabras guía son.

PALABRAS GUÍA	SIGNIFICADO	COMENTARIOS	DESVIACIÓN
No, Nada	Total negación de la intención	Ninguna parte de la intención ocurre	No existe flujo donde debiera, no existe energía
Más, Mayor	Aumenta el grado de la intención	Se refiere a cantidades y propiedades	Mayor flujo, más carga, tiempo reacción, alta temperatura, presión viscosidad
Menos, menor	Disminuye el grado de la intención	Se refiere a cantidades y propiedades	Menor flujo, menos carga, tiempo reacción, baja temperatura, presión, viscosidad
A parte de, también	Un aumento cualitativo	La intención ocurre junto con otra actividad	Otras fases, impurezas, otros flujos, aparte existe corrosión
Parte de, sólo parte de	Una disminución cualitativa	Algunas intenciones ocurren, otras no	Composición diferente, alguna omisión en adicionales
Contrario a	Ocurre lo opuesto a la lógica	Ocurre lo contrario a lo que se esperaba	El flujo se regresa, el producto se envenena
En vez de, antes de, después de, a donde más	Sustitución completa	Ocurre algo totalmente distinto a lo esperado	En vez de cargar "A" se carga "B", en vez de enfriar, calentar.

4.5.4 RESULTADOS Y ACCIONES DE HAZOP

Las notas de discusión de desviación y acciones (hojas de trabajo) HAZOP se presentan en la sección 5.5. El punto de partida del análisis se basó en la lista de riesgos que a continuación se presenta:

RIESGOS DE PROCESO ESTABLECIDOS EN EL ANALISIS DE HAZOP

- Exceso de aire en una unidad caliente.
- Mal funcionamiento del mecanismo de paro automático.
- Exceso de hidrocarburos en las alimentaciones.
- Daño en el refractario del reactor por sobrecalentamiento

- Químicos desconocidos en las alimentaciones.
- Formación de carbón en el catalizador
- Taponamiento por sales de amonio
- Desactivación del catalizador
- Fuego en la fosa de azufre
- Agua en la fosa de azufre.

Otras desviaciones que quedaron registradas debido a su notable importancia fueron:

- Pérdida de alimentación de gas ácido de amina
- Pérdida de gas ácido de SWS
- Fuga de gas ácido de amiga o gas ácido de SWS
- Corrosión severa en la unidad de recuperación de azufre
- Alta temperatura en el reactor térmico

Por último, conviene señalar que otras desviaciones no quedaron registradas debido a que producen consecuencias insignificantes o ninguna.

4.5.4.1 INTERPRETACION DE LAS HOJAS DE TRABAJO DE HAZOP

Los siguientes puntos aplican al leer las hojas de trabajo:

- Para cada nodo, en la primer columna se listan los diversos rubros o variables que pueden sufrir una desviación.

- La siguiente columna indica la causa o causas que pueden originar la desviación.
- La tercer columna indica los resultados que se pueden obtener como consecuencia de esa desviación.
- La cuarta columna indica las precauciones que existen en el sistema para evitar al máximo posible que ocurra la desviación.
- La quinta columna indica las acciones que se deben de tomar para dar soporte a esas precauciones y en caso necesario, corregir los manuales o procedimientos para incluirlos ellos.
- Existen algunas causas generales para muchas de las desviaciones. Por ejemplo, la ruptura del tubo corriente arriba, el bloqueo corriente abajo o las válvulas de bloqueo cerradas podrían causar que no hubiera flujo en prácticamente cualquier nodo. Para evitar la repetición innecesaria, sólo se tomó la causa más crítica posible.

NODO DE REF.: S/N. TITULO DEL DOCUMENTO		DOCUMENTO DE REFERENCIA DIAGRAMAS DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN		REVISIÓN: 0	
Concepto	Nodo	general con	asuntos que	aplican a todos los	nodos
DESVIACION	CAUSA	CONSECUENCIA	PRECAUCIONES	ACCION	
Mantenimiento	Falta de manlto. de los empaques de las válvulas y juntas de bridas	Posibilidad de fugas y derrames	Programa de manlto.	Dar seguimiento al programa existente	
Fuego	Fuga de gas amargo	El hidrocarburo gaseoso puede formar mezclas explosivas que con cualquier fuente de ignición causarán un incendio	No se detectó alguna precaución	Deberá seguirse el procedimiento para el caso de pérdida de energía eléctrica	
Falla de energía eléctrica	Corte del suministro de energía eléctrica a la planta	1 Al fallar la energía, todos los equipos accionados eléctricamente dejarán de funcionar 2 Se deberá para la planta en forma ordenada	No se detecto alguna precaución	Deberá seguirse el procedimiento para el caso de pérdida de energía eléctrica	
No existe aire de instrumentos	Pérdida parcial o total de aire de instrumentos	1 Al fallar el suministro de aire de instrumentos, las válvulas de control asumen su posición a falla de aire 2 En caso de ser falla parcial, las válvulas se pueden operar en forma manual pero requieren mayor monitoreo.	1. Se cuenta con las preparaciones para utilizar el suministro de aire de instrumentos de la refinería 2 En caso de no restablecerse el servicio las válvulas asumen una determinada posición para evitar perder el control súbitamente	Tratar de restablecer el suministro por medio del sistema de aire de la planta o por medio del sistema de la refinería, en caso contrario seguir el procedimiento del manual de operación para el caso de falla de aire de instrumentos	

NODO DE REF: S/N TÍTULO DEL DOCUMENTO:		DOCUMENTO DE REFERENCIA DT I'S		REVISIÓN: 0	
Concepto: Nodo		general con	asuntos que	aplican a todos	los nodos
DESVIACION	CAUSA	CONSECUENCIA	PRECAUCIONES	ACCION	
No existe vapor de calentamiento	Falla en el suministro de vapor de calentamiento	1. Al fallar el vapor, se empezará a tener problemas de calentamiento en los cambiadores de calor de recalentamiento de azufre EA-14701, EA-14702 y EA -14703 2. Al fallar el vapor, se empezará a tener problemas de calentamiento en el rehervidor del agotador de gases (H2S y C=2) de la DA-14703 3. Se debe parar la planta	El vapor es proporcionado por la refinería	Llevar a cabo el procedimiento descrito para el caso de pérdida de vapor	
No existe agua de enfriamiento	Falla en el suministro de agua de enfriamiento	1. Al fallar el agua de enfriamiento habrá una sobrepresión en la torre de apagado DA-14701 debido a la falta de enfriamiento de los gases calientes (no operaría el EA-14707) 2. Vanaciones operacionales en la torre absorbidora debido a la inoperabilidad del enfriador de amina pobre (EA-14708) 3. Vanaciones operacionales en el agotador de gases DA-14703 debido a la inoperabilidad del condensador. Enfriador de gases EA-14711	El agua es proporcionada por la refinería y se considera que existe la suficiente capacidad para cubrir la demanda. No se detecto alguna precaución	Se deberá llevar a cabo el procedimiento descrito para el caso de pérdida de agua de enfriamiento	

NODO DE REF.: 1 TÍTULO DEL DOCUMENTO		DOCUMENTO DE REFERENCIA DTI NO. 12-14700-201		REVISIÓN: 0
Concepto: nodo	general con	asuntos que	aplican a todos	los nodos
DESVIACIÓN	CAUSA	CONSECUENCIA	PRECAUCIONES	ACCIÓN
Pérdida de la alimentación de gas ácido de amina (nodo1)	1. Falla en la alimentación del gas ácido procedente del tanque de reflujo FA-604 (planta HDD)	1. Afectación repentina de la conversión de gas ácido rico en sulfuro de hidrógeno a azufre 2. Disparo que activará el circuito de paro de la planta de claus por muy bajo flujo	Existe alarma por bajo flujo y por muy bajo flujo, así como interruptores por bajo flujo en la línea 8 "AG-1001-A, antes del BA-14701 (precalentador de gas ácido)	Se deberá llevar a cabo el procedimiento descrito para el caso de pérdida de la alimentación de gas amina a la planta. Se procederá al paro de la unidad (paro de emergencia)
Pérdida del gas ácido de SWS (nodo !)	Falla en la alimentación de gas ácido procedente del separador de agua amarga del DA-603 (planta HDD)	1. Afectación repentina de la conversión de sulfuro de hidrógeno a azufre	Existe alarma por bajo flujo y por muy bajo flujo, así como interruptores por bajo flujo en la línea 6" AAG-2001-AA-2" - dst.	Se deberá llevar a cabo el procedimiento correspondiente, para el caso de pérdida de la alimentación de gas ácido amoniacal.

NODO DE REF: 1 TÍTULO DEL DOCUMENTO		DOCUMENTO DE REFERENCIA DTI NO.12-14700-201		REVISIÓN: 0
Concepto: nodo	general con	asuntos que	aplican a todos	los nodos
DESVIACION	CAUSA	CONSECUENCIA	PRECAUCIONES	ACCION
Fuga de gas ácido de amina o gas ácido de SWS (amoniacal) nodo 1	1. Falla o deterioro de alguna válvula de bloqueo, algún empaque o algún accesorio instalado sobre las líneas 8"AG-1000/1001-A o 6"AG-2000/2001-AA-2"-DST. 2. Falla o deterioro de los tanques FA-14701 o FA-14702 de algún dispositivo asociado a ellos.	1. Posible fuego en la unidad de recuperación de azufre. 2. Emisión de gases tóxicos a la atmósfera, (corrosivos en presencia de agua o atmósfera con cierto contenido de humedad)	1. Instalación de un sistema de detección de gas, a base de detectores de ácido sulfhídrico	1. Se deberá aplicar de inmediato y en forma coordinada (por parte de todo el personal de operación y seguridad de la instalación), el procedimiento específico para trabajos de emergencia en caso de fuga de gas ácido. 2. Se deberán tomar todas las medidas de seguridad encaminadas a entender al personal en caso de intoxicamiento por inhalación de ácido sulfhídrico. 3. Se deberá pedir auxilio inmediato al personal de contra incendio del municipio estatal correspondiente, informándoles detalladamente del tiempo de emisión de la fuga y las características presentadas por la misma hasta el tiempo de arribo de este organismo a la unidad.

