



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

**"METODOLOGIAS PARA LA ELABORACION DE ESTUDIOS
DE ANALISIS DE RIESGO EN INSTALACIONES DE
ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION DE
PRODUCTOS DESTILADOS"**

T E S I S :

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO**

**P R E S E N T A :
HUMBERTO GONZÁLEZ MALDONADO**

**ASESORES: M. EN C. RICARDO P. HERNANDEZ GARCIA
ING. GABRIEL MORALES URDIALES.**

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx. 1997

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLÁN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:
"Metodologías para la Elaboración de Estudios de Análisis de Riesgo
en Instalaciones de Almacenamiento y Distribución de Productos
Destilados".

que presenta el pasante: Humberto González Maldonado
con número de cuenta: 8019654-5 para obtener el TÍTULO de:
Ingeniero Químico

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlán Izcalli, Edo. de Mex., a 15 de Octubre de 1996.

PRESIDENTE	I.O. Fernando Orozco Ferrera	
VOCAL	M.en C. Eligio Pastor Rivero Martínez	
SECRETARIO	M.en C. Ricardo P. Hernández García	
PRIMER SUPLENTE	I.O. Gilberto Atilano Amaya Ventura	
SEGUNDO SUPLENTE	I.O. Ma. Elena Quiroz Macías	

A mi Madre

A Mises of Guadalupe

ÍNDICE

	<u>Página</u>
I.- Introducción.	1
I.1.- Marco legal de los estudios de análisis de riesgos.	2
I.2.- Importancia de las instalaciones de almacenamiento y distribución de productos destilados.	4
Bibliografía	7
II.- Modalidades de estudios de análisis de riesgos.	8
II.1.- Análisis comparativo de las guías para elaboración de estudios de análisis de riesgos.	8
III.- Descripción, análisis y desarrollo de los conceptos involucrados en los estudios de análisis de riesgos.	10
III.1.- Datos generales.	10
III.2.- Descripción general del proyecto.	11
III.2.1.- Proyecto.	11
III.2.2.- Lugar.	11
III.2.3.- Programación.	13
III.3.- Aspectos del medio natural y socioeconómico.	15
III.3.1.- Medio natural.	15
III.3.2.- Aspecto socioeconómico.	16
III.4.- Diseño del proceso.	17
III.4.1.- Descripción histórica del proceso.	18
III.4.2.- Descripción detallada de la selección de la ingeniería básica del proceso.	19
III.4.3.- Características de los materiales involucrados en el proceso.	19
III.4.3.1.- Características termodinámicas del proceso.	19
III.4.3.2.- Características de diseño y operativas de los equipos de alto riesgo.	20
III.4.3.3.- Descripción de la cinética de las reacciones normales y anormales.	20
III.4.3.4.- Descripción detallada de la planta piloto.	20
III.4.3.5.- Diagrama de flujo del proceso y balance de materia y energía.	21
III.4.3.6.- Descripción detallada del equipo básico del proceso.	21
III.4.3.7.- Tipo y cantidad de sustancias riesgosas.	21
III.4.4.- Arreglo general de la planta	21
III.4.5.- Diseño mecánico.	21
III.4.6.- Diseño del servicio.	22

	<u>Página</u>
III.4.7.- Diseño civil y estructural.	23
III.4.8.- Diseño de la instrumentación.	24
III.4.9.- Diseño de los sistemas de control de accidentes.	24
III.4.10.- Sistemas contraincendio.	25
III.5.- Auditorías de seguridad.	25
III.6.- Transporte.	27
Bibliografía	29
IV.- Análisis y evaluación del riesgo.	30
IV.1.- Marco histórico.	32
IV.2.- Administración del riesgo	33
IV.3.- Identificación del riesgo.	36
IV.3.1.- Métodos por experiencia	38
IV.3.1.1.- Investigación de accidentes / incidentes.	38
IV.3.1.2.- Publicaciones de seguridad.	39
IV.3.1.3.- Listas de verificación.	39
IV.3.1.4.- ¿ Qué pasa si.....?	41
IV.3.2.- Métodos analíticos.	43
IV.3.2.1.- Árbol de fallas.	43
IV.3.2.2.- Árbol de eventos.	47
IV.3.3.- Métodos creativos.	49
IV.3.3.1.- Estudios de riesgo y operabilidad (HAZOP).	49
IV.3.4.- Jerarquización de eventos o Técnicas de Clasificación Relativa.	52
IV.3.4.1.- Índice Dow para fuego y explosión.	55
IV.3.4.2.- Índice Mond para fuego, explosión y toxicidad.	62
IV.4.- Evaluación de consecuencias.	73
IV.4.1.- Evaluación de la vaporización del fluido.	74
IV.4.2.- Evaluación de la dispersión del vapor.	79
IV.4.2.1.- Dispersión de un gas liberado en forma masiva e instantánea.	87
IV.4.2.2.- Dispersión de un gas o vapor proveniente de una fuga o derrame de un líquido que se evapora.	90
IV.4.3.- Evaluación del fuego.	93
IV.4.3.1.- Llamaradas (Flash fires).	94
IV.4.3.2.- Bolas de fuego (Fireball).	97
IV.4.3.3.- Cálculo de radiación térmica.	104
IV.4.3.4.- Fuego en charcos.	108

	<u>Página</u>
IV.4.4.- Evaluación de explosión.	112
IV.4.4.1.- Cálculo de nubes explosivas.	114
Bibliografía	118
V.- Desarrollo prototipo.	120
V.1.- Identificación de riesgo.	122
V.2.- Modelación del evento máximo.	124
Bibliografía	128
VI.- Conclusiones y recomendaciones.	129
VII.- Anexos.	
1.- Evaluación de estudios de riesgo requeridos a empresas de alto riesgo por la PROFEPA.	
2.- Procedimiento de evaluación de estudios de riesgo vía Impacto Ambiental.	
3.- Regionalización de las ventas de productos petrolíferos.	
4.- Guía para la elaboración del Informe Preliminar de Riesgo.	
5.- Guía para la elaboración del estudio de riesgo, Modalidad Análisis de Riesgo.	
6.- Guía para la elaboración de estudios de riesgo, Modalidad Análisis Detallado de Riesgo.	
7.- Guía para la elaboración de estudios de riesgo, Modalidad Análisis de Riesgo para Ductos.	
8.- Hoja de seguridad de los materiales involucrados en el proceso.	
9.- Diagrama de flujo de proceso de la planta de almacenamiento y distribución de productos destilados.	
10.- Lineamientos para la elaboración de los programas para la Prevención de Accidentes.	
11.- Lista de Verificación para la seguridad del proceso.	
12.- Tablas.	

CAPÍTULO I.- INTRODUCCIÓN

I.- INTRODUCCIÓN.

A principios de los años 60's, se iniciaron una serie de avances tecnológicos que dieron como resultado grandes cambios en la industria química, petroquímica y petrolera

Muchos factores están involucrados en estos cambios; las condiciones de operación como la presión y la temperatura son más severas; la energía involucrada en los procesos ha aumentado; a su vez las plantas han aumentado de tamaño en forma considerable, teniendo ahora procesos continuos con gran interrelación de plantas, lo que ha provocado que el almacenamiento de productos intermedios se haya reducido drásticamente, sin embargo, el almacenamiento de productos finales se ha incrementado considerablemente por necesidades de mercado.

Los factores antes mencionados han dado como resultado un incremento en el potencial de pérdidas, tanto humanas como económicas. Estas pérdidas pueden ocurrir de varias formas, las más comunes son por accidentes, tales como los incendios, explosiones o emisiones tóxicas¹⁾.

Como muestra del incremento en el riesgo de las instalaciones, se han tenido graves accidentes como fueron la explosión e incendio de las instalaciones de almacenamiento de gas L. P. en San Juan Ixhuatepec, Edo. de Mex. (1984); y la explosión del colector de drenajes en Guadalajara, Jal. (1992). Estas situaciones, aunadas a una mayor conciencia ecológica de la población, han obligado a las autoridades a implementar una legislación adecuada en materia de impacto ambiental, para prevenir, en la medida de lo posible, la emisión de contaminantes y la incidencia de accidentes en instalaciones de alto riesgo.

Este trabajo tiene como finalidad plantear las metodologías y sus áreas de aplicación, para elaborar de manera adecuada los estudios de análisis de riesgos de instalaciones que almacenan y distribuyen productos destilados (gasolinas y diesel), y de esta forma optimizar la operatividad de las instalaciones antes de su puesta en marcha, así como definir la franja de seguridad entre las instalaciones y su entorno.

Para cumplir con este propósito, el presente trabajo se elaborará bajo el siguiente contexto. En el capítulo I se planteará el marco legal bajo el cual se deberán elaborar los estudios de análisis de riesgos, como un complemento de las manifestaciones de impacto ambiental. También se realizará la importancia que tienen las instalaciones de almacenamiento y distribución de productos destilados para el desarrollo económico del país. En el capítulo II se mostrarán las modalidades de estudios de análisis de riesgos, que de acuerdo al riesgo inherente de la instalación se deberán presentar ante el Instituto Nacional de Ecología perteneciente a la SEMARNAP (Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca). En el capítulo III se hará un análisis desglosado de los conceptos que deben ser cubiertos de acuerdo a los requerimientos gubernamentales. En el concepto de "Datos generales" se indicará la información general sobre la empresa que presentará el estudio ante SEMARNAP. En el concepto "Descripción del proyecto" se manifestará información sobre el objetivo de la planta, su ubicación, accesos y planes de contratación de personal entre otros; se indicarán además sus anexos mínimos requeridos. En el concepto "Aspectos del medio natural y socioeconómico" se indicará la descripción del entorno natural y social de la instalación, así como los riesgos por contingencias ambientales y geológicas. En el concepto "Diseño del proceso" se indicará la justificación sobre el proceso seleccionado; y las características de los materiales involucrados en el proceso; se identificarán los riesgos del proceso y se detallará sobre el diseño mecánico, civil, instrumentación y sistemas contra incendios. En el concepto "Auditorías de seguridad" se indicarán los requerimientos para evaluar las auditorías de seguridad de la instalación, así como la descripción de las medidas de abatimiento y prevención del riesgo. En el concepto "Transporte" se indicará la normatividad y planes de contingencia que se deberán contemplar para el transporte de los productos. En el capítulo IV se plantearán las metodologías existentes para identificar, jerarquizar, evaluar y modelar los riesgos. En el capítulo V se elaborará un prototipo de análisis de riesgos enfocado a instalaciones de almacenamiento y distribución de productos destilados. En el capítulo VI se indicarán las conclusiones del trabajo. En el capítulo VII se incluirán los anexos involucrados.

1.1.- Marco legal de los estudios de análisis de riesgos.

Considerando que la prevención y el control de los desequilibrios ecológicos y el deterioro del ambiente son indispensables para preservar los recursos naturales, el 1° de marzo de 1988 entró en vigor la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente⁽²⁾; dentro de sus objetivos se encuentra definir los principios de la legislación ecológica y regular los instrumentos para su aplicación.

Uno de los instrumentos más eficaces para la aplicación de la legislación ecológica es la evaluación del impacto ambiental de las obras o actividades públicas o privadas que puedan causar desequilibrios ecológicos o rebasar los límites y condiciones señaladas en la ley ecológica.

Para asegurar la correcta aplicación de las disposiciones legales en materia de evaluación de impacto ambiental, se expidió el reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Impacto Ambiental⁽²⁾, mismo que entró en vigor el 8 de julio de 1988.