NODOS DE REF.: 1 Y2 TÍTULO DEL DOCUMENTO:		DOCUMENTO DE REFERENCIA DTIS NO.D12-14700-201/202/203/204		REVISIÓN: 0
DESVIACION	CAUSA	CONSECUENCIA	PRECAUCIONES	ACCION
Exceso de aire en una unidad caliente (BA-14702, DC-14701, BA-14701,EA-14701,EA-14702 y EA-14703).	1. Activación de la señal de paro de la unidad del dispositivo de falla de llama del reactor térmico DC-14701 (cierre automático de válvula de alimentación de gas ácido y falla de solenoide en circuito de soplador de aire (GB-14701 A/ B)	1. Encendido de azufre por presencia de oxígeno en forma espontánea a baja temperatura (204°C) 2. Posible daño de materiales de equipos tales como intercambiadores de recalentamiento (EA-14701, EA-14702 y EA-14703) debido al incremento súbito de la temperatura por el fuego de azufre.	1. Nunca alimentar aire en exceso a la unidad recuperadora de azufre mientras la unidad se encuentre caliente (por encima de las temperaturas habituales de operación).	1. Corroboración por parte del personal operativo que el sistema de paro del ventilador GB-14701 A/B) funcione adecuadamente 2. El operador debe tener a la mano el manual de operación con los procedimientos bien identificados. 3. seguir el procedimiento descrito cuando se tenga exceso de aire en una unidad caliente.
Exceso de hidrocarburos en la alimentación	1. Contaminación por hidrocarburos de gas ácido (SWS) o gas ácido amoniacal.	1. Exceso de hidrocarburos no oxidados en la unidad y por lo tanto acarreo de los mismos al incinerador en donde por la presencia de exceso de aire se da una oxidación de ellos, alcanzando temperaturas elevada en el incinerador, provocando daños a refractarios y demás materiales del equipo.	1. Dentro de los programas operativos se encuentra el muestreo de la composición de la corriente de gas ácido alimentado a la planta, ya sea de la de gas ácido de (SWS) o gas ácido amoniacal.	1. Establecer en el procedimiento para bloqueo y paro de la planta en caso de contaminación de la alimentación

NODOS DE REFERENCIA: 1, 3, 4, 5, 6 TÍTULO DEL DOCUMENTO		DOCUMENTO DE REFERENCIA DTIS NO.D-12-14700-201.204.205.207		REVISIÓN: 0
DESVIACIÓN	CAUSA	CONSECUENCIA	PRECAUCIONES	ACCIÓN
Alta temperatura en el reactor térmico (nodo 1)	1. Suministro de nitrógeno para moderación de la temperatura del reactor térmico en el arranque y mala atención por parte del operador al no percatarse de la indicación de alta temperatura en el equipo..	1. Daño del material refractario en el reactor térmico DC-14701, debido a un sobrecalentamiento.	1. existe alarma por alta temperatura en el reactor térmico DC-14701. 2. Existe alarma por muy alta temperatura en el reactor térmico DC-14701	1. En las eventuales de arranque o paro de la unidad, atender prioritariamente las indicaciones de temperaturas del reactor térmico. 2. El operador deberá inspeccionar el refractario del reactor térmico para comprobar la indicación de temperatura / esto se logra observando la coloración del refractario) 3. Asegurarse para el arranque, que el suministro de nitrógeno no se agote.
Substancias químicas desconocidas en la alimentación (nodo 3)	1. Contaminación del gas ácido alimentado a la planta de azufre ya sea durante operación normal o arranque.	1. Contaminación con gases extraños o de desfogue a la alimentación de gas ácido a la planta de azufre, proveniente del sistema de regeneración de aminas. 2. Producción de azufre oscuro (gris o negro) y combustión inadecuada en reactor térmico. 3. Degradación de hidrocarburos o polimerización en zona de reacción. 4. Posible formación de carbón o coque causando problemas en la alimentación a la planta.	1. Cercionarse de nunca alimentar químicos desconocidos a la planta de azufre. 2. Evitar al máximo posible el depósito de azufre oscuro o fuera de color a las cámaras del catalizador. 3. Monitoreo programado de la composición de la corriente de gas ácido proveniente del sistema de regeneración de aminas.	1. Llevar a cabo inmediatamente el paro de la planta, bloqueando las válvulas apropiadas, para evitar tener contaminación del catalizador por formación de coque. 2. Tener bien asimilado y disponible el procedimiento de paro de la unidad para limpieza del catalizador

NODOS DE REFERENCIA: 1,3,4,5 Y 6 TÍTULO DEL DOCUMENTO		DOCUMENTO DE REFERENCIA DTIS NO. D-12-14700-201,204,205,207		REVISIÓN 0
DESVIACIÓN	CAUSA	CONSECUENCIA	PRECAUCIONES	ACCIÓN
Formación y acumulación de carbón en la unidad (nodo 4)	1. Utilización de gas combustible de refinería como medio de calentamiento y oxidación del mismo (una vez formado el azufre) en relación no estequiométrica con respecto al aire.	1. Posible formación de carbono en los tubos del quemador. 2. Posible bloqueo de los demisters del condensador. 3. Posible coquización de las camas del reactor catalítico. 4. Posible bloqueo del flujo a través del catalizador, debido a la excesiva acumulación de carbón en el mismo.	1. realización de un número significativo de análisis de los productos de combustión durante las fases de calentamiento de la unidad 2 Operación de la planta con la cantidad estequiométrica de aire para oxidación del gas combustible de calentamiento una vez formado el azufre.	1. Paro de la unidad para limpieza de tubos del quemador 2. Paro de la unidad para limpieza y destaponamiento de demisters del condensador 3. Reemplazo de catalizador de la cama o de las camas del reactor catalítico 4. tener bien asimilado y disponible el procedimiento de paro de la unidad para limpieza del catalizador

NODOS DE REFERENCIA: 1,3,4,5 Y 6 TÍTULO DEL DOCUMENTO		DOCUMENTO DE REFERENCIA DTIS NO D-12-14700-201,204,205,207		REVISIÓN: 0
DESVIACIÓN	CAUSA	CONSECUENCIA	PRECAUCIONES	ACCIÓN
	1. Oxidación inadecuada en el reactor térmico del amoniaco (NH ₃) contenido en la alimentación de gas ácido, debido a la atmósfera reductora de dicho equipo.	1. Formación de sales de sulfito y sulfato de amonio. 2. Precipitación de las sales en el condensador de azufre (FA-14704) y taponamiento de tubos y líneas de drenaje de azufre. 3. Taponamiento de líneas principales de proceso (sobre todo en tramos de válvulas) 4. Formación de mezclas peligrosas de H ₂ S-NH ₃ . Corriente arriba del quemador (BA-14702) que forman espontáneamente sales insolubles de polisulfuro de amonio que tienden a taponar los tanques de separación (FA-14701/14702) así como los tubos de cambiadores de calor (ea-14701/14702 y EA-14703 y tubería asociada, medidores conexiones de muestra y líneas principales.	1. Mantener la temperatura de entrada al reactor térmico DC-14701 en un valor mayor a 82°C. 2. Existe indicación de temperatura para monitoreo en la corriente de gases de entrada a los equipos BA-14702 y DC-14701. 3. Se dispone con alarmas por muy alta presión para informar entre otras cosas de la posibilidad de favorecer la reacción NH ₃ -H ₂ S.	1. Verificar en forma programada las condiciones operacionales del sistema 2. Eliminación mediante lavado con agua las sales amoniacaes, requiriéndose para ello el paro de la planta. 3. Los operadores deberán tener disponible y manejar adecuadamente el procedimiento de paro de la unidad requerido para realizar los trabajos de lavado con agua de la misma.

NODOS DE REFERENCIA: 1, 3, 4, 5 Y 6 TÍTULO DEL DOCUMENTO:		DOCUMENTO DE REFERENCIA DTIS NO.D12-14700-201,204,205,207		REVISIÓN: 0
DESVIACIÓN	CAUSA	CONSECUENCIA	PRECAUCIONES	ACCIÓN
1. Baja temperatura en corrientes de azufre líquido. 2. Bajo flujo a través de las líneas conductoras de azufre líquido. (nodo 5)	1. No apertura de las líneas de vapor hacia las camisas de vapor instaladas sobre las tuberías de azufre líquido.	1. Solidificación de azufre en las líneas que van de la salida de BA-14701 hacia la fosa de azufre 2. Taponamiento de las líneas de azufre debido a su solidificación.	1. Verificación de flujo de vapor instaladas sobre las líneas de azufre. 2. Verificación del buen estado del encaquetado de la línea de azufre. 3. Verificación del buen aislamiento de las líneas de azufre. 4. Verificación de la pendiente (flujo libre) hacia la fosa de azufre.	1. Intentar derretir el azufre solidificado y empujarlo fuera del sistema haciendo circular azufre líquido a una temperatura elevada 2. En caso de no lograr la remoción de azufre sólido mediante el procedimiento anterior, realizar el paro de la planta. 3. Disponer y manejar adecuadamente los procedimientos de remoción de azufre antes mencionados.
Contaminación de catalizador (nodo 6)	1. Excesiva alimentación de vapor a las camas del reactor catalítico	1. Debilitación del catalizador 2. Posible desactivación del catalizador	1. Se cuenta con válvulas y conexiones para toma de muestra. 2. Muestrear las corrientes de alimentación a las distintas camas del reactor catalítico corroborando que no se presenten excesivas cantidades de vapor 3. Solo en situaciones de emergencia se justifica usar vapor de manera directa hacia el catalizador por periodos cortos.	1. Reactivar el catalizador elevando la temperatura de entrada al reactor hasta la temperatura máxima permisible por un período de 24 hasta 48 hr para remover la posible acumulación de agua del catalizador. 2. En caso de no ser posible lo anterior por el hecho de que el catalizador fue dañado, realizar el procedimiento de paro de la unidad para reemplazar el catalizador desactivado

NODOS DE REFERENCIA: 1, 3, 4, 5 Y 6 TÍTULO DEL DOCUMENTO:		DOCUMENTO DE REFERENCIA DTIS NO. D-12-14700-201, 204, 205, 207		REVISIÓN: 0
DESVIACIÓN	CAUSA	CONSECUENCIA	PRECAUCIONES	ACCIÓN
Baja temperatura de alimentación al reactor catalítico (nodo 6)	1. Condensación de azufre si la temperatura de entrada al reactor catalítico es demasiado baja, el punto de rocío del azufre se puede alcanzar y empieza a condensar en el equipo.	Rápida desactivación del catalizador por presencia de azufre líquido	1. Existen TI's instalados a la entrada y salida del reactor catalítico. 2. Existen TIC's que controlan la temperatura de alimentación al reactor catalítico.	1. Monitorear constantemente las condiciones de operación del reactor catalítico. 2. Reactivar el catalizador elevando la temperatura de entrada al reactor hasta la temperatura máxima permisible por un periodo de 24 y hasta 48 hrs para evaporar el azufre y este fluya hacia el condensador.
Formación y acumulación de carbón en el reactor catalítico (nodo 6)	1. Utilización de gas combustible de refinería como medio de calentamiento y oxidación del mismo (una vez formado el azufre) en relación no estequiométrica con respecto al aire.	1. Desactivación del catalizador	1. Realización de un número significativo de análisis de los productos de combustión durante las fases de calentamiento de la unidad. 2. Operación de la planta con la cantidad estequiométrica de aire para oxidación del gas combustible de calentamiento una vez formado el azufre.	1. Reemplazo de catalizador de la cama o de las camas del reactor catalítico. 2. Tener asimilado y disponible el procedimiento de paro de la unidad para limpieza del catalizador.