El estudio de impacto ambiental es un instrumento de planeación, que genera un documento cuya finalidad es identificar, evaluar y establecer los posibles impactos que se puedan causar al ambiente, como consecuencia del desarrollo de un proyecto en cualquiera de sus fases, ya sea de construcción, operación, eventos extraordinarios y abandono de obra.

Asimismo, el estudio de impacto ambiental facilita la toma de decisiones sobre las alternativas técnicas de ubicación y diseño del proyecto, de tal manera que se logre una compatibilidad y armonía con el medio ambiente.

En la industria petrolera se realizan dos tipos de estudios de impacto ambiental:

- los requeridos para proyectos de nueva creación, ampliaciones, modificaciones o rehabilitaciones, que de acuerdo a la SEMARNAP serán estudios de impacto ambiental en su modalidad
 1. General.
 2. Intermedia
 3. Específica.

- también se realizan estudios de impacto ambiental en instalaciones existentes, con objeto de tener un conocimiento exacto de la interrelación entre las plantas y su entorno. Estos estudios sólo se realizan en la modalidad general de impacto ambiental.

El artículo 32 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al ambiente, establece que la manifestación de impacto ambiental deberá ir acompañada de un estudio de riesgo, cuando se considere que conlleva alto riesgo. Por otra parte en el artículo 6° del reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Impacto Ambiental, se

establece que para la autorización de obras o actividades consideradas altamente riesgosas, la manifestación de impacto ambiental deberá ir acompañada por un estudio de riesgos.

A pesar de estar contemplados en la legislación ecológica como un complemento de la manifestación de impacto ambiental, los estudios de análisis de riesgos no cuentan con una reglamentación propia, y su aplicación ha sido totalmente a discrecionalidad de las autoridades del Instituto Nacional de Ecología.

Actualmente existen dos procedimientos para presentar los estudios de análisis de riesgos, cada uno de ellos empleados por diferentes entidades gubernamentales.

La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) maneja un procedimiento para la presentación de los estudios de riesgo por parte de empresas que considera de alto riesgo. Este procedimiento se utiliza para empresas ya instaladas y que por alguna razón no hayan presentado estudios de análisis de riesgo.

Este procedimiento involucra tanto a la PROFEPA, como al Instituto Nacional de Ecología (INE), siendo este último el que evalúa y dictamina los estudios y manda los resultados a la PROFEPA.

Las dependencias del INE involucradas son:

- Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas.
- Dirección de Residuos Peligrosos y Riesgo.
- Subdirección de Riesgo Ambiental.

En el anexo 1 del capítulo VII se incluye el diagrama de flujo de este procedimiento.

El segundo procedimiento para presentar los estudios de riesgos sólo involucra al Instituto Nacional de Ecología (INE), y es con mucho más detallado con respecto a los trámites que se deben realizar. Es importante señalar que este procedimiento se utiliza para instalaciones nuevas y para ampliaciones de plantas ya existentes. Para los propósitos de este trabajo, la importancia de este procedimiento radica en que se indica el tipo de estudio que se debe realizar. Primeramente se debe presentar ante el INE el Informe Preventivo (IP) o la Manifestación de Impacto Ambiental (MIA); de acuerdo a la información presentada y al tipo de proceso se solicitará cualquiera de las modalidades de estudios de análisis de riesgos que maneja el INE; el Informe Preliminar de Riesgo (IPR), el Análisis de Riesgo (AR) o el Análisis Detallado de Riesgo (ADR). Cabe mencionar que estas modalidades aplican únicamente a plantas y hasta muy recientemente se ha desarrollado una modalidad de estudio para ductos terrestres.

Las dependencias del INE involucradas en este procedimiento son:

- Dirección General de Ordenamiento e Impacto Ambiental.
- Dirección de Impacto Ambiental.
- Dirección de Residuos Peligrosos y Riesgo.
- Subdirección de Riesgo Ambiental.

En el anexo 2 del capítulo VII se incluye el diagrama de flujo de este procedimiento.

1.2.- Importancia de las instalaciones de almacenamiento y distribución de productos destilados.

La importancia de los productos destilados en la actualidad es indiscutible, considerando que las gasolinas y el diesel son los combustibles para automotores por excelencia. Debido a esto la industria petrolera ha enfocado gran parte de sus cadenas productivas a la generación de estos compuestos.

Se puede decir primeramente que las gasolinas⁽³⁾ son una mezcla de hidrocarburos desde 4 hasta 12 carbonos, que se obtienen por la destilación fraccionada del petróleo crudo. La fracción de gasolina proveniente del petróleo se denomina gasolina directa. Esta gasolina tiene un bajo rendimiento como combustible debido a que está conformada principalmente por compuestos de cadena recta. Los alcanos de cadena ramificada son combustibles superiores por que son menos volátiles, se queman con menos rapidez en el cilindro del motor y por la tanto reducen el golpeteo en él.

Los alquenos (compuestos de doble enlace carbono- carbono) y los compuestos aromáticos también son buenos combustibles. Se han desarrollado métodos para convertir hidrocarburos de cadena lineal en hidrocarburos ramificados. Los alquenos, alcanos y compuestos aromáticos de cadena ramificada, se obtienen de hidrocarburos del petróleo mediante cracking catalítico y transformación catalítica. Los alcanos de cadena ramificada se preparan a partir de alquenos y alcanos por reacciones de alquilación y a partir de alcanos por isomerización catalítica.

La tendencia de las gasolinas a la detonación (en la compresión) se mide como Índice de octano". Para ello se toma como referencia el iso- octano (C_8H_{18}) que es antidetonante y recibe un número de octanos de 100, y el heptano (C_7H_{16}) que detona con facilidad, recibe un número de octanos de 0. El índice de octanos indica el % en volumen de estos dos componentes. La mayoría de las gasolinas contienen una proporción menor de tetraetilo de plomo (CH_3CH_2)₂Pb que se agrega como antidetonante.

Una forma de aumentar el rendimiento de la gasolina es agregar alcanos de cadena ramificada que tienen un octanaje mayor. Otra consiste en agregar pequeñas cantidades de tetraetilo de plomo que produce gasolina etílica. El tetraetilo de plomo fue descubierto en 1922 y es un liquido azul altamente tóxico. En combustión el tetraetilo de plomo forma H_2O , CO_2 y PbO_x que refuerza la combustión y es inofensivo para el cilindro.

El uso de gasolinas con plomo tiene la desventaja de generar compuestos tóxicos que contaminan la atmósfera. La mejor solución parece ser emplear alcanos altamente ramificados que pueden prepararse al isomerizar los alcanos de cadena lineal.

El diesel es producto de la destilación fraccionada del petróleo (de 190 a 370 °C). Se usa como carburante en los motores y en los motores de explosión de aceites pesados.

De acuerdo a la Memoria de Labores de 1995 de Petróleos Mexicanos⁽⁴⁾, se procesaron en 1994 en refinerías la cantidad de 1,357.0 MBPD (miles de barriles por día) de petróleo crudo y líquidos. Se produjo una cantidad de 1,397.0 MBPD de productos destilados, de la cual se obtuvieron 430.0 MBPD de gasolinas y 285.0 MBPD de diesel, lo que representa el 30.9% y 20.3% respectivamente del total. En conjunto estos dos productos representan el 51.2% del total producido en refinerías, lo que muestra la importancia de estos compuestos en la economía.

Petróleos Mexicanos cuenta con seis refinerías en todo el país, las cuales proveen sus productos en las regiones indicadas en el anexo 3 del capítulo VII. La producción de gasolinas y diesel en estas refinerías se muestra a continuación.

TABLA 1.1.- VOLUMEN DE GASOLINAS Y DIESEL PRODUCIDO POR REFINERIA EN 1994

REFINERIA	VOLUMEN DE PRODUCCIÓN (MBPD)			% SOBRE EL TOTAL PRODUCIDO
	PRODUCCION TOTAL DEST.	GASOLINAS	DIESEL	
CADEREYTA	189.0	54.0	42.0	50.8
MADERO	177.0	50.0	39.0	50.3
TULA	287.0	82.0	53.0	47.0
SALAMANCA	204.0	69.0	46.0	56.4
MINATITLÁN	230.0	76.0	44.0	52.2
SALINA CRUZ	<u>310.0</u>	<u>99.0</u>	<u>61.0</u>	<u>51.6</u>
TOTALES	1,397.0	430.0	285.0	51.2

Como se observa, el volumen de gasolinas y diesel producidos en las refineries se encuentra alrededor del 50% del total de los compuestos producidos en ellas.

La importancia de las instalaciones de almacenamiento y distribución de productos destilados se nota claramente si se observa la tabla mostrada a continuación, donde se indican los volúmenes de gasolinas y diesel comercializados en cada región de ventas de Petróleos Mexicanos.

**TABLA 1.2.- VOLÚMENES DE GASOLINAS Y DIESEL VENDIDOS POR
REGIÓN EN 1994**

REGIÓN	VOLUMEN DE VENTAS (MBPD)			% SOBRE EL TOTAL VENDIDO
	PRODUCCIÓN TOTAL DEST.	GASOLINAS	DIESEL	
VALLE DE MEXICO	163.0	115.0	26.0	86.5
CENTRO	194.0	67.0	33.0	51.5
OCCIDENTE	185.0	84.0	44.0	69.2
NORTE	167.0	63.0	38.0	60.5
FRONTERA NORTE	80.0	48.0	13.0	76.3
PACIFICO NORTE	130.0	38.0	31.0	53.0
PACIFICO SUR	141.0	28.0	16.0	31.2
GOLFO NORTE	113.0	16.0	13.0	25.7
GOLFO CENTRO	44.0	17.0	15.0	72.7
GOLFO SUR	33.0	12.0	8.0	60.6
PENÍNSULA	49.0	14.0	11.0	51.0
TOTALES	1,299.0	502.0	248.0	57.7

De un total de 1.299.0 MBPD de productos comercializados en todas las regiones, se vendieron 502.0 y 248.0 MBPD de gasolinas y diesel respectivamente, lo que representa el 57.7% del total de productos destilados vendidos. Llama la atención que las ventas de gasolinas y diesel en el Valle de México representan el 86.5% del total vendido.

BIBLIOGRAFÍA.

- 1.- Less, Frank P.
Loss Prevention in the Process Industries.
Ed. Butterworth, Londres, 1986.
- 2.- **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (y disposiciones complementarias).**
9a. edición.
Ed. Porrúa, México,D.F., 1994.
- 3.- Wingrove, A., R. Caret.
Química Organica
Ed. Haria, México, D.F., 1981.
- 4.- **Petróleos Mexicanos.**
Memoria de Labores 1995

CAPÍTULO II.- MODALIDADES DE ESTUDIOS DE ANÁLISIS DE RIESGO

II.- MODALIDADES DE ESTUDIOS DE ANÁLISIS DE RIESGO.

Como se mencionó anteriormente, no se cuenta con una reglamentación para la elaboración y aplicación de los estudios de análisis de riesgos, y gran parte del desarrollo obtenido se debe a la interrelación de las empresas obligadas ha presentarlos con las autoridades del Instituto Nacional de Ecología. Por la falta de definición en el alcance original de los estudios, las autoridades han desarrollado guías para la elaboración de los estudios, tomando como referencia los conceptos solicitados en las manifestaciones de impacto ambiental, agregando otros, propios para la elaboración del análisis de riesgos.

En la actualidad existen cuatro guías para la elaboración de estudios de análisis de riesgos, tres aplicables a plantas industriales llamadas "Guía para la elaboración del Informe Preliminar de Riesgo (IPR)", "Guía para la elaboración del estudio de riesgo, modalidad Análisis de Riesgo (AR)", y "Guía para la elaboración de estudios de riesgo, modalidad Análisis Detallado de Riesgos (ADR)", y otra aplicable a ductos terrestres llamada "Guía para la elaboración de estudios de riesgo, modalidad análisis de riesgo para ductos". Por el momento no se han elaborado guías para ductos marinos, pero la necesidad de nuevas obras, obligará a su pronta implementación.

En el caso de plantas industriales, la aplicación de cualquiera de las modalidades de estudios de riesgo, está supeditada al criterio del Instituto Nacional de Ecología, pues como se ha mencionado anteriormente, no hay una reglamentación que defina claramente que tipo de estudio debe elaborarse para una instalación dada.

En los anexos 4, 5, 6 y 7 del capítulo VII se incluyen las cuatro guías para la elaboración de estudios de análisis de riesgos.

II.1.- Análisis comparativo de las guías para la elaboración de estudios de análisis de riesgos.

En términos generales las tres guías para la elaboración de estudios de riesgo en plantas industriales son similares en los conceptos "Datos generales", "Descripción general del proyecto", y "Aspectos del medio natural y socioeconómico". Los demás conceptos integrados en las guías contienen diferencias significativas entre sí; por ejemplo, mientras en la IPR solamente se incluye un concepto adicional llamado "Integración del proyecto a las políticas marcadas en el Plan Nacional de Desarrollo", donde se solicita información referente a los requerimientos de agua y energía, características de las sustancias, condiciones de operación, riesgo y manejo de efluentes, en el AR se incluyen dos conceptos adicionales, el mencionado anteriormente y el de "Riesgo ambiental". En este último se detalla más con respecto a las medidas y dispositivos para abatir el riesgo, además de solicitar información sobre el transporte de productos riesgosos.

En la guía para estudios modalidad Análisis Detallado de Riesgo, el concepto de "Integración al Plan Nacional de Desarrollo" está integrado al de "Aspectos del medio natural y socioeconómico", y aparecen nuevos conceptos como son: "Diseño del proceso", "Análisis y evaluación de riesgo", "Auditorías de seguridad" y "Transporte". Básicamente estos conceptos están contemplados en las otras dos guías con un tratamiento más general. En esta guía se detalla con respecto al proceso; a las características del diseño mecánico, instrumentación, sistemas contra incendio y servicios auxiliares. También se detalla con respecto a la identificación y modelación de eventos de riesgo. Con respecto al transporte se detalla sobre rutas de traslado, normas y medidas de seguridad para el transporte y programas de ayuda mutua.

Aunque la guía de estudios modalidad Análisis de riesgo para ductos, contiene los mismos conceptos que las otras guías, prácticamente sólo el de "Datos generales" es igual, y los demás difieren notablemente como se debiera esperar pues se trata de una instalación diferente.

En el concepto de "Descripción general del proyecto" se solicita información referente a los ductos, al derecho de vía y a la descripción de las colindancias. En el concepto "Aspectos del medio natural y socioeconómico", su formato ya no es del tipo de preguntas, sino ahora se solicita describir el entorno natural y socioeconómico. En el concepto "Integración al Plan Nacional de Desarrollo" únicamente se solicita información del ducto. En el concepto "Sustancias involucradas" es igual al de las otras guías.

En el concepto "Condiciones de operación" se solicita información sobre la operación del ducto (presión, temperatura, flujo, etc.) e información referente a la evaluación y prevención del golpe de ariete. Por último el concepto "Riesgo ambiental" es similar a lo solicitado en las otras guías, exceptuando lo referente a los programas de mantenimiento del ducto.

**CAPITULO III.- DESCRIPCIÓN, ANÁLISIS Y DESARROLLO DE LOS
CONCEPTOS INVOLUCRADOS EN LOS ESTUDIOS
DE ANÁLISIS DE RIESGO.**

III.- DESCRIPCIÓN, ANÁLISIS Y DESARROLLO DE LOS CONCEPTOS INVOLUCRADOS EN LOS ESTUDIOS DE ANÁLISIS DE RIESGOS.

En este capítulo se darán los lineamientos para la elaboración de estudios de análisis de riesgos para instalaciones, procurando que la información sea lo más completa y veraz posible.

En cada concepto primeramente se darán los lineamientos aplicables a cualquier instalación, y enseguida se detallará la información requerida para instalaciones de almacenamiento y distribución de productos destilados.

Debido a la estructura que tienen las guías para la elaboración de los estudios, ha sido un problema recurrente el que se pretenda elaborar estos trabajos como si la guía fuera un simple cuestionario, siendo que la intención es dar los conceptos mínimos, y en base a ellos el estudio sea profundizado.

III.1.- Datos generales.

El objetivo en este concepto es dar la información completa de la empresa solicitante del permiso de construcción y operación de la instalación, refiriéndose a los siguientes puntos.

- a) Nombre de la empresa.
- b) Registro Federal de Causantes.
- c) Objeto de la empresa.
- d) Cámara o Asociación a la que pertenece.
- e) Instrumento jurídico constitutivo de la empresa.
- f) Departamento proponente.
 - Responsable
 - Domicilio

Como se observa los datos solicitados son meramente administrativos para el manejo del estudio.

De acuerdo al Artículo 4º. Fracción VI, del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico de Protección al Ambiente en Materia de Impacto Ambiental, se debe tener un registro de prestadores de servicio que realicen estudios de impacto ambiental; sin embargo, en la guía no se solicitan datos del responsable de elaborar el estudio, por lo que se propone se soliciten mínimo la siguiente información al respecto.

- a) Nombre de la Empresa.
- b) Registro SEMARNAP.
- c) Domicilio y Teléfono.
- d) Coordinador de la elaboración del estudio.

Para el caso de este trabajo, la empresa solicitante del permiso de construcción y operación de la instalación de almacenamiento y distribución de productos destilados, es Pemex-Refinación.

III.2.- Descripción General del Proyecto

El alcance de este concepto está dividido en tres grandes rubros: el proyecto, el lugar de instalación y la programación del proyecto

III.2.1.- Proyecto

El alcance de este rubro es establecer lo mejor posible las características del proyecto. La información solicitada es la siguiente:

- Nombre del Proyecto.
- Descripción del proyecto.
- Capacidad de la Instalación.
- Inversión.
- Vida útil.
- Crecimiento a futuro.

Toda esta información forma parte de las bases de diseño del proyecto, por lo que su recopilación no presenta ningún problema. Bajo el contexto de este trabajo quizá el punto de mayor interés, debido a que en un momento es posible que no sea considerado, es la del crecimiento a futuro, por lo que se propone indicar en el plano de localización general de equipo las áreas destinadas para futuras ampliaciones y el tipo de equipo que se utilizaría.

El proyecto bajo el cual será analizado este trabajo es el de una instalación de almacenamiento y distribución de productos destilados, bajo el concepto de módulos de independientes, los cuales contemplan a grandes rasgos las siguientes áreas:

- Recepción de productos vía ductos.
- Recepción de producto vía autotanques.
- Almacenamiento de productos.
- Equipo para trasiego de productos.
- Llenaderas para carga de autotanques.
- Servicios auxiliares.

Para este tipo de instalaciones, la vida útil normalmente es de 15 a 20 años.

III.2.2.- Lugar

La información solicitada en este rubro tiene como finalidad dar las características principales de la localidad donde será construida la batería, por lo que es pertinente tratar de dar la información lo más detallada posible, pues el propósito de este estudio es evaluar las interacciones que tendrá la instalación con su entorno.

La información solicitada es la siguiente:

- Ubicación del predio.
- Características geológicas, topográficas y climáticas.
- Descripción de las colindancias del predio.
- Superficie total del predio.
- Origen legal del predio.
- Descripción de los accesos a la instalación.
- Infraestructura requerida.

Para el punto referente a la ubicación del predio es requisito incluir planos con escalas de 1:20,000 o 1:25,000 en la microregión y además planos con escala 1:100,000 en la región, indicando su ubicación. Los planos utilizados para este propósito son normalmente las cartas geológicas del INEGI.

Para la descripción de las características geológicas, topográficas y climáticas, el INEGI cuenta con cartas de estos tres aspectos. Cabe mencionar que es de suma importancia en la descripción de las características climáticas el incluir mínimo los siguientes aspectos:

- Temperaturas extremas (min. / max.).
- Temperatura promedio.
- Humedad relativa anual (max. / min.).
- Humedad media anual.
- Precipitación pluvial max. en 24 horas.
- Precipitación media anual.
- Vientos reinantes (velocidad / dirección).
- Vientos dominantes (velocidad / dirección).
- Tormentas eléctricas por año.
- Ambiente.

Los aspectos de descripción de colindancias, superficie total y origen legal del predio no representan problema para conseguir información, tanto con la empresa, como con el municipio que se trate.

Los conceptos de accesos a la instalación e infraestructura requerida, en un momento dado pueden ser sumamente importantes dependiendo del tipo de instalación que se trate, por lo que deben ser analizados con el suficiente detalle, en el caso de infraestructura requerida se puede necesitar recursos mayores a los existentes en la zona.

En este trabajo, por la naturaleza de la instalación se debe poner especial atención a las colindancias del predio por el riesgo latente que representa; se debe procurar que no esté cerca de lugares densamente poblados. También hay que considerar los accesos a la instalación, pues en este caso se trata de una distribuidora de productos destilados que son transportados por autotanques, por lo que conlleva a tener tráfico considerable en los alrededores de la instalación. Las vialidades por tal razón deben ser las suficientes en cantidad, así como las adecuadas para este tipo de vehículos.

III.2.3.- Programación

La información solicitada bajo este rubro permitirá visualizar el impacto que tendrá la operación de la planta en el entorno social, desde el punto de vista de los recursos humanos requeridos.

Los puntos contemplados bajo este concepto son los siguientes:

- Actividades conexas.
- Contratación de personal.
- Programas de capacitación.
- Autorizaciones de construcción y operación.

La obtención de la información anterior no debe representar ningún problema pues forma parte del programa de la planta desarrollado por la empresa.

Para el caso de instalaciones de almacenamiento y distribución de productos destilados, la política de Pemex-Refinación normalmente no es de contratar personal para cubrir plazas nuevas, sino que se transfiere personal ya contratado con experiencia en las labores a realizar.