NODO DE REFERENCIA: 7 TÍTULO DEL DOCUMENTO		DOCUMENTO DE REFERENCIA DTI NO. D-12-14700-207		REVISIÓN : 0
DESVIACION	CAUSA	CONSECUENCIA	PRECAUCIONES	ACCIÓN
Paro de la unidad de recuperación de azufre.	1. Corrosión severa en la unidad de recuperación de azufre.	1. Posible cambio de los pasos de los condensadores de azufre (EA-14704 y EA-14705). 2. Posible reemplazo de algunos " demisters" de los condensadores de azufre. 3. Posible reemplazo del catalizador colocado en las distintas camas del reactor catalítico debido a la solidificación de azufre. 4. Posible reemplazo de diversos tramos de tubería de la unidad.	1. Purgado de toda la unidad de recuperación de azufre inmediatamente después de cualquier paro de la misma. 2. Tener precaución de que si se inyecte vapor para preparar sección de la planta, no se condense y por tanto no absorba H ₂ S o SO ₂ .	1. Aplicar adecuadamente un procedimiento específico para purgado de la unidad en caso de cualquier operación de paro de la misma
Fuego, radiación elevada y alta temperatura en la fosa recuperadora de azufre	1. Incendio de azufre recuperado.	1. Oxidación del producto generado en la planta. 2. Daños materiales en la fosa recuperadora y equipo asociado, debido a la intensidad de calor generada. 3. Emisión de gases tóxicos al medio ambiente	1. Evitar la realización de trabajos que involucren el manejo de sustancias o dispositivos calientes que puedan ser arrojados y/o acumulados en la fosa recuperadora. 2. Cubrir temporalmente la fosa en caso de la realización de cualquier trabajo requiendo en el área de la fosa o zonas adyacentes a la misma.	1. Aplicar un procedimiento específico para los casos de realización de trabajos delicados en la fosa recuperadora o zonas adyacentes a la misma. Dicho procedimiento debe incluir la saturación del área de la fosa por medio de una cortina de vapor. Con esto se desplazará el oxígeno y se evitará cualquier conato de fuego

NODO DE REFERENCIA: 7 TÍTULO DEL DOCUMENTO		DOCUMENTO DE REFERENCIA DTI NO. D-12-14700-207		REVISIÓN: 0
DESVIACIÓN	CAUSA	CONSECUENCIA	PRECAUCIONES	ACCIÓN
Alta concentración de agua fría en el azufre recuperado dentro de la fosa	1. Acumulación de agua dentro de la fosa recuperadora de azufre debido a un agente externo al proceso.	1. Posibles escumamientos de agua debido a la limpieza de equipo asociado.	1. Tener la precaución de no dejar escurrir o evitar a toda costa inundar la fosa recuperadora de azufre con agua fría.	1. Aplicar un procedimiento específico para la remoción de azufre solidificado por efecto de un derrame de agua fría.

4.6 DEFINICION DE LOS RADIOS DE AFECTACION DE LOS EVENTOS PROBABLES DE RIESGOS.

El propósito del análisis de consecuencias es determinar si los efectos potencialmente peligrosos de accidentes severos en las instalaciones seleccionadas podrían, bajo las peores condiciones, tener un impacto mayor en la Refinería o en las áreas circundantes.

Los accidentes que se seleccionaron fueron aquellos que se consideró que tenían el potencial para originar las zonas de mayor riesgo. La probabilidad de ocurrencia no fue un factor en el proceso de selección.

La sección 4.6.2 de este reporte describe la manera en que se realizó este análisis de consecuencias, incluye una descripción de los escenarios de riesgo, los modelos utilizados y los niveles de riesgo que se analizaron.

La sección 4.6.3 resume los resultados de los análisis. Incluye tablas y vistas en planta de las áreas donde el personal está sujeta a sufrir lesiones si uno de los escenarios identificados de accidentes, llegara a ocurrir.

La sección 4.6.4 es una discusión de los resultados importantes del análisis de consecuencias.

4.6.2 METODOLOGIA DEL MODELADO DE CONSECUENCIAS

El modelado de consecuencias es el término aplicado al uso de ecuaciones matemáticas (los modelos) para predecir la extensión real (las consecuencias), de los riesgos que representan accidentes supuestos. Los accidentes típicos incluidos en un análisis de consecuencias de una instalación que maneja hidrocarburos, se listan a continuación:

- Incendios, involucrando el relevo de fluidos inflamables (incendios en recipientes, incendios de fluido a chorro e incendios por flasheo).
- Explosiones (en espacios confinados y no confinados) involucrando fluidos inflamables.

4.6.2.1 Riesgos de interés

Los riesgos que representan los accidentes arriba mencionados incluyen lo siguiente:

- Exposición a la energía térmica producida por incendios debidos a flasheo (incendio de nubes de vapor), incendio en recipientes e incendio de fluidos a chorro.
- Exposición a las ondas de sobrepresión generadas por explosiones en espacios abiertos.
- Exposición a proyectiles (fragmentos de tanque) producidos por una explosión.

Por cada uno de los riesgos listados arriba, puede haber varios "niveles de riesgo" de interés.

Los estudios le han permitido a los analistas desarrollar relaciones entre estos riesgos y sus efectos potenciales en la gente.

Los niveles de riesgo seleccionados para este estudio son aquellos que pueden causar lesiones o incluso la muerte a las personas expuestas a dicho riesgo. Sería muy difícil que alguien que se encuentre fuera de la zona definida de peligro pudiera sufrir la muerte.

Los estudios (Tsao 1979, HSC 1991) muestran que la gente que se encuentre fuera de estas zonas de peligro definidas tendría una probabilidad de menos del uno por ciento de morir si el accidente ocurriera. Los niveles se seleccionaron de acuerdo a los lineamientos de las normas que se utilizan comúnmente en estos estudios. Los niveles seleccionados para su uso en este estudio se listan a continuación.

Energía térmica- Exposición a la radiación Producida por incendios en Recipientes o por Incendios de Líquidos de chorro

El nivel de flujo de calor que podría ocasionar lesiones en un minuto de exposición es de 550 Btu/ hr pie². La exposición a este nivel de radiación podría causar quemaduras si el período de exposición es suficientemente prolongado (Tsao 1979). Debido a que no hay instalaciones donde la gente

esté inmóvil en el área, se espera que cualquier persona expuesta al calor radiante se retire de la fuente de calor en menos de un minuto.

Energía Térmica - Exposición a la radiación Producida por Incendios con Flasheo

El elemento sujeto a análisis es la nube de vapor limitada por la superficie tridimensional en la que la concentración de vapor inflamable en el aire equivale al límite inflamable inferior (LII).

Debido a que el área peligrosa creada por un incendio debido a flasheo es aproximadamente igual al área de la nube de vapor inflamable sin encender, los modelos de dispersión de vapor se utilizan comúnmente para calcular la extensión de este tipo de riesgo de energía térmica. El contorno de concentración del LII se utiliza para aproximar el límite del incendio de flasheo.

El contorno de concentración del LII se utiliza para representar el límite de los efectos peligrosos de los incendios debidos a flasheo, ya que las personas que se encuentran fuera del contorno del LII en el momento de la ignición no estarán en contacto con las llamas y sólo estarán expuestas durante un periodo corto de tiempo de diversos niveles de radiación.

Entonces, las personas que se encuentren fuera de la nube del LII no correrán casi ningún peligro de lesión causada por los efectos térmicos del incendio debido a flasheo. El equipo de proceso y el acero estructural por lo

general no sufrirán daño significativo por este tipo de incendio debido al corto tiempo de exposición.

Los materiales inflamables (como madera, plásticos o fluidos que estén fugando) dentro de la zona del incendio debido a flasheo, podrían prenderse y ocasionar un daño mayor.

Explosión por Sobrepresiones.

El valor límite del daño estructural para "debilitar" las estructuras es de 2.4 psig. Esta sobrepresión es capaz de romper ventanas de vidrio, dañar el techo de construcciones prefabricadas, etc. Los seres humanos no sufrirán lesiones por los efectos directos de la exposición a una onda de sobrepresión de esta intensidad. Sin embargo, sí podrían resultar heridos por los efectos secundarios, como los fragmentos de vidrios que se proyectarán de las ventanas rotas.

Este nivel de sobrepresión podría o no causar daños al equipo de proceso o a las estructuras.

No se ha intentado relacionar los niveles explosivos de sobrepresión con el daño potencial del equipo. Ciertamente cualquier equipo que se encuentre dentro de la zona inflamable, delimitada de un escenario de escape de gas ácido, hidrógeno o gas combustible se encuentra en peligro de sufrir daños si la nube explotara.

4.6.2.2 Selección de los modelos de consecuencias

Se cuenta con varios modelos matemáticos disponibles para predecir el grado de cada tipo de peligro de interés. Al realizar modelos de consecuencias es importante utilizar modelos que sean lo más apropiado posible para cada escenario específico de accidentes (es decir, las bases del modelo deben reflejar las condiciones específicas creadas por el accidente). También es importante utilizar modelos que se hayan comprobado que proporcionan predicciones razonablemente precisas al compararlos con los resultados de pruebas de campo a gran escala o accidentes pasados.

Cualquier error en las predicciones deben estar del lado conservador (es decir, el grado predicho de riesgo no debe ser menor que el grado real del riesgo medido durante las pruebas de campo), pero no debe ser demasiado conservador.

Modelos de dispersión de vapores

La dispersión de vapores de gases relevados se presenta cuando un gas o vapor es desalojado a la atmósfera y por sus características físicas como densidad, composición, peso molecular; las condiciones climatológicas: velocidad del viento, presión atmosférica, temperatura ambiente, etc.; se establece la dispersión del gas en la atmósfera y varía desde una concentración del 100% hasta una dispersión total del gas en la atmósfera 0%, entre este rango se presentan los niveles riesgosos de concentración definidos como: límite inflamable superior (LIS) y límite inflamable inferior (LII).

En el caso de emisiones de líquidos sobrecalentados, se tienen algunas dificultades especiales para representarlos por medio de modelos. Ya que al ser liberado a la atmósfera, parte del líquido sobrecalentado se convierte inmediatamente en vapor. El resto del líquido se enfriará hasta su punto de saturación. El comportamiento del líquido que no se convirtió en vapor depende del grado de sobrecalentamiento. Hay tres resultados posibles.

1. Si la cantidad de sobrecalentamiento es muy baja, casi todo el líquido emitido formará un charco en el suelo cerca del punto de liberación.
2. Si la cantidad de sobrecalentamiento es alta, el líquido puede romperse en pequeñas gotas por el gas de flasheo; se formará un aerosol de vapor, pequeñas gotas de líquido y aire.

Las pequeñas gotas de líquido permanecerán suspendidas en el aerosol hasta que se evaporen por completo (no se forma depósito de líquido).

3. Por cantidades medias de sobrecalentamiento, la emisión creará un aerosol, pero parte de las pequeñas gotas de líquido se precipitarán del aerosol y formarán un depósito de líquido.

Modelos de Radiación por Fuego

Las ecuaciones del modelo de radiación por fuego, utilizan correlaciones empíricas desarrolladas a partir de pruebas de campo o de accidentes reales

para calcular la geometría de la flama. Las referencias aplicables son las siguientes: Brzustowski (1972) y Thomas (1963) para incendios de fluidos a chorro. Los modelos utilizan estas correlaciones para calcular el tamaño de cada flama, su forma, orientación en grados y con respecto a la dirección del viento.

La intensidad de calor de radiación que deja la superficie de la flama (es decir, la superficie de flujo), varía de acuerdo a la composición del combustible y al tipo y tamaño de la flama. La mayoría de los valores de superficie de flujo utilizados en los modelos de radiación por fuego se obtuvieron de numerosos experimentos y de sistemas de quemadores industriales actuales.

Las rutinas estándar de integración numérica se utilizan para determinar el "factor de visión" para varios puntos clave a sotavento (dirección a la que dirige el viento), de la flama.

Entonces la intensidad de la radiación en cada uno de estos puntos se calcula multiplicando el factor de visión apropiado por la superficie de flujo de la flama. Entonces el flujo de calor incidente resultante en cada punto es corregido por el efecto de la absorción atmosférica.

Modelo de Explosión de la Nube de Vapor

El modelo de explosión de la nube de vapor está basado en la ley de escala de raíz cúbica, simplemente dice que la distancia que recorre la onda de choque de la explosión antes de desintegrarse a cualquier sobrepresión dada es igual al producto de un factor que varía con la sobrepresión y la raíz

cúbica del peso del TNT equivalente que liberaría la misma cantidad de energía explosiva como la masa de gas dentro de la nube de vapor inflamable.