La plantilla de personal básica que normalmente se tiene es la siguiente:

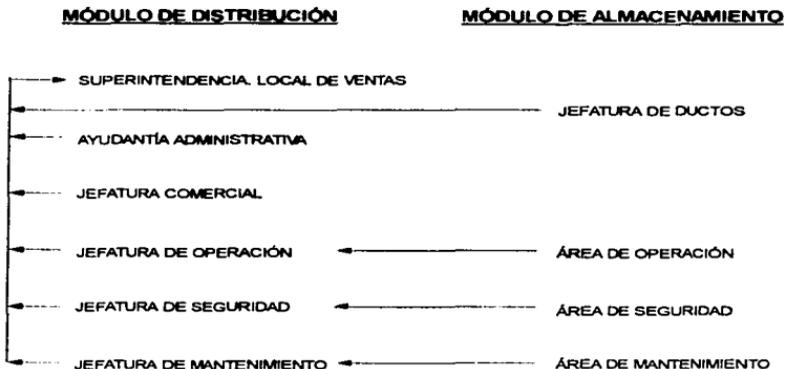


FIGURA 3.1.- ORGANIGRAMA DE LOS MÓDULOS DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN

TABLA 3.1.- PLANTILLA DE PERSONAL DE LOS MÓDULOS DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN

<u>ÁREA</u>	<u>PUESTO</u>	<u>CANTIDAD</u>
SUPTCIA LOCAL VENTAS	SUPTTE. LOCAL VENTAS	1
	SECRETARIA	1
	OFICINISTAS	1
	VIGILANTES	3.5
AYUDANTIA ADMINISTRATIVA	AYUDANTE ADMVO.	1
	CONTADOR	1
	CAJERO	1
	SUPERVISOR EQPO. COMPUTO	1
	PERSONAL APOYO	2
JEFATURA COMERCIAL	JEFE ÁREA	1
	PROMOTOR COMERCIAL	1
	PERSONAL APOYO	2
JEFATURA DE OPERACIÓN	JEFE ÁREA	1
	INGENIERO DE OPERACIÓN	1
	PERSONAL DE APOYO	3.5
JEFATURA DE SEGURIDAD	JEFE ÁREA	1
	INGENIERO DE SEGURIDAD	1
	PERSONAL DE APOYO	3.5
JEFATURA DE MANTTO	JEFE ÁREA	1
	TAQUIMECANÓGRAFA	1
	OFICINISTA	1
MANTTO AUTOMOTRIZ	ING. MANTTO.	1
	PERSONAL APOYO	3
MANTTO INDUSTRIAL	ING. MANTTO.	1
	PERSONAL APOYO	3
MANTTO INSTRUMENTACIÓN	ING. MANTTO.	1
	PERSONAL APOYO	3
ÁREA OPERACIÓN	ING. OPERACIÓN	1
	TAQUIMECANÓGRAFA	1
	PROBADOR ANALÍTICO	1
	PERSONAL APOYO	2
	VIGILANTES	3.5
JEFATURA DUCTOS	JEFE ÁREA	1
	ING. OPERACIÓN	1
	PERSONAL APOYO	2
ÁREA SEGURIDAD	ING. SEGURIDAD	1
	PERSONAL APOYO	3.5
MANTTO INDUSTRIAL	ING MANTTO.	1
	PERSONAL APOYO	3
MANTTO INSTRUMENTACIÓN	ING. MANTTO.	1
	PERSONAL APOYO	3
	TOTAL	67.5

Respecto a los programas de capacitación, básicamente se enfocan a las áreas operacionales de la instalación, algunos de ellos son:

CURSO

- OPERARIO POLIDUCTO
- MEDIDOR GENERAL
- PERSONAL APOYO
- BOMBERO MEDIDOR

OBJETIVO

- EJECUTAR MANIOBRAS Y MOVIMIENTOS DE ALINEACIÓN
- OPERAR EQUIPOS EFICIENTEMENTE
- EJECUTAR OPERACIONES EN EL ÁREA DE TANQUES
- EJECUTAR OPERACIONES EN SU ÁREA DE TRABAJO
- CONOCER Y EFECTUAR LAS OPERACIONES NORMALES Y ANORMALES DE BOMBAS

III.3.- Aspectos del Medio Natural y Socioeconómico

El desarrollo de este punto dentro de la guía es inconsistente, pues salta de un tema a otro; sin embargo, podemos identificar los siguientes temas dentro de los dos aspectos.

III.3.1.- Medio Natural.

a) Entorno

Este tema básicamente se refiere a la identificación de características de interés natural alrededor del sitio donde se construirá la instalación. Entre lo solicitado se encuentra lo siguiente:

- Sitio de cualidades estéticas únicas.
- Recursos acuáticos.
- Reservas naturales.
- Ecosistemas excepcionales.
- Parajes educativos.

Esta información se consigue principalmente a través de las cartas geológicas y anuarios estadísticos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y de la Enciclopedia de los Municipios de México, del Centro Nacional de Estudios Municipales.

b) Riesgos.

Este tema se refiere a los riesgos naturales que se presentan en el sitio donde se construirá la instalación, los cuales podemos dividir en tres aspectos.

- Riesgos geológicos y climáticos debidos a:
 - Terremotos.

- Corrimientos de tierra.
- Derrumbamientos o hundimientos.
- Meteorología adversa.
- Inundaciones.
- Erosión.

Parte de esta información se puede conseguir en los Centros Sismológicos Locales, en el Servicio Meteorológico Nacional, los anuarios estadísticos y por visita al sitio.

- Riesgos a la Salud.

Esencialmente este punto se refiere al historial de enfermedades epidémicas y endémicas en la zona de interés. Esta información se obtiene por medio de los anuarios estadísticos del INEGI.

- Riesgos de Contaminación.

En este punto se solicita información sobre contaminación de suelo, aire y agua en la zona de interés, la estimación del ruido generado durante la construcción y operación de la planta y los programas de prevención al deterioro al medio ambiente.

La información sobre contaminación del agua se obtiene de las comisiones de agua y saneamiento, la información sobre contaminación del suelo y aire se obtiene de la SEMARNAP.

En lo referente a los programas de prevención de deterioro al medio ambiente, la empresa deberá presentar dichos programas.

c) Hábitat

Este tema se refiere a la identificación y estimación de afectación al hábitat por la construcción de la instalación. Para obtener la información de fauna o flora en peligro de extinción se puede consultar los calendarios cinegéticos estatales.

La estimación del grado de afectación al hábitat por la construcción de la planta, se debe evaluar en forma particular de acuerdo al tipo de instalación que se trate.

III.3.2.- Aspectos Socioeconómicos

a) Entorno

Al igual que en el aspecto del medio natural, aquí se solicita identificar los puntos de interés socioeconómico alrededor del sitio donde se construirá la planta; básicamente se pide lo siguiente:

- Atracción Turística.
- Zona de Recreo.
- Centros Culturales.
- Industria.
- Zonas Comerciales.
- Centros Urbanos.
- Centros Residenciales.

Esta información se puede conseguir de las cartas y anuarios estadísticos estatales del INEGI y de la Enciclopedia de los Municipios de México de la Sría. de Gobernación

Para algunos de los puntos anteriores, se solicitan identificarlos en un radio de 10 Km. del lugar donde se construirá la instalación. Esta solicitud se puede interpretar como excesiva para baterías de productos destilados, si se considera que en base a este estudio, se determinará el radio de afectación por contingencias, y sólo hasta entonces sería adecuado solicitar información del área con probabilidad de daño.

Otras informaciones solicitadas son la de existencia de programas de planificación y aspectos demográficos en la zona de estudio. Con respecto al primer punto, la información se consigue a través de la SEMARNAP y el segundo punto sería a través de los anuarios estadísticos del INEGI.

b) Demanda de recursos humanos, materiales y de servicios.

Respecto a este tema se solicita indicar si la construcción y operación de la instalación demandará recursos humanos, materiales y servicios, que sobrepasen la capacidad del lugar. Esta información se consigue directamente del programa de construcción y operación de la empresa.

c) Economía.

Este tema se refiere a identificar el tipo de economía que se tiene en la zona de interés. Los puntos solicitados son : el ingreso anual per cápita y el desglose de actividades económicas del lugar. Esta información está disponible en los anuarios estadísticos estatales.

Finalmente, otro punto solicitado en esta sección de la guía es el cuestionamiento si el proyecto está integrado al Plan Nacional de Desarrollo. Realmente se debe reflexionar acerca de la utilidad de este cuestionamiento, pues en primer lugar este Plan fue promovido por la administración anterior, y con la actual administración ya no es vigente. En segundo lugar se considera que no se debe involucrar el desarrollo de una empresa con políticas erráticas y ambiguas, como normalmente son las gubernamentales.

III.4.- Diseño del Proceso

Este concepto es de importancia fundamental en el estudio, pues en él se describen las características del proceso desde un punto de vista básico como son la termodinámica del

proceso, los materiales involucrados, la secuencia operacional del proceso, hasta llegar al detalle del diseño mecánico, civil, contra incendio, etc., pasando por una evaluación preliminar de los riesgos del proceso.

A continuación se analizan los puntos contemplados en la guía para la evaluación de este concepto.

III.4.1.- Descripción Histórica del Proceso

En este punto se busca hacer una breve reseña histórica del proceso, recalcando los adelantos tecnológicos y científicos más significativos que se han tenido.

En lo referente a los procesos involucrados en una planta de almacenamiento y distribución de productos destilados, a grandes rasgos se tienen los siguientes:

a) Recepción de productos vía ductos.

La recepción de productos ha evolucionado con respecto a la especificación de los materiales de los ductos, siendo ahora más seguros desde el punto de vista de mejores materiales de construcción, mejores procedimientos para la instalación de las tuberías y mejores procedimientos de mantenimiento. También ahora se tienen procedimientos operativos más seguros para prevenir contingencias (como son los golpes de ariete, fugas, etc.), aunado a una mejor instrumentación y control del mismo gracias al uso de computadoras.

b) Recepción de productos via autotanques.

Con respecto a la recepción de productos por medio de autotanques, se ha evolucionado en una mejor especificación de las bombas y mangueras de vaciado, y un mejor procedimiento operativo para evitar la fuga de vapores de los productos que puedan provocar algún accidente. Estos procedimientos involucran que la operación de vaciado se realice hasta que este conectada adecuadamente la manguera y se conecte el autotanque con el tanque de almacenamiento para evitar la emisión de vapores a la atmósfera.

c) Almacenamiento de productos.

Para el almacenamiento de productos volátiles inflamables, como es el caso, se ha evolucionado en el tipo de tanques para contenerlos pues ahora se cuenta con recipientes especialmente diseñados para evitar la formación de nubes de vapor, como son los tanques de techo flotante.

d) Trasiego de productos.

Esta operación consiste en manejar los productos de un recipiente a otro para optimizar la capacidad de almacenamiento de la planta. Para efectuar esta operación se utilizan bombas que son principalmente el equipo que ha evolucionado, pues ahora son equipos más seguros para el manejo de productos volátiles inflamables.

e) Lienaderas de autotanques.

Esta operación ha sufrido considerables cambios, procurando ahora tener una operación más segura, pues es conocido que en tiempos anteriores era la operación más probable de provocar accidentes. Actualmente los autotanques cuentan con dispositivos para evitar la formación de

corriente estática, además se tienen dispositivos en las llenaderas para evitar la fuga de vapores durante el llenado. También se ha evolucionado en los métodos e instrumentación para cuantificar la cantidad de producto despachado, teniéndose ahora una medición más exacta.

III.4.2.- Descripción Detallada de la Selección de la Ingeniería Básica del Proceso.

Aquí se plantearán todas las opciones para llevar a cabo el proceso y se indicará a detalle las razones técnicas que motivaron la selección de la ingeniería básica. Esencialmente es la selección de las diferentes tecnologías para la elaboración de un producto y el riesgo que estas implica. (Desde el punto de vista para una instalación de almacenamiento y distribución de productos destilados, se puede enfocar como la selección de diferentes tamaños de tanques de almacenamiento, tipos de bombas, etc.). Se debe hacer notar que la elección tomada será un equilibrio técnico, económico y ecológico.

III.4.3.- Características de los Materiales Involucrados en el Proceso.

Aquí se indicarán las características de todas las sustancias involucradas en el proceso, como son: materias primas, productos, subproductos y residuos.

Las características de los materiales estarán enfocadas principalmente hacia:

- Propiedades termodinámicas.
- Toxicidad.
- Propiedades carcinogénicas.
- Explosividad.
- Flamabilidad.
- Reactividad.
- Corrosividad.
- Radioactividad.

Cabe mencionar que este punto establecerá de hecho el riesgo inherente por el manejo de los materiales, y será el primer parámetro para catalogar el proceso.