El programa utiliza los resultados del modelo de dispersión de vapor para calcular la masa de un gas inflamable dentro de la sección de la nube de vapor en la cual la concentración de gas está entre el límite inflamable superior (LIS) y el límite inflamable inferior (LII). Esta masa se multiplica por el calor de combustión del gas, se divide entre el calor de combustión del TNT y entonces se multiplica por un factor de eficiencia del 10 por ciento para llegar al peso equivalente de TNT para usarlo en la ecuación de la raíz cúbica.

4.6.3 RESULTADOS DE LOS MODELOS DE CONSECUENCIAS

Esta sección describe los escenarios de accidentes seleccionados para su inclusión en el estudio, se resume la información y suposiciones requeridas por los modelos de consecuencias y presenta los resultados de dichos modelos de consecuencias.

4.6.3.1 Descripciones de Accidentes Potenciales

Se revisaron los documentos de ingeniería básica es decir: diagramas de flujo de proceso, diagramas de tubería e instrumentación, balances de materia y energía, descripciones y filosofías de operación de la planta recuperadora de Azufre y Tratamiento de Gas residual de la refinería Antonio M. Amor de Salamanca, Gto; para determinar qué accidentes potenciales podrían causar las peores consecuencias.

Los factores considerados en este análisis fueron: la composición del fluido en el sistema, tanques o recipientes de proceso, flujo de diseño, presión, temperatura, diámetro de las líneas, los tipos de accidente que se podrían ocasionar, así como las condiciones atmosféricas de la zona y proximidad de las áreas ajenas a la planta, pero dentro de la refinería. Los escenarios de los accidente seleccionados para análisis se describen en la tabla 4.6.3.1, y se determinaron a partir de las.

Tabla 4.6.3.1
Descripción de escenarios de Accidentes

TIPO DE PELIGRO	DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO DEL ACCIDENTE
Incendio por fuga de gas	Ignición retrasada de una nube de gas ácido de amina que sale por un orificio en la línea de alimentación al FA-14701 o FA-14702
Explosión de nube de gas	Explosión originada por la ignición de una nube de gas ácido de amina que sale por un orificio en la línea de alimentación al FA-14701 o FA-14702
Incendio por fuga de gas	Ignición retrasada de una nube de gas combustible que sale por un orificio en la línea de alimentación del incinerador UM-14701
Explosión de nube de gas	explosión originada por la ignición de una nube de gas combustible que sale por un orificio en la línea de alimentación del incinerador UM-14701
Incendio por fuga de gas	Ignición retrasada de una nube de hidrógeno que sale por un orificio en la línea de salida del calentador de carga BA-14704
Explosión de nube de gas	Explosión originada por la ignición de una nube de hidrógeno que sale por un orificio en la línea de salida del calentador de carga BA-14704

4.6.3.2 Fuentes de datos

Los datos necesarios para realizar los modelos de consecuencias se tomaron de los documentos de ingeniería básica es decir: bases de diseño, diagramas de flujo de proceso, diagramas de tubería e instrumentación, balances de materia y energía, descripciones y filosofías de operación.

La tabla 4.6.3.2 presenta el resumen de los datos de proceso utilizados en los modelos de consecuencias.

Para los cálculos de incendios por flasheo, explosión de nube de vapor e incendio a chorro, se supone que el fluido está escapando de una ruptura completa de la línea. Por lo tanto, el área de emisión es igual al área transversal de la tubería.

Tabla 4.6.3.2

Resumen de los datos requeridos para modelar las consecuencias de incendios por flasheo y explosiones de nubes de vapor

NUMERO DE CORRIENTE DE ACUERDO AL BALANCE DE MATERIA	DIAMETRO DEL TUBO (PULG)	PRESIÓN (KG/CM2)	TEMPERATURA (°C)	FLUJO (KG/HR)	FASE DEL FLUIDO
Unidad recuperadora <1>	8	0.633	54	3472	gas
U. Incinerador <1>	6	0.028	41	8500	gas
U.T.G.T.U. <2>	2	0.27	50	40	gas

Los datos climatológicos y del terreno requeridos por los modelos de consecuencias están basados parcialmente en datos históricos del área de Salamanca y parcialmente en la base de suposiciones de los peores casos.

4.6.3.3 Resumen de Resultados

Las tablas 4.6.3.3 y la 4.6.3.4 presentan las distancias máximas de las zonas de peligro para incendios por flasheo y explosiones de nubes de vapor.

Tabla 4.6.3.3

Resultados de los cálculos de incendio por flasheo

NÚMERO DE CORRIENTE DE ACUERDO AL BALANCE DE MATERIA	FLUJO DE RELEVO DE VAPOR/AEROSOL (KG/HR)	DISTANCIA MÁXIMA A UNA INTENSIDAD DE RADIACIÓN DE 550 BTU/HR PIE ² (METROS)
Unidad recuperadora <1>	3472	13.1
Incinerador <1>	8500	20.0
Unidad T.G.T.U. <2>	40	2.6

Los siguientes datos de entrada se utilizaron para todos los cálculos de incendios por flasheo:

- velocidad del viento 39.0 m/seg
- Estabilidad atmosférica B
- Temperatura del aire 29°C
- Humedad Relativa 80%
- Orientación de la emisión: Horizontal y a favor del viento
- Altura del punto de emisión: 1m sobre el nivel del suelo
- Duración de la emisión: 10 minutos

Tabla 4.6.3.4

Resultados de los cálculos de explosión de nubes de vapor

NÚMERO DE CORRIENTE DE ACUERDO AL BALANCE DE MATERIA	DISTANCIA MÁXIMA A UNA SOBREPRESIÓN DE 0.5 PSIG (METROS)	DISTANCIA MÁXIMA A UNA SOBREPRESIÓN DE 2.4 PSIG (METROS)
Unidad recuperadora <1>	38.4	19.9
U. Incineradora <1>	70.8	37.6
Unidad T.G.T.U. <2>	21.8	11.7

4.6.4 DISCUSION DE RESULTADOS

Las figuras muestran la extensión máxima prefijada del nivel de sobrepresión explosiva calculado (2.4 psig), para los diferentes escenarios de la ruptura de línea, fuga y explosión.

El área sombreada llamada "LII" es el área que podría ser cubierta por vapores inflamables bajo las condiciones del peor caso. Esta es el área más susceptible de sufrir daño en el equipo si se formará una nube de vapor y se incendiará. El área dentro de la curva llamada "2.4 psig", podría resultar afectada por sobrepresiones de esta magnitud o aún mayores si la nube de vapor explotara bajo las peores condiciones del viento, de igual manera se muestra la curva de "0.5 psig" en la cual se puede ocasionar el rompimiento de vidrios.

Las figuras 4.6.4.1 hasta 4.6.4.6 muestran la extensión máxima predicha de los niveles de peligro de los escenarios correspondientes a fugas de gases ácidos de amina, gas de alimentación al incinerador e hidrógeno en la línea de salida del calentador de carga analizados en este estudio.

Dichas figuras muestran que las emisiones identificadas tendrían impacto sobre las instalaciones.

Cualquier persona que se encuentre localizada a menos de 38, 70 y metros de la fuga respectiva, se encuentra dentro de la zona potencialmente afectada.

4.7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.7.1 CONCLUSIONES

Durante la revisión del análisis de riesgos de los casos que aquí se incluyen se detectó que existen las protecciones necesarias requeridas para prevenir las fallas que se pudieran presentar durante la operación, sin embargo si los planes de mantenimiento y calibración de instrumentos y dispositivos de control no son llevados a efecto, podrían presentarse cualquiera de los eventos que originaron las ocho recomendaciones generales que se indican a continuación.

Basándose en los resultados del análisis de consecuencias que se presenta en la sección 6.0, el accidente catastrófico más crítico simulado, que ocurriera en el área de la planta recuperadora de azufre y tratamiento de gas residual, es el caso de fuga de gas de venteo en la corriente (1) del incinerador UM - 14701, lo cual podría causar consecuencias bastante serias, dicho accidente podría dañar áreas aledañas a la planta en un radio de aproximadamente 70 metros en el caso de una explosión y la radiación emitida podría afectar una área de 20 metros de radio.

4.7.2 RECOMENDACIONES

Apartir del análisis de riesgos (HAZOP) las recomendaciones son las siguientes

1. Establecer comunicación constante con la planta hidrodesulfuradora de Diesel para conocer sus condiciones de operación, así como anticipar cualquier posible desviación y prevenir las posibles acciones que se deberán tomar
2. Tener los manuales de operación y procedimientos de emergencia en el cuarto de control para consulta y posible aplicación de los procedimientos en caso de

requerirse. De igual manera tener plenamente identificados cada uno de los procedimientos específicos y operaciones concretas.

3. Impartir cursos de retroalimentación al personal de operación, mantenimiento y seguridad, en los cuales se revise el contenido y alcance específico de los procedimientos existentes en la planta, con el propósito de dar una pronta y efectiva respuesta ante cualquier eventualidad de riesgo originada en alguna de las tres secciones de la unidad.
4. Establecer un monitoreo constante de las condiciones de operación de la planta de tal suerte que al menor indicio de desvío de cualquiera de las variables del proceso se investigue a fondo cual es la causa de la desviación y corregirla a la brevedad posible.
5. Efectuar periódicamente el mantenimiento preventivo y correctivo a cada uno de los equipos, dispositivos, instrumentación, etc.; de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes, poniendo cuidado en restablecer la posición de las válvulas de bloqueo, después de cualquier operación de paro o emergencia.
6. Una vez que se detecto la falla de algún equipo, dispositivo o instrumento poner en funcionamiento el de relevo (en caso de contar con dicha flexibilidad), e inmediatamente programar el mantenimiento correctivo del que fallo.
7. Efectuar el muestreo de las líneas indicadas de acuerdo al manual de operación y con la periodicidad establecida; en caso de detectar alguna desviación, determinar la causa y corregirla.
8. De cada anomalía detectada así como su solución, mantener un registro por escrito a manera de historial de fallas tanto por equipo, accesorio y área operativa.

ANEXO

LISTA DE EQUIPO
SECCION DE TRATAMIENTO DE GAS DE COLAS (TGTU)
(TGTU: TAIL GAS TREATING UNIT)

EQUIPO	DESCRIPCION Y SERVICIO
BA - 14703	QUEMADOR DEL REACTOR TGTU
GB - 14702 A / B	SOPLADORES DE AIRE
BA - 14704	CALENTADOR DE CARGA
DC - 14703	REACTOR TGTU
EA - 14706	CALDERETA
DA - 14701	TORRE DE APAGADO
FA - 14704	SEPARADOR DE SUCCION DEL SOPLADOR DE ARRANQUE GB - 14703
GB - 14703	SOPLADOR DE ARRANQUE
DA - 14702	TORRE ABSORBEDORA
EA - 14708	ENFRIADOR DE AMINA POBRE
GA - 14707 A / B	BOMBAS DE REFLUJO DE AMINA POBRE HACIA DA - 14702
GA - 14706 A / B	BOMBAS DE AMINA RICA HACIA DA - 14703
FV - 14702	FILTRO DE AMINA POBRE
FV - 14704	FILTRO DE AMINA POBRE
EA - 14709	CAMBIADOR DE CALOR DE AMINA RICA / AMINA POBRE
DA - 14703	AGOTADOR DE GASES
EA - 14710	REHERVIDOR DEL DA - 14703
EA - 14711	CONDENSADOR - ENFRIADOR DE LOS GASES DE DA - 14703
FA - 14705	ACUMULADOR - SEPARADOR DE LOS CONDENSADOS DE EA - 14711
GA - 14708 A / B	BOMBAS DE REFLUJO DEL FA - 14705 HACIA DA-14703 Y FA - 14605
UM - 14701	INCINERADOR / CHIMENEA DE LOS GASES RESIDUALES

EQUIPO DE LA SECCION DE REACCION

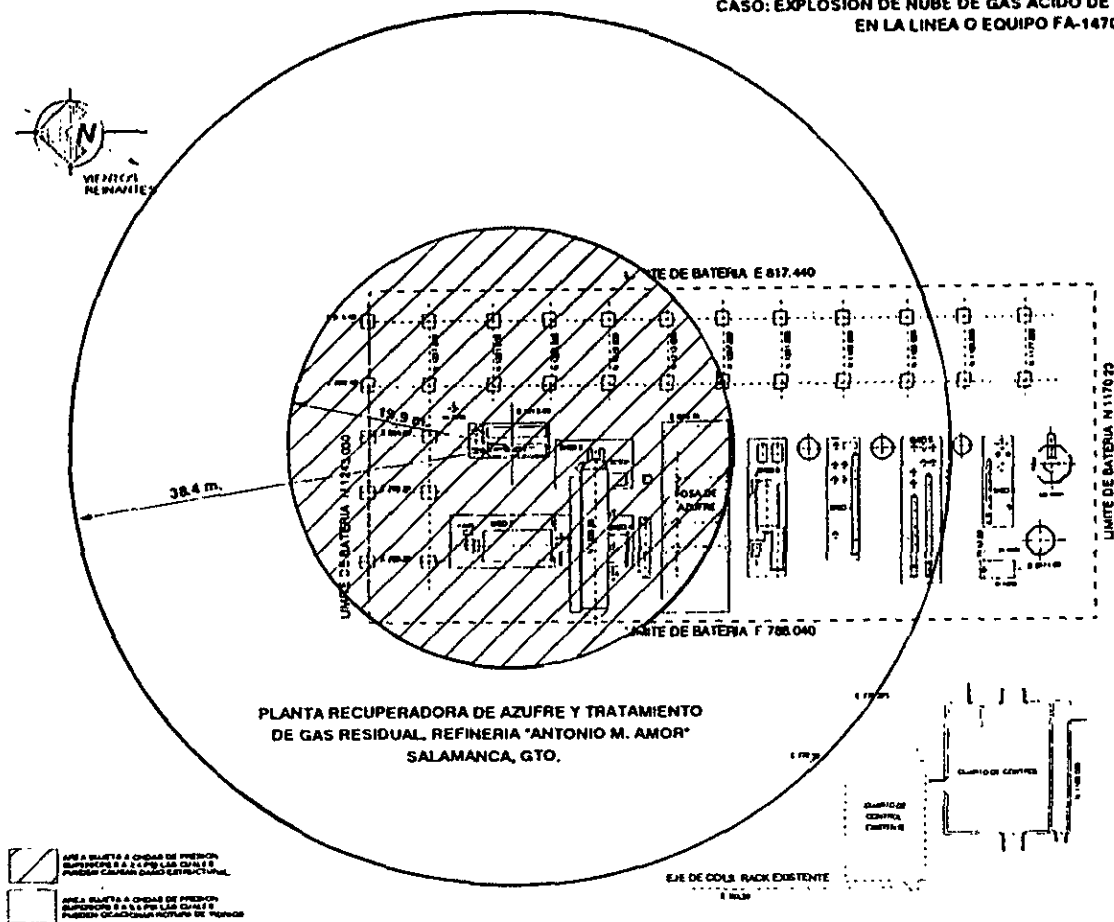
14701 FA -	SEPARADOR DE GAS ACIDO
GA - 14701 A / B	BOMBAS DE AGUA AMARGA DEL FA - 14701
FA - 14702	SEPARADOR DE GAS ACIDO AMONICAL
GA - 14710	BOMBAS DE AGUA AMARGA DE DA - 14702 HACIA EL TQ.FA - 14605
BA - 14701	PRECALENTADOR - CONDENSADOR DE AZUFRE
GB - 14701 A / C	SOPLADORES DE AIRE PARA LA PLANTA DE AZUFRE
DC - 14701	REACTOR TERMICO
EA - 14701, 2,3	CAMBIADORES DE CALOR DE RECALENTAMIENTO DE AZUFRE
DC - 14702	REACTOR CATALITICO, TRES CAMAS
SE - 14702,3	PIERNAS DE SELLO DE AZUFRE
EA - 14704	CONDENSADOR FINAL DE AZUFRE
EA - 14705	CONDENSADOR DE VAPORES DE AZUFRE DEL EA - 14704
SE - 14701	FOSA DE AZUFRE
GA - 14704A	BOMBA DE CARGA DE AZUFRE LIQUIDO
SE - 14706	EDUCTOR DE VAPORES DE AZUFRE HACIA EL INCINERADOR

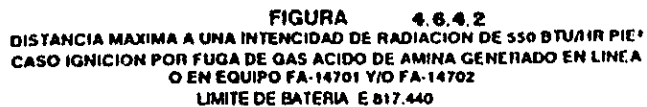
DIAGRAMAS DE TUBERIA E INSTRUMENTACION

D - 12 - 14700 - 201	RECUPERADOR DE AZUFRE, SECADORES Y TGTU
D - 12 - 14700 - 202	RECUPERADOR DE AZUFRE, SOPLADORES DE AIRE Y TGTU
D - 12 - 14700 - 203	RECUPERADOR DE AZUFRE, CONTROL DEL AIRE DE COMBUSTION Y TGTU
D - 12 - 14700 - 204	RECUPERADOR DE AZUFRE, REACTOR TERMICO Y TGTU
D - 12 - 14700 - 205	RECUPERADOR DE AZUFRE, REACTOR CATALITICO/QUEMADOR DE AZUFRE/RECALENTADOR Y TGTU
D - 12 - 14700 - 206	RECUPERADOR DE AZUFRE, CONDENSADOR FINAL Y TGTU
D - 12 - 14700 - 207	RECUPERADOR DE AZUFRE, FOSA DE AZUFRE Y TGTU
D - 12 - 14700 - 208	RECUPERADOR DE AZUFRE, SOPLADORES DEL GAS DE COLAS Y TGTU
D - 12 - 14700 - 209	RECUPERADOR DE AZUFRE, CALENTADOR DE LA ALIMENTACION DEL GAS DE COLAS Y TGTU
D - 12 - 14700 - 210	RECUPERADOR DE AZUFRE, REACTOR TGTU Y TGTU
D - 12 - 14700 - 211	RECUPERADOR DE AZUFRE, INTERCAMBIADOR DE CALOR DEL GAS RESIDUAL DE COLAS Y TGTU

FIGURA

4.6.41 DISTANCIA MAXIMA A UNA SOBREPRESION DE 2.4 Y 0.5 PSI
CASO: EXPLOSION DE NUBE DE GAS ACIDO DE AMINA GENERADA POR FUGA
EN LA LINEA O EQUIPO FA-14701 Y/O FA-14702





**AREA SUJETA A RADIACION DE 550 BTU/HR PIE²
EN CASO DE UN CAMBIO DE DIRECCION DEL VIENTO**

EJE DE COLS. RACK EXISTENTE

E 703 20

E 712 30

E 370 925

CLAUDE DE
CONTINOL
EXISTENTE

CUARTO DE CONTROL

0011 0011 0011

FIGURA 4.6.4.3
DISTANCIA MAXIMA DE UNA SOBREPRESION DE 2.4 Y 0.5 PSIG
EXPLOSION DE NUBE DE HIDROGENO GENERADA POR FUGA EN LINEA O EQUIPO BA-14704
LIMITE DE BATERIA E 817 440

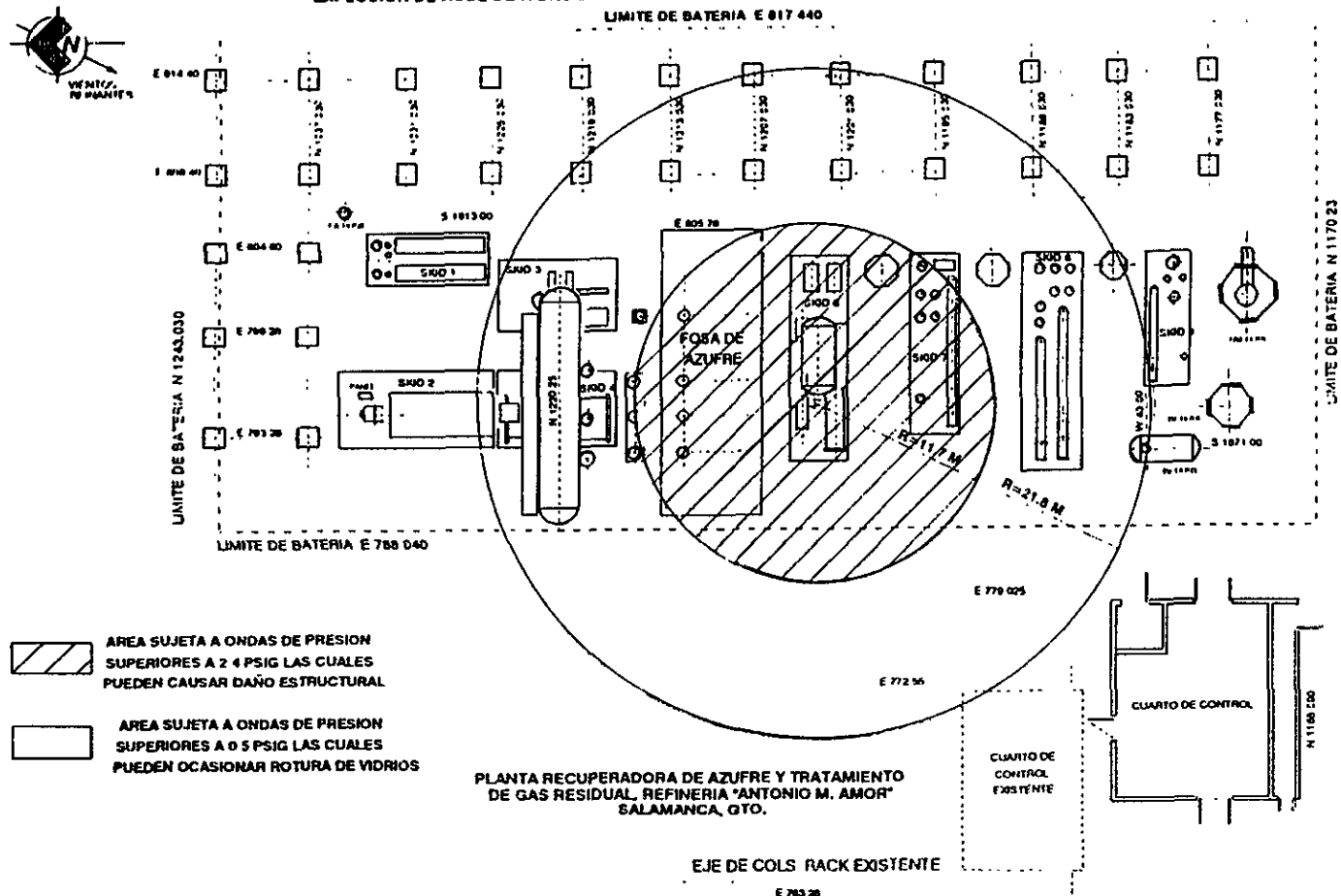


FIGURA 4.6.4.4

DISTANCIA MAXIMA A UNA INTENSIDAD DE RADIACION DE 550 BTU/HR PIE²
CASO IGNICION RETRASADA DE UNA NUBE DE HIDROGENO GENERADA POR FUGA
EL LINEA O EQUIPO BA-14704