En el anexo 8 del capítulo VII se incluye la hoja de seguridad de la gasolina, el diesel y el diésel que son los productos que se manejan en las baterías de almacenamiento y distribución de productos destilados.

III.4.3.1.- Características Termodinámicas del Proceso.

Aquí se deberán establecer las características termodinámicas del proceso, tratando de remarcar las partes principales del proceso (procesos termodinámicos como ciclos, expansiones, etc.).

En el caso aquí planteado, realmente no se tienen procesos termodinámicos pues sólo se trata de operaciones de recepción, almacenamiento y distribución de productos destilados.

III.4.3.2.- Características de diseño y operativas de los equipos de alto riesgo.

Con respecto a este rubro, se debe mencionar que la catalogación de equipo de alto riesgo realmente se establece después de haber identificado los riesgos en el proceso, por lo que no debiera estar incluido en este concepto, sino en el de análisis de riesgo. Por lo demás es sumamente importante establecer las condiciones de diseño y las características operativas de los equipos, pues permitirá identificar riesgos debidos a un mal diseño o especificación, o una mala operación.

En este caso se considera a priori que los equipos de alto riesgo en la instalación son:

- Ductos.
- Tanques de almacenamiento.
- Lienaderas de autotanques.
- Equipo de recuperación de vapores.

III.4.3.3.- Descripción de la cinética de las reacciones normales e indeseables.

Aquí se debe describir las características de las reacciones: homogéneas, heterogéneas, continuas, por lotes, con catalizador, etc.. Por otro lado, se deberá describir el mecanismo de la reacción y su desarrollo energético (exotérmica, endotérmica). Es necesario dar especial atención a las reacciones que puedan ser provocadas bajo condiciones anormales del proceso, pues en términos generales son estas reacciones las de mayor riesgo. Si este es el caso, se deben describir las acciones que se realizarán para evitar estas reacciones.

III.4.3.4.- Descripción detallada de la planta piloto.

Una planta piloto representa la simulación del proceso a través de un prototipo a menor escala que permita evaluar la operabilidad y riesgo de un sistema. En el caso de plantas de almacenamiento y distribución de productos destilados no es requerida.

III.4.3.5.- Diagrama de flujo de proceso y balance de materia y energía.

En este rubro se anexará el diagrama de flujo de proceso y su balance de materia y energía respectivo.

Para el caso en estudio, el diagrama de flujo del proceso se incluye en el anexo 9 del capítulo VII.

III.4.3.6.- Descripción detallada del equipo básico de proceso.

Aquí se describirán a detalle los equipos básicos de proceso en lo referente a:

- Bases de diseño.
- Condiciones de operación.
- Factores de seguridad.
- Dimensiones.
- Pruebas de operabilidad.

Cabe mencionar que para todos los equipos se tiene que hacer referencia a las normas que definen los factores de seguridad y sus pruebas de operabilidad.

III.4.3.7.- Tipo y cantidad de sustancias riesgosas.

Es necesario mencionar que la categorización de riesgo de las sustancias involucradas en el proceso se hizo en el punto III.4.3 de este documento (o IV.3 de la guía), por lo que no es necesario volver a solicitar esta información, únicamente se debe incluir en el punto mencionado las cantidades y tipo de almacenamiento de las sustancias.

III.4.4.- Arreglo general de la planta.

En lo referente a los puntos:

- Plano de localización de equipos.
- Descripción e identificación de riesgos.
- Diagrama de pátalos.
- Justificación de acceso y escapes.

no debieran incluirse en este punto, sino en el de "análisis y evaluación del riesgo", pues ahí la secuencia lógica de identificación, jerarquización y evaluación del riesgo darán los elementos de juicio necesarios para contestar estas preguntas.

III.4.5.- Diseño mecánico

a) Planos detallados de los equipos principales.

Aquí se incluirán los planos constructivos de los equipos principales. Debido a la dinámica del proceso de construcción de la instalación y a la de adquisición de los equipos, es bastante

probable que no se cuente con los planos constructivos, pero si con las hojas de especificación, por lo que se propone utilizar estas últimas en lugar de los planos. Este punto debe contemplarse en el de "Especificación detallada de equipos básicos" por ser complementarios.

b) Planos a escala de instrumentación y tuberías.

Se considera que este punto está mal descrito, y realmente lo solicitado son los diagramas de tubería e instrumentación (DTI's). También deben estar incluido en el punto de diseño de la instrumentación, pues en los DTI's se definirán las filosofías de operación y justificarán la utilización de una instrumentación específica. Finalmente, sería un buen complemento la anexión de una descripción operacional.

c) Descripción de normas de materiales y diseño de equipos y sistemas de conducción.

Con respecto a este punto se estima que realmente se están solicitando las normas aplicables para la selección de materiales y diseño para instalación de tuberías, accesorios y conduit.

d) Descripción de los sistemas de desfogue.

Es de fundamental importancia este concepto para la definición de la filosofía de operación de la instalación en caso de contingencias operativas, por lo que es necesario establecer claramente cómo estará constituido el sistema, y sobre todo, cómo se manejará la disposición del efluente.

Con respecto al "Diseño Mecánico" se debiera incluir también la sección eléctrica de la instalación, pues es de fundamental importancia la clasificación de áreas eléctricas en la selección de los equipos e instrumentación.

III.4.6.- Diseño del servicio.

Este concepto se refiere a los servicios auxiliares con que contará la instalación para su operación, analizados bajo los siguientes aspectos:

a).- Planos generales de los sistemas de servicios.

Bajo este rubro se considera incluir los diagramas de tubería e instrumentación (DTI's) y los planos constructivos de los equipos principales de servicios auxiliares. Debido a la misma mecánica de todo el proceso, es bastante probable que a la fecha de estar elaborando el estudio no se cuente con los planos constructivos de los equipos, por lo que sería conveniente incluir en su lugar las hojas de especificación de los mismos.

b).- Análisis de confiabilidad de los servicios.

Aquí se describirán las características de los sistemas de servicios auxiliares, enfocándose principalmente a la operación de los mismos y a su interrelación con el(los) proceso(s) principal(es).

c).- Justificación de los sistemas redundantes.

Este punto tiene gran relación con el anterior, pues una vez definidas las relaciones de los servicios auxiliares con el proceso principal, se puede visualizar con seguridad cuáles son los servicios prioritarios que deberán tener redundancia.

Para el caso en estudio, los servicios auxiliares que normalmente se tienen en las plantas de almacenamiento y distribución de destilados son los siguientes:

- Agua de servicios.
- Agua de riego
- Aire de planta.
- Aire de instrumentos.
- Vapor de agua.
- Energía eléctrica.
- Aire acondicionado.
- Telecomunicaciones.
- Drenajes sanitarios.
- Drenajes aceitosos.
- Drenajes pluviales.

De estos servicios, la mayoría no requiere redundancia pues no tienen mayor relación con el proceso, a excepción del aire de instrumentos y la energía eléctrica que deberán tener una fuente alterna de generación.

III.4.7.- Diseño civil y estructural

Debido a la naturaleza sísmica de nuestro país, es de suma importancia el correcto diseño civil y estructural de las instalaciones. Debido a esto, en los estudios de riesgo se solicita dar información sobre las características de estos diseños, enfocándose principalmente al diseño sísmico, especificación de materiales de construcción y bases de diseño del cuarto de control. Es importante mencionar que la razón de solicitar información sobre el diseño del cuarto de control se debe a que en él se centraliza el control del proceso, tanto en situaciones normales como de emergencia, por lo que es indispensable que el cuarto este diseñado para soportar cualquier evento (fugas, fuego, explosión, etc.).

Para el diseño civil y estructural en plantas de almacenamiento y distribución de destilados normalmente se ocupa el Manual de diseño de obras civiles de la C.F.E., los Reglamentos de construcción locales y las normas respectivas de Pemex.

III.4.8.- Diseño de la instrumentación.

Aquí se solicita información sobre las bases de diseño y especificación de la instrumentación de la planta, para visualizar el grado de automatización y seguridad que se tendrá sobre el proceso.

Con el avance que se ha tenido a nivel ciencias de la computación, actualmente se puede obtener un alto grado de automatización en las funciones operativas de las instalaciones, a un costo razonablemente moderado y un alto rendimiento.

Para el caso en estudio, las instalaciones de almacenamiento y distribución de destilados, se tiene un moderado grado de automatización en las siguientes operaciones:

- Monitoreo y control de recepción de producto vía ductos.
- Monitoreo y control de descarga de producto de autotanques.
- Monitoreo y control de almacenamiento de productos.
- Monitoreo y control de trasiego de productos.
- Monitoreo y control de llenaderas de autotanques.
- Monitoreo y control de los servicios auxiliares.
- Monitoreo y control de equipos de seguridad.

III.4.9.- Diseño de los sistemas de control de accidentes.

Aquí se describirán los sistemas y acciones implementados en las instalaciones para prevenir y controlar los accidentes.

Para este requerimiento lo más conveniente es desarrollar el Programa de Prevención de Accidentes para la instalación de acuerdo a lo solicitado por la SEMARNAP, a través del Comité de Análisis y Aprobación de los Programas de Prevención de Accidentes (COAAPA), basándonos en lo establecido en el capítulo IV, artículo 147, 2º párrafo de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, el cual establece "... quienes realicen actividades altamente riesgosas, elaborarán, actualizarán y , en términos del Reglamento correspondiente, someterán a la aprobación de la SEMARNAP, SE, SECOFI, SSA y STPS, los Programas para la Prevención de Accidentes...".

La COAAPA desarrolló la "Guía para la elaboración de los programas para la prevención de accidentes"¹⁾, con el propósito de evitar que los accidentes provocados por la realización de actividades altamente riesgosas, alcancen niveles de desastre o calamidad. Estos programas se elaboran y estructuran para los niveles internos y externos de la instalación, y se activan en el momento oportuno y en el lugar preciso, considerando las etapas de prevención (antes de), de atención (durante) y de retorno- recuperación (después de).

Para la elaboración de estos programas se tienen establecidos los lineamientos, que se incluyen en el anexo 10 del capítulo VII.

En estos programas se encuentran incluidos la organización para la prevención de accidentes, los equipos y servicios de emergencia, los procedimientos específicos de respuesta, los sistemas de comunicación y alarma, los procedimientos para el retorno a condiciones normales, los programas de capacitación y entrenamiento, los programas de simulacros y la actualización del programa.

III.4.10.- Sistemas contra incendio.

Este punto esta muy ligado con el anterior y lo mejor seria integrarlo, en lugar de manejarlo independientemente, debido a que gran parte de los sistemas de prevención de accidentes tienen que ver con los sistemas contra incendio, tanto a nivel dispositivos de detección, como los equipos y dispositivos de ataque al fuego.

En las instalaciones de almacenamiento y distribución de destilados, normalmente se utilizan equipos contraincendio que manejan agua y espuma mecánica.

III.5.- Auditorias de seguridad.

Debido a que en esta etapa los proyectos aún continúan en diseño o cuando mucho en la etapa de construcción, no se cuenta con reportes de auditorias. En este punto se debe aclarar que la presentación de los reportes de auditorias se harán en los casos de plantas ya construidas a las que se les esté aplicando un estudio de riesgo, o bien, a plantas que estén ampliándose y requieran presentar su estudio de riesgo.

En la actualidad la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) está promoviendo la aplicación de Auditorias Ambientales, lo cual es relativamente nuevo de manera oficial, como un instrumento gubernamental para el control de actividades que potencialmente puedan afectar al medio ambiente y/o la comunidad. En algunas corporaciones industriales se han venido aplicando Auditorias Internas enfocadas a "Control Ambiental", "Seguridad", "Tecnología y Procedimientos", etc.; sin embargo el concepto promovido por la PROFEPA resulta ser un instrumento integrador de todos estos conceptos. Legalmente nadie está obligado a efectuar una Auditoría Ambiental pero resulta ser más conveniente su aplicación que sujetarse a un programa oficial de inspección, que tiene una normatividad incompleta y dificulta su aplicación efectiva.

Los objetivos de las Auditorias Ambientales son las siguientes ⁽²⁾:

- Revisar, identificar y regular la existencia, eficiencia y capacidad de las instalaciones y dispositivos con que cuentan las industrias pública y privada para el cumplimiento de la normatividad ambiental impuesta por las autoridades competentes.
- Revisar e identificar las medidas con que cuentan las empresas para evitar o disminuir los daños al ambiente, en el caso de un accidente.
- Revisar e identificar los sistemas de respuesta y la capacidad del personal para ejecutarlos, en caso de presentarse accidentes que puedan producir daños al ambiente.
- Revisar, identificar y regular las operaciones y procesos industriales, comerciales y de servicios, incluyendo el transporte de materias primas y productos elaborados, que puedan causar daños al ambiente por su peligrosidad o alta probabilidad de accidentes.
- Identificar y regular las acciones que sean necesarias para prevenir emergencias ambientales derivadas de actividades que por su naturaleza constituya un riesgo para el ambiente.
- Revisar, identificar y determinar si se cuenta con recursos suficientes en las instalaciones para la atención de emergencias, que pudieran responder a urgencias generadas por accidentes relacionados con la empresa auditada, en el área de influencia afectada por éstos.

- Cuantificar en tiempo y espacio los efectos al ambiente por posibles eventos accidentales de las actividades y procesos industriales, sistemas de transporte y de tratamiento o disposición de desechos, así como la posibilidad de ocurrencia de accidentes.
- Determinar, como resultado de la Auditoría, las medidas preventivas, o de control, acciones, estudios, proyectos, obras, procedimientos y capacitación que deberá realizar la empresa u organismo auditado, para prevenir la contaminación y atender emergencias ambientales.

En términos generales la Auditoría deberá contemplar las siguientes fases:

1. Visita preliminar de inspección.
2. Recopilación de información general de la industria.
3. Elaboración de una propuesta técnico-económica para la realización de la Auditoría.
4. Verificación y evaluación del (os) proceso(s) industrial(es) de producción, mediante la aplicación de cuestionarios técnicos y ambientales específicos, los cuales concentrarán toda la información relativa a la industria auditada. Estos cuestionarios serán uniformizados a fin de facilitar el manejo homogéneo y comparable de la información recopilada.
5. En caso de que la industria auditada no cuente con la información relativa a algún aspecto técnico o ambiental, ésta deberá ser evaluada mediante tomas de muestras o el procedimiento que corresponda, conforme a los lineamientos establecidos por la norma técnica ecológica o norma oficial mexicana correspondiente.
6. El dictamen de la Auditoría deberá identificar, evaluar y regular las medidas preventivas y de control necesarias que deberá realizar la empresa u organismo auditado, para minimizar riesgos, prevenir y controlar la contaminación y atender emergencias ambientales.

La Auditoría deberá cumplir con la revisión de los siguientes puntos:

1. Recopilación de la información general de la empresa (nombre o razón social, giro industrial, ubicación, propietario o representante legal, número de empleados , horas de operación al día y turnos de trabajo, área ocupada, etc.).
2. Revisión de archivos y registros técnicos de diseño, construcción y operación de la industria (planos de proyecto, planos de tubería y drenajes, distribución de equipos , diagramas y descripción del proceso, inventario de emisiones al ambiente ya sea al aire, agua, residuos sólidos y peligrosos, bitácoras de muestreo de emisiones, tipo y ubicación de obras de prevención y control de accidentes y de sistemas anticontaminantes, etc.).
3. Operación del proceso (número de procesos, materias primas utilizadas, consumo, tipo de identificación y almacenamiento, productos principales y volúmenes de producción, subproducción, disposición, etc.).
4. Legislación ambiental (cumplimiento de obligaciones legales, permisos y/o registros de descargas, condiciones particulares de descarga, estudios de impacto ambiental y riesgo, etc.).
5. Control de contaminación atmosférica (número y tipo de equipos de combustión, horas de operación , combustibles utilizados, consumo, número de chimeneas o ductos de salida, tipo y ubicación de equipos de muestreo para emisiones, presencia de equipos anticontaminantes, bitácoras de muestreo y mantenimiento, reportes, etc.).

- 6.. Control de la contaminación del agua (abastecimiento, almacenamiento, usos, tipo de tratamiento, bitácoras de muestreo de descargas, calidad de agua residual, gasto descargado, número de descargas, tipos de drenajes, etc.).
7. Control de contaminación del suelo (vinculación con las normas y regulaciones sobre uso de suelo, ubicación y disposición de almacenes, talleres de reparación mecánica y/o estaciones de combustibles o aceites, contenedores contra derrames accidentales de combustibles, o materias primas, productos; así como los sitios de disposición de residuos sólidos, etc.).
8. Manejo de residuos peligrosos (inflamables, explosivos, corrosivos, reactivos, tóxicos), volumen producido, tipo de almacenamiento, bitácoras de inspección de contenedores, sistemas de tratamiento y/o disposición de residuos, rutas de transporte, manifiestos y reportes periódicos de generación.
9. Instalaciones especiales (tanques de gas, tanques bajo tierra, tanques de almacenamiento de combustibles, materiales corrosivos ya sean ácidos o alcalinos, líneas y/o ductos de conducción, subestación eléctrica, bitácoras de inspección y mantenimiento, etc.).
10. Políticas de protección a la población y medio ambiente (plan de seguridad, salud y medio ambiente, plan de emergencias y desastres, servicios médicos y bomberos, plan de notificación para evacuación civil circundante, ubicación y tipo de contenedores para casos de derrame, control sanitario de descargas de agua residual, control de emisiones atmosféricas, etc.).

III.6.- Transporte.

El transporte de materias primas, productos, subproductos y residuos es de suma importancia para la operación y seguridad de las instalaciones, sobre todo si estos son considerados riesgosos. Debido a lo anterior es importante analizar debidamente este concepto, por lo que las guías de estudios de riesgo lo incluyen.

Los conceptos relacionados al transporte que se solicitan describir en las guías son los siguientes:

- Rutas de traslado.
- Normas de seguridad y operación.
- Señalamientos en el transporte.
- Medidas en caso de accidente.
- Capacitación de los operarios.

Con referencia a las rutas de traslado se deben indicar tanto a nivel interno como externo de la planta, dando énfasis en las rutas y horarios permitidos en poblaciones, carreteras, vías fluviales y vías de ferrocarril. Merece atención aparte el caso de ductos, que es manejado en otros estudios de riesgo.

Las normas de seguridad y operación deberán contemplar tanto las maniobras de carga, descarga y el transporte mismo.

Aunado a lo anterior se debe especificar el tipo de señalamiento en el medio de transporte para indicar el producto que se maneja.

Las medidas de seguridad en caso de accidente del transporte, deben estar contempladas dentro del Programa de Prevención de Accidentes (PPA), desarrollado para la instalación, incluyendo el denominado Plan de Ayuda Mutua.

Para asegurar que las normas de seguridad y operación para el transporte serán debidamente aplicadas por el operador, se debe detallar sobre los cursos de capacitación que serán tomados, incluyendo el programa y temario de los mismos.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- **Comite de Análisis y Aprobación de los Programas para la Prevención de Accidentes (COAAPPA).**
Guía para la Elaboración de los Programas para la Prevención de Accidentes.
Revisión 6.
SEDESOL, México, D.F., 1993.
- 2.- **De la Cruz N., J.**
Aspectos Legales de la Auditoría Ambiental. Curso Auditorías Técnicas Integrales en el Ambito de la Energía, el Medio Ambiente y la Seguridad.
IMIQ, México, D.F., 1994.

CAPITULO IV.- ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL RIESGO

IV.- ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL RIESGO.

En las plantas de procesos químicos, la seguridad se ha convertido en un asunto de gran importancia y profesionalismo, a medida que éstas son más grandes, eficientes y complejas. El constante incremento de costos de equipos y materiales, así como el de las primas de seguros, sumados a la mayor responsabilidad que implica el escape fuera de control de las grandes energías contenidas en los procesos, han incrementado el ímpetu de la industria hacia el objetivo de la prevención de riesgos.

El concepto de seguridad en los procesos se hace necesario en todas las etapas de un proyecto como son diseño, construcción, operación, entrenamiento, mantenimiento, etc.

En la actualidad se cuenta con una serie de técnicas sistemáticas que se aplican para identificar riesgos potenciales en un proceso y para asegurar que se especifiquen medidas para su eliminación y control. Haciendo uso del método apropiado es posible analizar diversos aspectos del riesgo, evaluar su magnitud y probabilidad, así como encontrar sistemáticamente las medidas preventivas o contingentes que eliminen o minimicen el riesgo.

Siempre que se presente una preocupación del nivel de seguridad en una unidad de proceso, se justifica la evaluación de riesgo; sin embargo, también debe realizarse todas las veces que se presenten cualquiera de las siguientes condiciones:

- En el diseño de una nueva unidad de proceso.
- Como resultado de la investigación de un incidente de pérdida (accidentes, incendios, etc.).
- En modificaciones a unidades de proceso, equipos, condiciones de operación, instrumentación de control, dispositivos de seguridad, capacidad de la planta, etc.

La aplicación oportuna del análisis de riesgo genera ventajas tanto en instalaciones nuevas como en las existentes, de acuerdo a lo siguiente:

a) Instalaciones nuevas.

Incide fundamentalmente en la selección de la tecnología (materias primas, intermedias, equipos, condiciones de proceso, etc.); localización de las áreas de proceso (tomando en cuenta comunidades cercanas, disposición de desechos y efluentes, riesgos de la zona, etc.); distribución de la planta (áreas de tanques de almacenamiento, cuartos de control, separación de áreas peligrosas, etc.); instalación de sistemas de prevención y combate de emergencia (equipo contra incendio, sistemas de alarma, protección contra explosión, protección contra fuga de fluidos tóxicos, servicios médicos, etc.); instrumentación (protecciones de seguridad en equipos, instrumentación redundante, confiabilidad de la instrumentación, etc.); procedimientos de operación, mantenimiento y emergencia.

Así mismo, es de fundamental importancia considerar la experiencia del personal de diseño, operación, técnico, mantenimiento y seguridad pues para la elaboración de los estudios de riesgo los enriquecerá con sus conocimientos sobre los equipos y el proceso. Permitirá además, preparar procedimientos óptimos de operación, de arranque y paro de emergencia, sistemas de entrenamiento, programas de mantenimiento, etc.

b) Instalaciones existentes.

Es aconsejable que cada proceso significativo o de alto riesgo sea analizado aproximadamente cada cinco años, o antes si ocurre algún suceso que lo justifique, tales como: aparición de incendios frecuentes, explosiones, interrupciones en la operación, etc.

El diagnóstico de seguridad a una instalación de procesos involucra responder a una serie de preguntas ⁽¹⁾:

- ¿Existen riesgos reales o potenciales?, si es así
- ¿Cuáles son?
- ¿De qué magnitud son?
- ¿Son aceptables?, si no es así
- ¿Cómo se pueden eliminar o reducir?