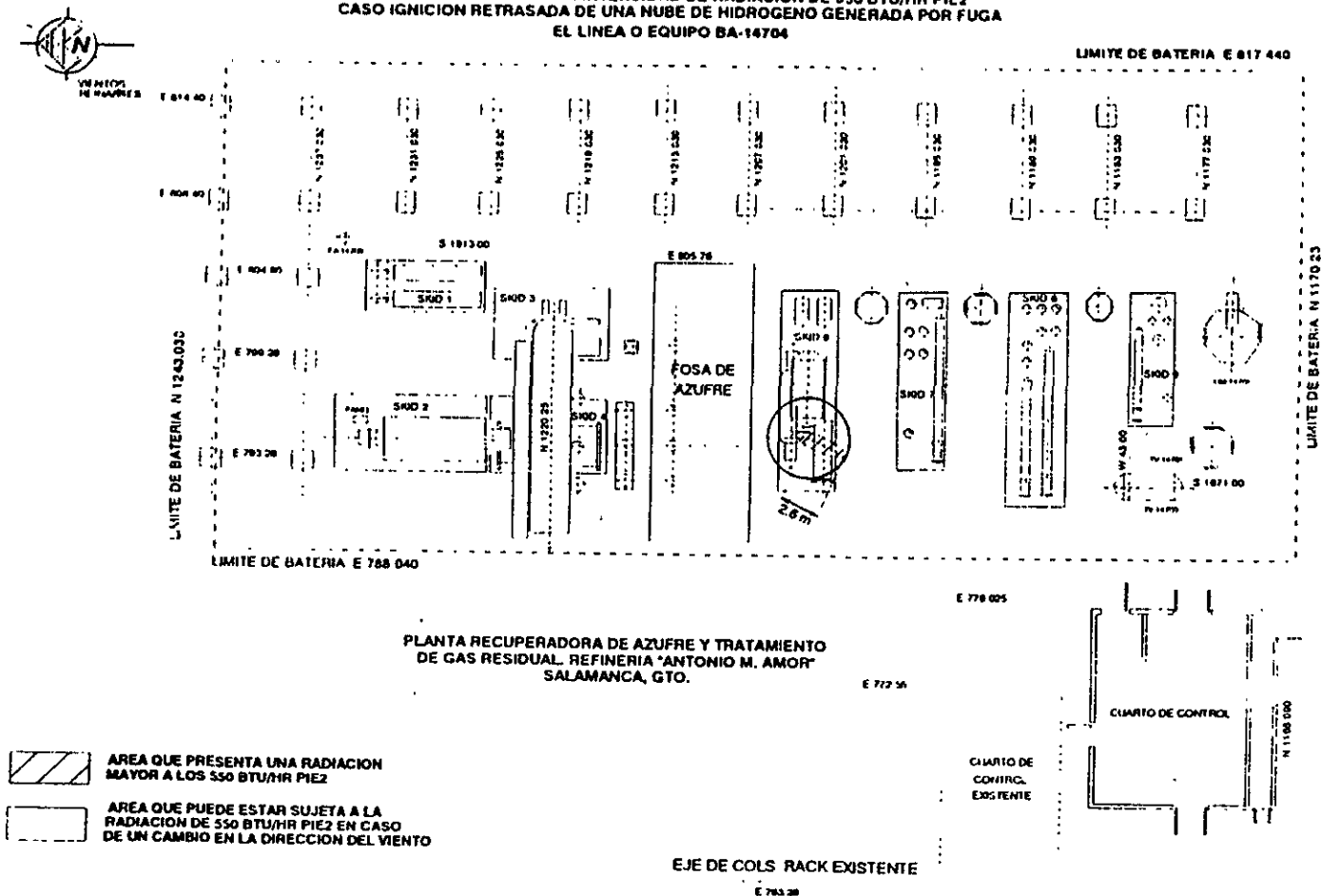
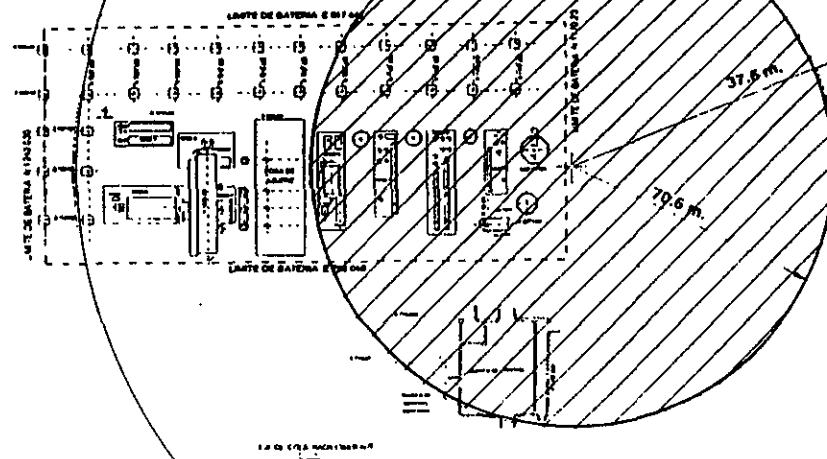
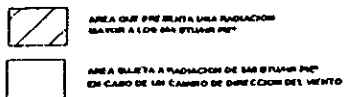


FIGURA No. 4645
DISTANCIA MAXIMA A UNA SOBREPRESION DE 2.4 Y 0.5 PSI
CASO EXPLOSION DE NUBE DE GAS COMBUSTIBLE GENERADA
POR FUGA EN LINEA Y/O INCINERADOR UM-14701

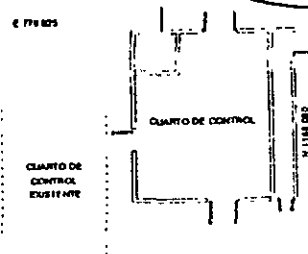
PLANTA RECUPERADORA DE AZUFRE Y TRATAMIENTO
DE GAS RESIDUAL, REFINERIA "ANTONIO M. AMOR"
SALAMANCA, GTO.

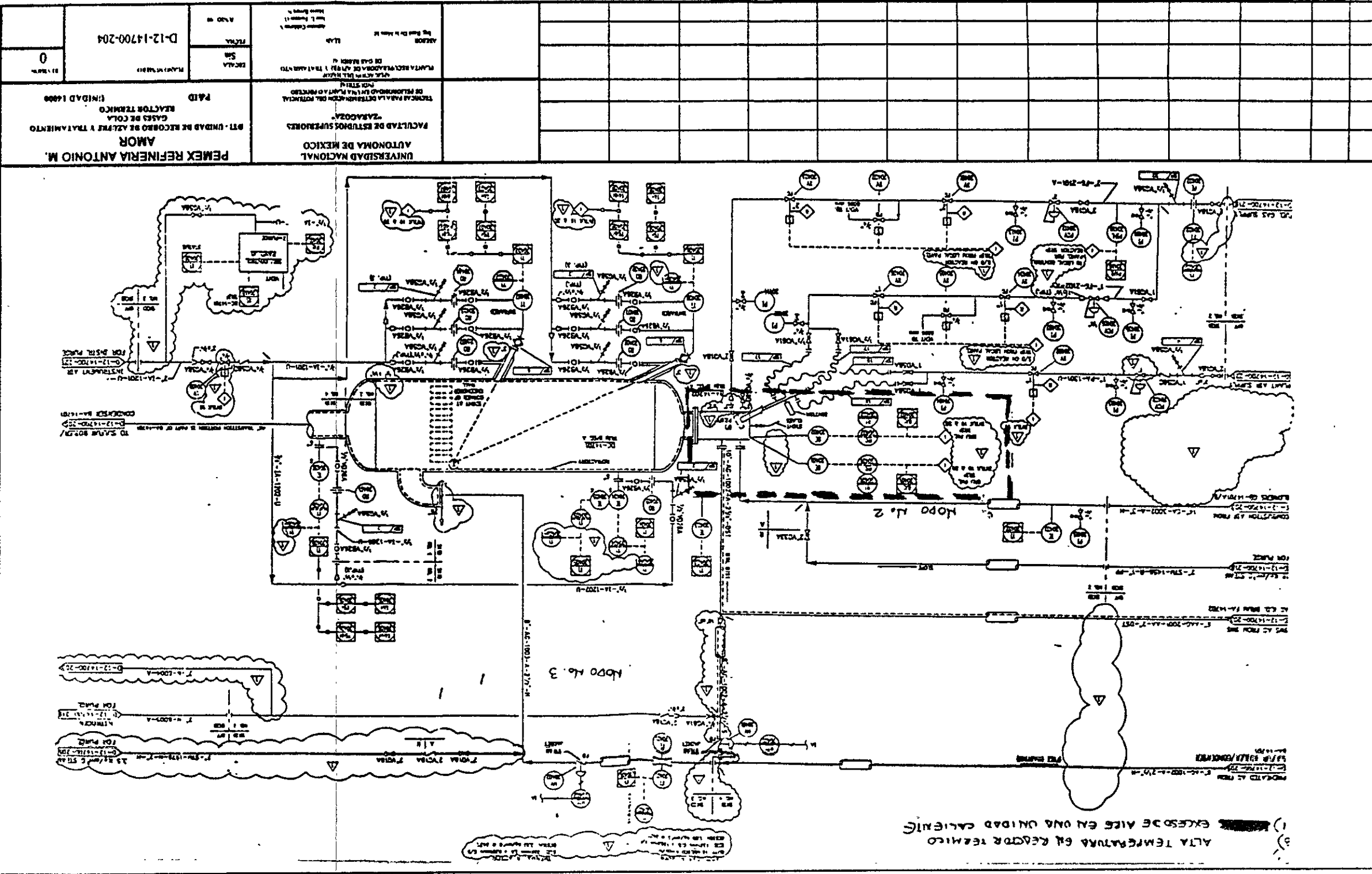


-  AREA SUJETA A OMBROS DE PRESION SOBREPRESION 2.4 Y 0.5 PSI LAS CUALES PUEDEN OCASIONAR DAÑO ESTRUCTURAL
-  AREA SUJETA A OMBROS DE PRESION SOBREPRESION 2.4 Y 0.5 PSI LAS CUALES PUEDEN OCASIONAR FUERZA DE VIBRACION