Las respuestas a estas interrogantes se obtienen a través de un análisis de riesgo. Este proceso requiere cubrir las siguientes etapas generales:

1a. etapa

Conocer a detalle las características de los procesos, los materiales utilizados y su entorno para la identificación primaria de la existencia de posibles riesgos reales y potenciales.

2a. etapa

Identificar los riesgos específicos existentes.

3a. etapa

Evaluar la magnitud del evento y cuantificar sus consecuencias posibles, y si fuese necesario, evaluar la probabilidad de ocurrencia.

4a. etapa

Establecer las medidas preventivas necesarias para eliminar o minimizar el riesgo hasta el grado de aceptación del mismo.

Las técnicas específicas a aplicar en cada una de las etapas dependerá de cada caso en particular y del grado requerido. Cabe mencionar que es indispensable seguir la secuencia de las etapas para optimizar los resultados del diagnóstico

IV.1.- Marco histórico ⁽¹⁾

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

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

La segunda metodología desarrollada e implantada fue la de Inspecciones Planeadas y no Planeadas, a través de 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. Esta metodología se complementa mediante el uso de Listas de Verificación (check list), lo cual facilita su aplicación.

La seguridad y operabilidad son factores significativos que deben ser considerados como parte integral en el diseño de los procesos. La revisión al diseño puede ser llamada la verificación "primaria" de seguridad, la cual normalmente se logra a través de los estándares y códigos de diseño. Muchas organizaciones introdujeron algunas formas de revisiones de seguridad "secundarias" y una versión de ellas consistió en realizar revisiones de seguridad a través de grupos multidisciplinarios. La metodología "What if...?" (¿Qué pasa si...?), empezó a utilizarse frecuentemente por estos grupos de revisión, los cuales en base a su experiencia, aplican la pregunta What if...? (¿Qué pasa si...?) a cada paso del proceso, determinando el efecto de las fallas de equipos o errores de operación. Esta metodología puede ser utilizada para revisar un proceso completo o parte de él, dependiendo de su complejidad. El grupo enfatiza en la revisión de factores no detectables a través de las revisiones visuales, con el fin de identificar los riesgos potenciales en base a sus conocimientos y experiencias, así como establecer las medidas de control más apropiadas.

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

El desarrollo formal de sistemas de análisis de riesgos se inició en la industria aeroespacial, como una respuesta natural a la magnitud de las consecuencias al ocurrir una falla: mal funcionamiento de un misil complejo o sistemas de aeronaves que pudieran resultar en pérdidas de muchas vidas humanas y costos de millones de dólares. Era imperativo el detector de fallas potenciales a priori. La industria nuclear y electrónica implantaron rápidamente los desarrollos de la industria aeroespacial.

A principios de los 60's se desarrolló la metodología conocida como Failure Mode & Effects Analysis (FMEA), la cual es una simple formalización del sistema "What if...?". En esta metodología la palabra clave es formalización, lo que significa que es una metodología que puede ser aplicada a procesos y sistemas complejos. En 1962 se desarrolló la metodología sobre "Fault Tree Analysis" (Análisis de árbol de fallas), la cual consiste en el análisis y cuantificación de un diagrama lógico, el cual identifica la secuencia de todos los eventos que pueden dar como resultado una falla específica (fuego, explosión, derrame, etc.).

Por esos mismos años fue creada la metodología para el análisis de riesgos en la división Mond de ICI, este sistema se conoce como "Hazard and Operability Studies- HAZOP" (Estudios de riesgos de operabilidad).

Esta metodología fue originalmente concebida para aplicarse en el diseño de nuevas unidades operativas o modificaciones a las existentes, pero debido al esfuerzo que involucra, ha sido poco aplicada en plantas existentes. El objetivo de la técnica es estimular la imaginación en forma sistemática y es lo suficientemente flexible para aplicarse a todo tipo de plantas, procesos, equipos, etc.

A través de esta metodología se imaginan "desviaciones" utilizando ciertas palabras clave que, al ser analizadas por un grupo multidisciplinario, permite una búsqueda sistemática de los peligros escondidos en la planta.

Los acontecimientos ocurridos a fines de 1984 y principios de 1985 en México, la India y Estados Unidos, han generado una mayor presión sobre la industria de procesos. En mayo de 1985 la Chemical Manufacturers Association (CMA) integró un grupo especial de trabajo para tratar de dar a conocer a sus asociados las metodologías existentes para el análisis de riesgo. El resultado del estudio muestra que las metodologías más frecuentemente utilizadas por la industria química en los Estados Unidos son:

- What if...?
- HAZOP.
- Lista de verificación.
- Índice Dow.
- Índice Mond.

En la Industria Química en México, el uso formal de metodologías es incipiente y sólo algunos grupos industriales importantes han iniciado su aplicación (Dupont y Celanese Mexicana).

IV.2.- Administración de riesgo ⁽²⁾.

Un estudio de evaluación de riesgos está organizado para identificar y analizar las situaciones de riesgo asociadas a un proceso o actividad. Específicamente esos estudios se utilizan para encontrar los puntos débiles en el diseño y operación de las instalaciones, que pudieran generar emisiones tóxicas a la atmósfera, comúnmente llamadas relevos tóxicos, incendios o explosiones accidentales.

La evaluación de riesgos es la piedra angular de los programas de administración de riesgos, pues se pueden usar para: (1) investigar las causas probables de un accidente, (2) como parte de las herramientas para decidir cambios en el programa de administración de riesgos, y (3) identificar equipos críticos para la seguridad de la instalación.

La aplicación de los estudios de evaluación de riesgos se pueden utilizar en cualquier etapa del proyecto, esto es, desde el diseño hasta la operación del mismo.

Los beneficios de los programas de evaluación de riesgos pueden ser sustanciales, aunque a veces los resultados no se obtengan a corto plazo. Estos beneficios pueden incluir:

- Menor cantidad de accidentes durante la vida útil de la instalación.
- Reducción en las consecuencias de un accidente.
- Mejoramiento en los programas de emergencia.
- Mejoramiento en el conocimiento del proceso, así como en los programas de capacitación.
- Mayor eficiencia y productividad de las operaciones.
- Mejoramiento en las relaciones con las autoridades y la comunidad.

Los estudios de evaluación de riesgos pueden requerir de algunas horas o hasta meses, dependiendo del tamaño y complejidad del proceso o instalación. Para la aplicación de estos programas es necesario organizar un grupo de trabajo que coordine el desarrollo de los estudios y los programas de capacitación del personal.

Los resultados óptimos se obtendrán con la apropiada selección del estudio de evaluación de riesgo, sin embargo, siempre se tendrá alguna de las siguientes limitaciones:

- a) Los analistas no tendrán la seguridad de haber identificado todos los riesgos, así como sus causas y efectos.
- b) Normalmente los resultados y beneficios de los estudios no se pueden verificar directamente.
- c) Los estudios se basan en el conocimiento de los procesos u operaciones; por lo que si el proceso no es bien conocido, o si los diagramas y planos de la instalación no son exactos, o si la información disponible no refleja la forma en que opera el sistema, los resultados no serán de utilidad.
- d) La evaluación de riesgos depende totalmente del juicio, suposiciones y experiencia del equipo de trabajo, por lo que si éste es realizado posteriormente por otro grupo, los resultados podrán ser diferentes.

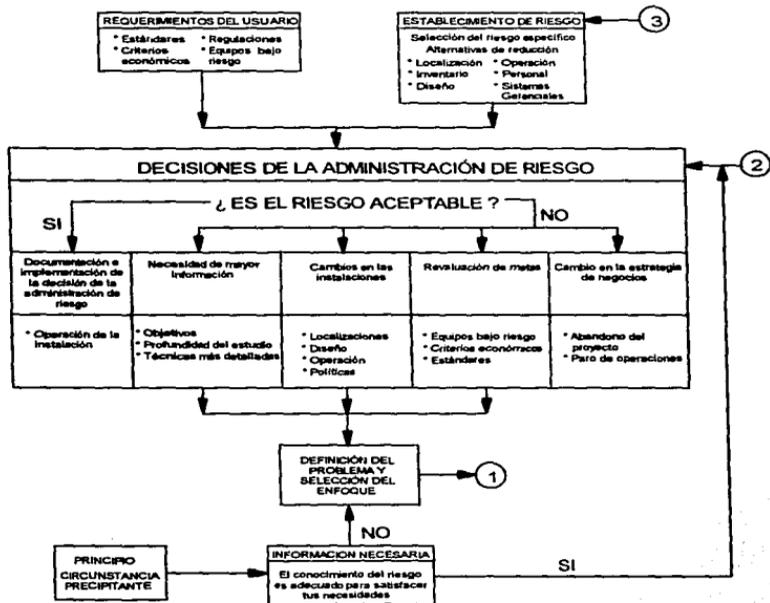
Desde hace unos pocos años se ha tenido un gran progreso en la institucionalización de los Programas Gerenciales de Seguridad de Procesos en la Industria de Procesos Químicos; debido en gran parte a los siguientes factores: (1) aumento en la cantidad de accidentes mayores, (2) iniciativas de ley para regular la seguridad en los procesos, y (3) evolución de los Programas Gerenciales de Seguridad en los Procesos, promovidos por las grandes organizaciones industriales.

La implementación de un Programa Gerencial de Seguridad en Procesos ayudará a administrar los riesgos en la instalación durante su vida útil. El primer paso para implementarlo, es identificando los factores que contribuirán a generar situaciones de riesgo; la forma más sencilla de conocerlos es mediante las siguientes preguntas.

- ¿Qué puede fallar?
- ¿Qué tan probable es?
- ¿Cuál es su impacto?

La adecuada respuesta a estas interrogantes dependerá de la cantidad de información disponible sobre accidentes potenciales, y de las necesidades de la organización para obtenerla. Otro de los factores primordiales es la experiencia y conocimientos de la administración para reconocer los riesgos potenciales.

Bajo circunstancias de un deficiente conocimiento respecto a la identificación de riesgos, es necesario utilizar las técnicas de evaluación de riesgo para tener los argumentos suficientes para tomar las decisiones adecuadas con respecto a un riesgo específico. En la figura 4.1 se ilustra la estrategia global del uso de estudios de riesgo para la administración.



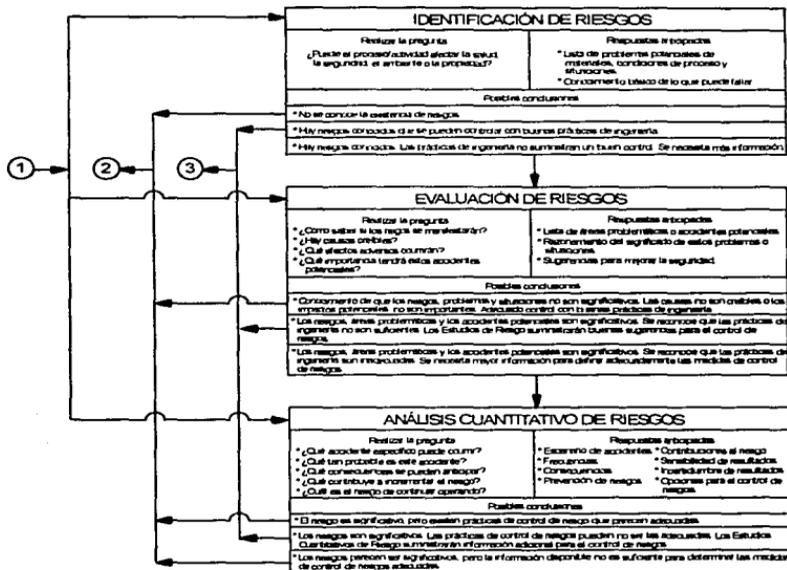


FIGURA 4.1.- ESTRUCTURA TÍPICA PARA LA ADMINISTRACIÓN DE RIESGOS

IV.3.- Identificación del riesgo.