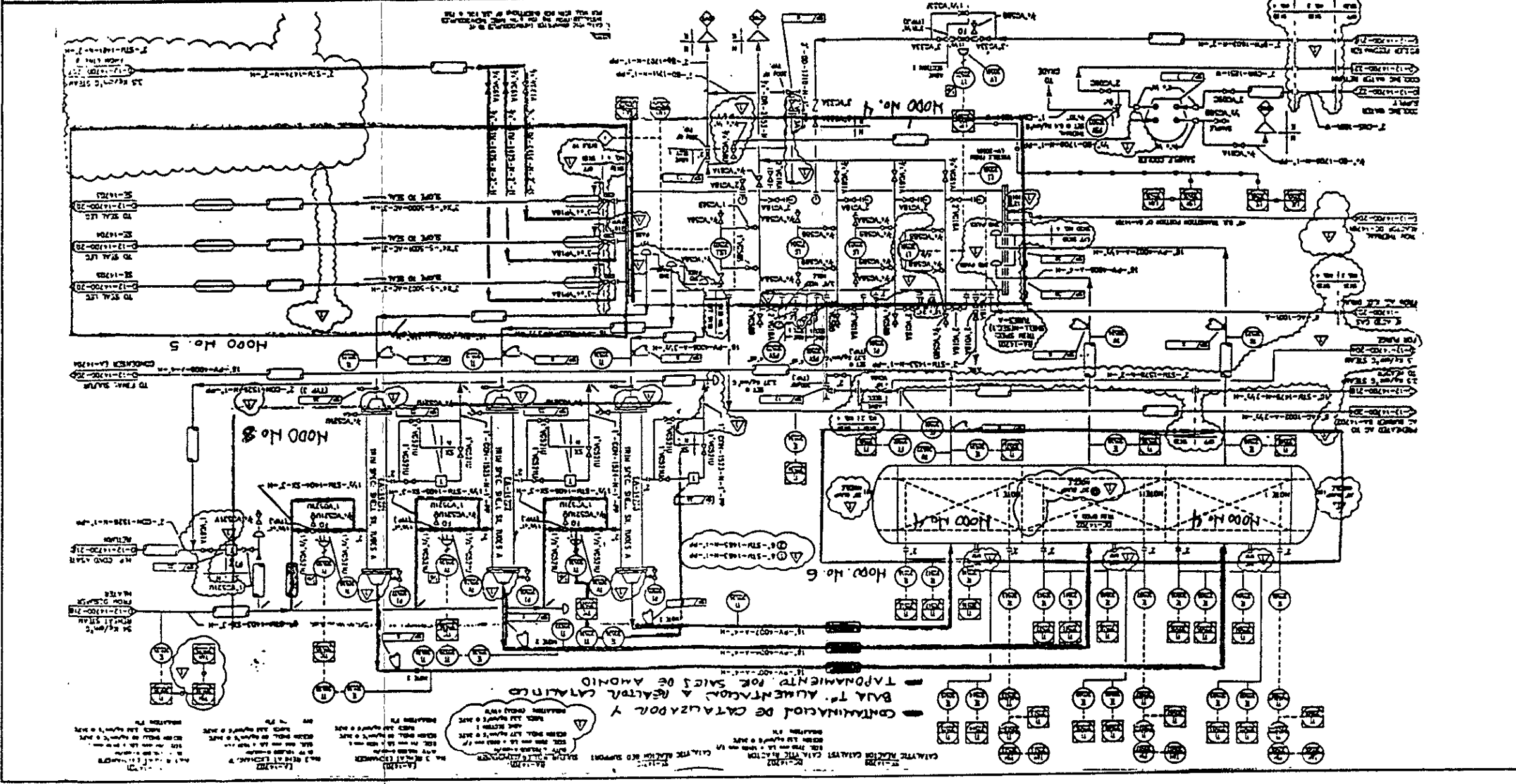


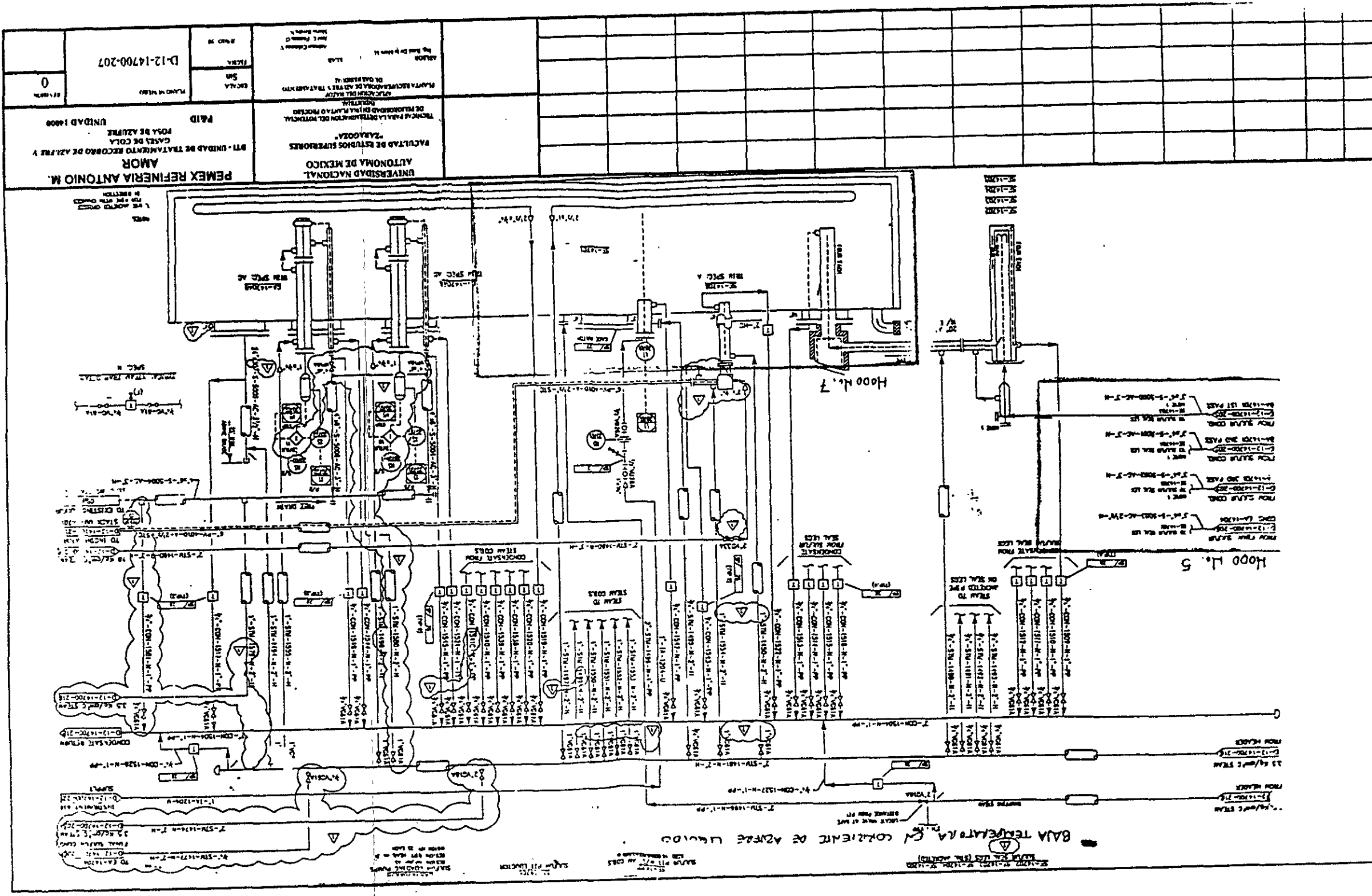
EJE DE COLS RACK EXISTENTE



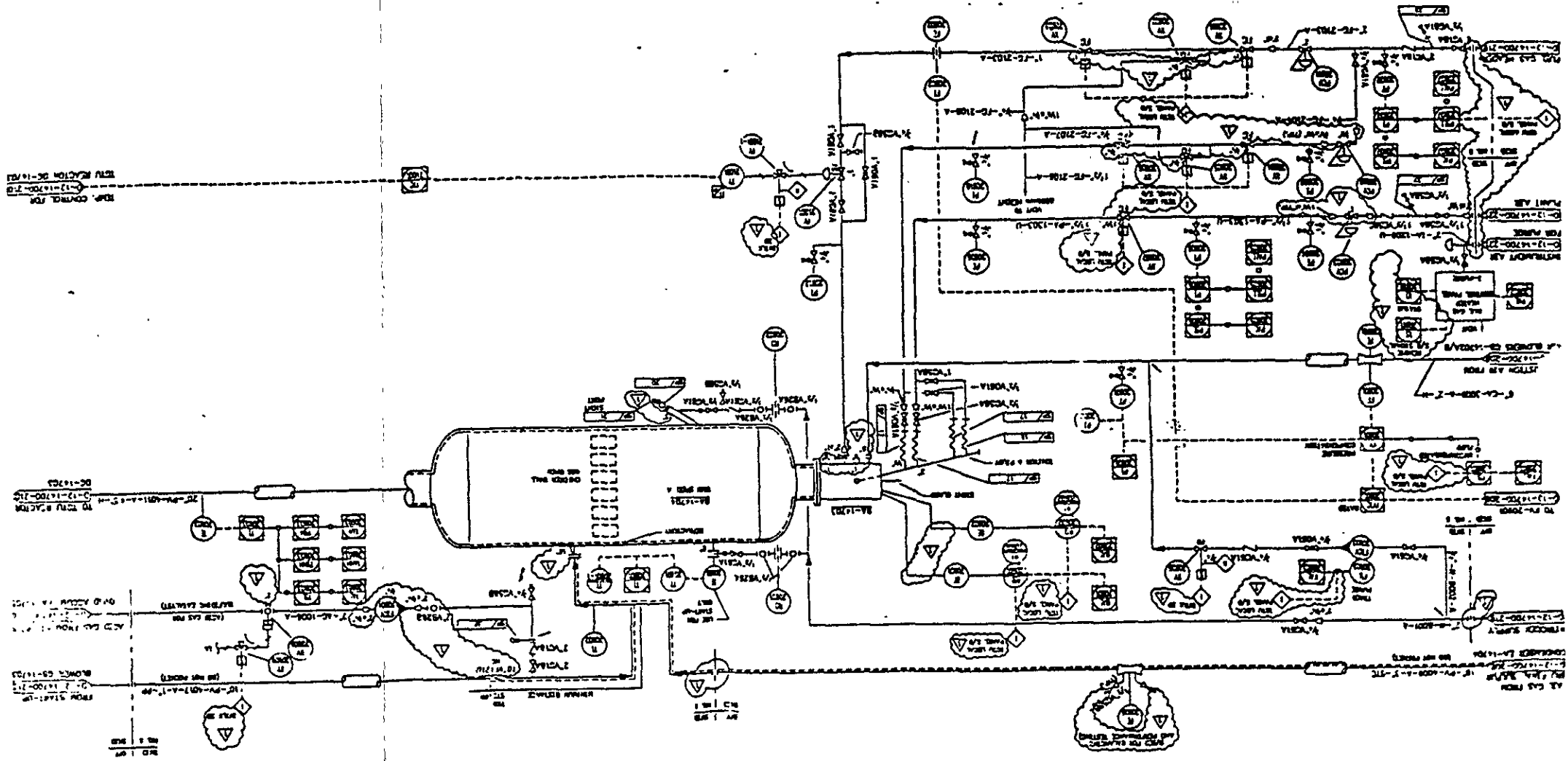


0	D-12-14700-205	PLAN 11-11-11	UNIDAD 14000	UNIDAD 14000	
PEMEX REFINERIA ANTONIO M. AMOR	UNIDAD 14000	UNIDAD 14000	UNIDAD 14000	UNIDAD 14000	

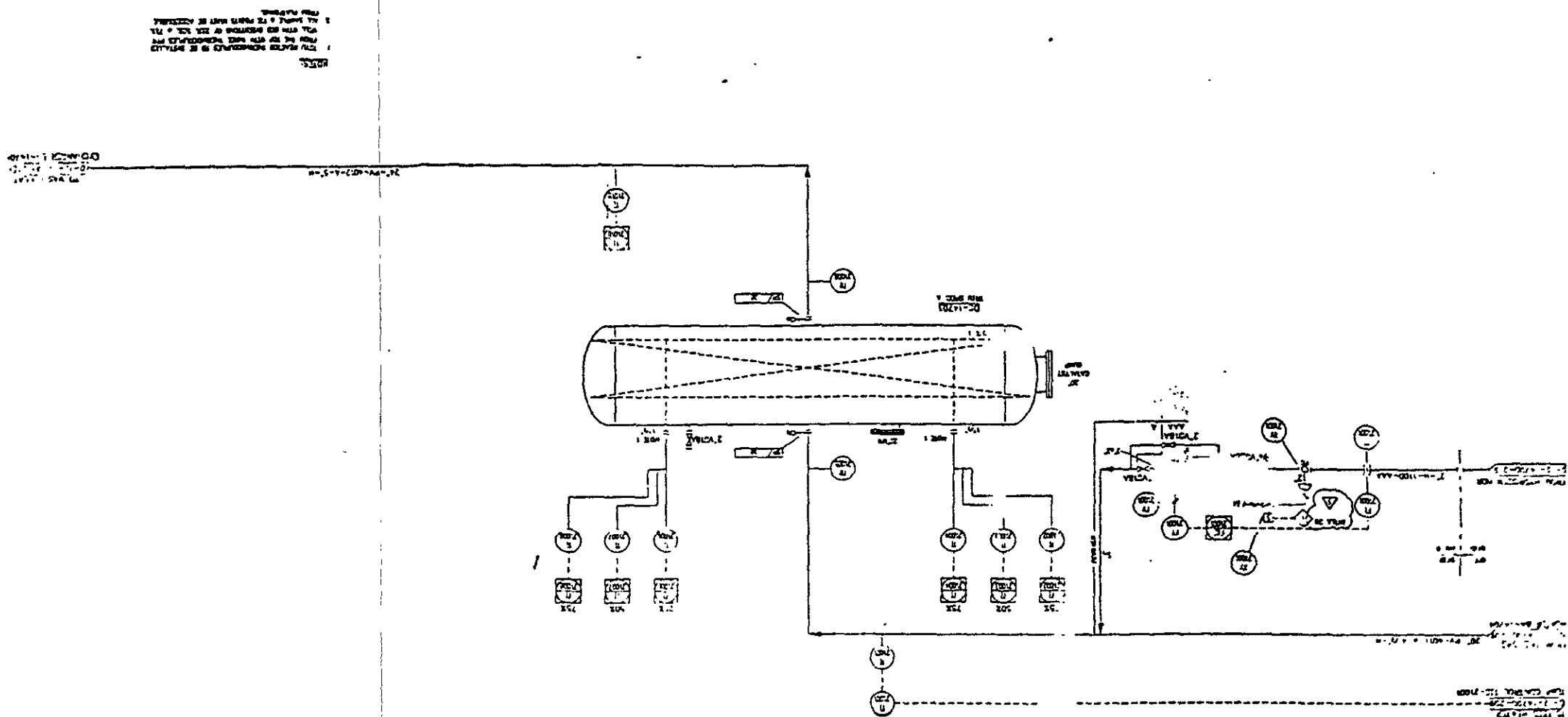




PEMEX REFINERIA ANTONIO M. AMOR	BTT - UNIDAD DE TRATAMIENTO RECORSO DE AZULRE Y ALIMENTACION AL CALENTADOR DE CAS RECIPIAL	UNIDAD 14000	PAID	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"	TECNICA PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD DEL PLANTAS O PRODUCTO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



PEMEX REFINERIA ANTONIO M. AMOR BPT - UNIDAD DE TRATAMIENTO SECUNDO DE AZÚCAR Y CALES DE COCA REACTOR TCTU PAID UNIDAD 14000	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES AUTONOMA DE MEXICO TRINIDAD DE POSGRADO EN LA PLANTAS Y POTENCIAL DE INVESTIGACION ALGUNAS DE LAS ACTIVIDADES DE LA PLANTAS Y POTENCIAL DE INVESTIGACION	ASISTENTE DE LA PLANTAS Y POTENCIAL DE INVESTIGACION DE LA PLANTAS Y POTENCIAL DE INVESTIGACION	D-12-14700-210 PLANOS DE LA PLANTAS Y POTENCIAL DE INVESTIGACION	0



CONCLUSIONES

Dado que existe una gran variedad de metodologías para la evaluación de peligros es necesario determinar los alcances del estudio como primera instancia; dando la pauta para la selección de la metodología.

Una comparación de todas las técnicas analizadas demuestra que el HAZOP presenta una mayor flexibilidad, puesto que puede aplicarse al proceso en forma global o puede ser tan específico como para aplicarse a una sola unidad. Además de que no se requiere de información tan compleja como por ejemplo en el árbol de fallas que es una técnica muy elaborada y que solamente aplica a procesos complejos.

Dentro del análisis puede recomendarse para la aplicación de las técnicas los siguientes puntos:

- 1) Delimitar el área a los alcances del estudio
- 2) Contemplar la información disponible y que además debe ser actualizada
- 3) La complejidad-flexibilidad de la técnica

Por otra parte, dado que en México no se ha establecido formalmente la normatividad en materia de riesgo ambiental, la selección y aplicación de la

técnica debe de realizarse de acuerdo a los puntos antes mencionados y considerando el cumplimiento de los reglamentos existentes.

En la aplicación de la técnica se hace recomendable utilizar un simulador. Como apoyo, con el propósito de determinar las condiciones que al prevalecer pudieran generar un evento no deseado. Además de determinar la vulnerabilidad de la zona, así como los recursos (humanos y materiales) necesarios para la prevención, la atención y la restauración de las áreas afectadas de acuerdo con la estimación de la magnitud de las consecuencias.

BIBLIOGRAFIA

1. Andrews P. Lori. Emergency Responder Training. Manual for the Hazardous Material Technician. Van Nostrand Reinhold. New York. 1992.
 2. Atlas Nacional de riesgos. Dirección general de protección civil. Subsecretaría de gobernación. México. 1991.
 3. Barlow. E. Richard, Fussell Nozer D.Singpurwalla. Reliability and Fault Tree Analysis. Teorical and Aplied Aspects of System Reliability and Safety Assessment. Society for industrial and aplied mathematics. 1975.
 4. Basle Switselan. Safety in chemical production proceedings of the first IUPAC workshop on safety in chemical production. Edited by J. Whiston group safety manager. ICI. London 1990.
 5. Bhopal methyl isocyanate incident. Investigation team report. Union Carbide Corporation. March. 1985.
 6. Buschart j. Richard. Electrical and instrumentation safety for chemical process. Van Nostrand Reinhold. New York. 1992.
 7. Butron Silva Arturo. Curso estudio de riesgos y operabilidad. División de educación continua. Facultad de ingeniería. U.N.A.M. 1991.
 8. Campos Huttich Ricardo. Guía para la evaluación de la seguridad e higiene en las empresas, Universidad Autonoma del Estado de México. Abril. 1992.
 9. Control de riesgos de accidentes mayores. Oficina del trabajo de Ginebra. Alfaomega. México. 1990.
 10. Chemtrec. Guide to chemical hazards. Deparment of transportation for use by first responders. U.S.A. 1992.
-

11. Evaluación y manejo de riesgos. Sistema para la toma de decisiones. E.P.A. Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos de America. Traducción centro panamericano de ecología humana y salud. Metepec Estado de México. 1992.
 12. Gangadharan A.C., Bandarinathan V.G, Reddy D.V. Guide to reliability engineering. Van Nostrand Reinhold. New York. 1991.
 13. Greenberg Harris r., Cramer J. Joseph. Risk assessment and risk management for the chemical process industry. Van Nostran Reinhold. New York. 1991.
 14. Guidelines for hazard evaluation procedures. Publications available from center for chemical process safety of the American Institute of Chemical Engineers. New York. 1992.
 15. Henley j. Ernest, Kumamoto Hiromitsu. Reliability engineering and risk assessment. Prentice Hall. U. S. A. 1981.
 16. I .Chem. Eng. Symposium. Series No. 110.B.f. street.
 17. Incendios y explosiones. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. Comité civil de emergencia. U.A.M. 1987.
 18. Kletz Trevor A. What went wrong?. Case histories of process plant disasters. Gulf publishig company. Houston. 1989.
 19. Klip M. abraham. Curso eliminación de peligros potenciales en procesos quílicos. Noviembre , 1985.
 20. L. Makris James. Hazardous material emergency planning guide. National response team. March. 1987. Report oil and chemical spill toll free.
-

21. La prevención de los desastres en México. Centro nacional de prevención de desastres. Fascículo 1. Enero. 1990.
 22. Manual de protección civil. Protección civil del estado de México. ¿Qué hacer en caso de incendio, fuga, riesgos tóxicos?.
 23. Manual del instituto nacional de control total de perdidas. S.A. de C.V. 1992.
 24. Miranda Jimeno Maria Guadalupe. Apuntes de análisis de riesgo para la seguridad en el laboratorio. Enero. 1996.
 25. Niosh pocket to chemical hazards. U.S.A. department of health and human services. Public health service center for disease control national institute for occupational safety and health. June. 1990.
 26. Ramos padilla Violeta. Incendios. Centro nacional de prevención de desastres. 1990.
 27. Risk analysis emergency management institute. Federal emergency management agency national emergency training center. September. 1990.
 28. Silano Vittorio. Evaluación de riesgos para la salud pública asociados con accidentes causados por agentes químicos. Departamento de toxicología comparativa. EPA. 1985.
 29. Technical guidance for hazards analysis. Emergency planning for extremely hazardous substances. U.S.A. environmental protection agency federal emergency. Department of transportation. December. 1987.
 30. Tinoco S. Ildelfonso. Curso de Ingeniería en prevención de riesgos en instalaciones y procesos industriales. Noviembre. 1995.
-

31. The mond index and Dow index. How to identify assess and minimise potential hazards on chemical plant units for new and existing processes published by Imperial Chemical Industries PLC; Explosion hazards section tecnical deparment winninton northwich cheshire Cw84DJ. Second edition. 1985

Articulos

32. Bien. Boletín de investigación educación y sus nexos, Vol.2. No.2. 1995. U.N.A.M Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.
33. Conozca más. Año1. No.3. México. Siniestros. p.p. 34-37.
34. E. webb Henry. Chemical engineering. August 1. 1977. What to do when disaster strikes. p.p. 47-57.
35. E. Cocks Richard. Chemical engineering. November 5. 1979. Dust explosions prevention and control. Vol.86. no.24.
36. Kletz Trevor a. Chemical engineering. April 12. 1976. Preventing catastrophic accidents. P.p 124-128.
37. Kletz Trevor A. Chemical engineering progress. September. 1976. Athree pronged aproach to plant modification. Vol. 10.
38. Kletz Trevor A. Chemical engineering. April 1. 1985.Eliminating potential process hazard.
39. Goyal R.K. Hidrocarbon processing. May. 1993. FMEA the alternative process hazard method.
40. P.C. El riesgo en la industria. Mayo. 1995. p.p.22-29.
41. Información científica y tecnológica. Consejo nacional de ciencia y tecnologia. Desastres y prevención civil. p.p.9-22.
-

42. Instalaciones revista de ingeniería. Marzo/ Abril. 1996. Introducción al estudio conceptual del riesgo. p.p.50-54.

43. Muy interesante. Año XIII.No.7. México. Cuanto cuestan las grandes catástrofes. p.p. 68-72.

44. Seguridad industrial. Año XXXI. Vol.12. Aplicación de los árboles de fallas para el análisis de seguridad de procesos en la industria química.