El riesgo de una instalación se puede definir como la probabilidad de que ocurra un accidente y las consecuencias que éste ocasionaría.

Para prevenir un accidente y por lo tanto un desastre, se deben inicialmente identificar los riesgos potenciales asociados a la instalación. La identificación de riesgos se puede utilizar en cualquier etapa de un proyecto y existen diferentes métodos aplicables a cada una de ellas.

La identificación, evaluación y control de los riesgos, puede estar basada en dos criterios:

- Criterios dados por la experiencia adquirida en accidentes.
- Criterios identificados mediante análisis predictivos de riesgos potenciales.

Aunque el identificar, evaluar y prevenir accidentes no garantiza la completa seguridad de la instalación, ayuda a establecer las medidas preventivas y correctivas para disminuir la probabilidad de falla y las medidas de contingencias para minimizar los efectos de un accidente.

Formalmente se puede establecer que el análisis de riesgo es un grupo de metodologías para ayudar a identificar y evaluar los riesgos potenciales de cualquier instalación, así como estimar las consecuencias que provocarían los eventos críticos con probabilidad de ocurrencia significativa.

Para la identificación de riesgos se aplican en términos generales tres tipos de metodologías⁽⁹⁾:

A).- Métodos por Experiencia

- **Investigación de accidentes e incidentes.**

En este método se identifican las causas básicas de eventos ocurridos y el establecimiento de las medidas de control para evitar su reincidencia.

- **Publicaciones de seguridad.**

Evaluación de las acciones tomadas en eventos ocurridos en instalaciones similares y adaptación de las mismas para evitar su reincidencia.

- **Lista de verificación.**

Identificación de desviaciones contra estándares y códigos normalmente aceptados,

- **¿Qué pasa si...?**

Identificación de eventos de riesgo, sus causas y consecuencias. Establecimiento de medidas de control mediante la aplicación sistemática, etapa por etapa del proceso, de la palabra clave ¿Que pasa si...? por un grupo multidisciplinario.

B).- Métodos Analíticos.

- **Árbol de fallas.**

Metodología deductiva que parte de lo general a lo particular, identificando la combinación lógica de fallas que pueden dar lugar a un evento de riesgo.

- **Árbol de Eventos.**

Método inductivo que parte de lo particular a lo general, identificando la combinación lógica de fallas consecuentes iniciando en eventos primarios hasta identificar el evento de máximo riesgo.

C).- Métodos Creativos.

- **Tormenta de ideas.**

Aplicación de la técnica de dinámica de grupos a fin de identificar el mayor número posible de alternativas para que se genere un riesgo en particular.

- **HAZOP.**

Identificación de eventos de riesgo, sus causas, consecuencias y medidas de control, mediante la aplicación sistemática de palabras clave (no, más, menos, además de, inverso, parte de) línea por línea, equipo por equipo, realizado por un grupo multidisciplinario.

Una descripción más detallada de cada una de las técnicas mencionadas anteriormente, es la siguiente:

IV.3.1.- Métodos por experiencia.

IV.3.1.1.- Investigación de accidentes/incidentes ⁽³⁾

Principalmente es a través de la experiencia como la industria en general y particularmente la industria química, ha incrementado la seguridad en los procesos e instalaciones, pero en ocasiones ha sido a costa de la integridad física de sus empleados o instalaciones.

Aunque el objetivo de todas las empresas es no tener accidentes, es difícil que no lleguen a ocurrir, por lo que una forma de evitar eventos similares es investigar y corregir las causas que los originan.

La importancia de investigar y reportar accidentes radica en el hecho de que es indicativo de desviaciones y es necesario tomar acciones para evitarlos.

Es práctica común en las empresas que la mayoría de los accidentes o incidentes se oculten, siendo que el valor más significativo del informar sobre ellos, radica en la capacidad de predecir eventos más serios posteriormente.

Básicamente una investigación de accidentes es un análisis, evaluación e informe de un accidente, tomando como base la información recopilada por un investigador. Una investigación

completa incluye la evaluación objetiva de todos los hechos y opiniones, así como el plan de acción para evitar hechos similares.

Es indispensable que la investigación se efectúe de inmediato pues las personas involucradas recordarán con mayor detalle y además no serían influenciadas por la opinión de los demás. Obviamente si en el accidente los involucrados son lesionados es pertinente diferir la investigación hasta un momento oportuno.

La investigación comienza visitando el sitio del incidente, pues dará en forma rápida una visión del evento. Posteriormente se debe entrevistar a los involucrados principiando con las personas con más preparación.

Para que las entrevistas sean lo más provechosas posibles es necesario que la persona se sienta cómoda y no piense que se trata de perjudicarla. De ser posible es necesario hacer la entrevista en el lugar del accidente, pues el relato será más preciso y con mayor detalle. Las personas deben entrevistarse en privado con el fin de evitar influencias y conjuntar la mejor cantidad de detalles.

Una vez realizada la entrevista, es indispensable realizar un informe completo evitando hacerlo durante la misma.

Esta metodología debe ser considerada como un programa permanente para la identificación, evaluación y control de riesgos, y su única condición es que haya accidentes. Será de poca utilidad la aplicación de técnicas más sofisticadas si el cumplimiento de las acciones determinadas por la investigación de accidentes es pobre; sin embargo, la aplicación de esta técnica dará los criterios para determinar si es necesaria la aplicación de otra metodología.

IV.3.1.2.- Publicaciones de seguridad ⁽³⁾

La experiencia es el método más importante de todos los utilizados para la identificación de riesgos, el método de publicaciones de seguridad está basado en la experiencia colectiva.

En algunas empresas se cuenta con boletines de información periódica en los que describen algunos accidentes mayores e incidentes, con el fin de que los lectores puedan verificar cuando algunas circunstancias aplican en su situación y tomen las medidas correctivas necesarias antes de que un accidente similar ocurra.

Las publicaciones están agrupadas en "internas" y en "externas". Las primeras son editadas por la propia empresa y las segundas son editadas por asociaciones como la N.F.P.A., la A.I.Ch.E. o revistas como la Chemical Engineering, National Safety News, Hydrocarbon Processing, etc.

IV.3.1.3.- Listas de Verificación ⁽³⁾

Organizaciones muy grandes con grupos de ingeniería fuertes han desarrollado estándares de diseño en base a su extensa experiencia en el diseño, construcción y operación de plantas, así como algunas agrupaciones han incorporado la experiencia colectiva para la edición de códigos de diseño relacionados con actividades o equipos en particular (American National Standards Institute, American Society for Testing & Materials, National Fire Protection Association, etc.). En base a

estos estándares se originan las Listas de Verificación con el objetivo de comparar el "es" contra el "debería".

Normalmente las Listas de Verificación son de aplicación particular para cada proceso o instalación, aunque es factible aplicarlas a instalaciones con procesos similares.

Para la elaboración de las Listas de Verificación, primeramente hay que definir los estándares a cubrir por la instalación, siendo estos no necesariamente aquellos con los que originalmente fue diseñada o construida, sino los actualmente vigentes.

Esta definición estará fundamentada en las características de los materiales manejados en la planta, el tipo de proceso y operación, y la ubicación de las instalaciones con respecto a los asentamientos humanos, recursos acuáticos y otras industrias.

Es recomendable estructurar la Lista de Verificación por aspectos de diseño o construcción, o por el tipo de riesgo a identificar, como serían instalaciones eléctricas, instrumentación, obra civil, fuego, explosión, derrames, etc., con el propósito de simplificar su estructura y aplicación.

La utilización de las Listas de Verificación para la identificación de riesgos tendrá óptimos beneficios si se utiliza como complemento en las auditorías a proyectos y en auditorías a plantas en operación.

El momento oportuno para aplicar las Listas de Verificación en auditorías a proyectos, es cuando el diseño a concluido y antes que se aplique el HAZOP. Aunque es factible aplicar esta metodología antes del arranque de la planta, es posible que los resultados no sean los óptimos debido al avance en la construcción.

En las auditorías a plantas en operación, la Lista de Verificación debe aplicarse primero que cualquier otro método de identificación de riesgos, para eliminar las desviaciones contra estándares de diseño, construcción y operación.

En ambos casos de aplicación, las inspecciones deben ser realizadas por grupos multidisciplinarios, a fin de enriquecer con conocimientos y experiencia los resultados.

La identificación de riesgos mediante listas de verificación consta de los siguientes pasos.

- *Definición de objetivos y alcance.*

Debido a que se pueden generar una gran cantidad de Listas de Verificación, es importante que los objetivos y alcances sean definidos claramente para evitar tiempos de respuesta muy largos.

- *Selección del grupo de trabajo.*

Aún cuando las listas de verificación se pueden aplicar por disciplinas, lo cual es recomendable en la etapa de diseño, los resultados más significativos se obtienen con grupos multidisciplinarios, pues se conjuntan diferentes puntos de vista y permiten identificar la mayor cantidad de riesgos.

- *Preparación previa al análisis.*

Esta etapa de la metodología la lleva a cabo el coordinador del análisis. Básicamente esta etapa consiste en hacer los preparativos para elaborar el análisis.

- **Ejecución del Análisis.**

El procedimiento general de aplicación será básicamente el siguiente:

- 1.- Selección del área de la planta a revisar.
- 2.- Selección de una Lista de Verificación.
- 3.- Realizar la inspección.
- 4.- Revisar el resultado.
- 5.- Registrar las desviaciones.
- 6.- Repetir los puntos del 2 al 5 para todas las Listas de Verificación.
- 7.- Repetir los puntos del 1 al 6 para todas las áreas de la planta.
- 8.- Resumir todas las desviaciones identificadas.

- **Registro de resultados.**

Se conjuntan los registros de todas las desviaciones identificadas de las cuales se generará el plan de acción correspondiente.

En el anexo 11 del capítulo VII se incluye una lista de verificación típica para plantas industriales.

IV.3.1.4.- ¿Qué pasa si...? ⁽²⁾

La seguridad y la operabilidad son factores significativos que forman parte integral en el diseño de los procesos. Las revisiones al diseño se agrupan en dos tipos: "primarias" y "secundarias". En las revisiones primarias el nivel de detalle y profundidad es muy alto, para lo cual se utilizan metodologías como el HAZOP, que permite reconocer riesgos difícilmente identificables. Las revisiones secundarias son del tipo general, donde un grupo multidisciplinario identifica los riesgos generales del diseño, realizando la pregunta ¿qué pasa si...? a cada etapa del proceso. Esta metodología puede ser utilizada en las revisiones preliminares del diseño o a plantas en operación.

Para el uso apropiado de la técnica, cada parte de la operación deberá ser evaluada por los miembros del grupo revisor quienes harán las preguntas ¿que pasa si...?, para determinar los efectos de fallas en los equipos o errores de operación en el proceso.

Esta metodología se puede utilizar para revisar un proceso completo o parte de él, dependiendo de su complejidad. El grupo de trabajo enfatiza los factores detectables a través de la observación, como son: limitaciones en las reacciones químicas, efectos de impurezas, materiales de construcción, procedimientos de operación, etc.

La metodología contempla las siguientes etapas:

- **Definición de objetivos y alcance.**

Se deben especificar claramente los objetivos y el alcance del análisis, para la sección que se desea analizar, así como el riesgo que se pretende identificar.

- **Selección del grupo de trabajo.**

Se recomienda que el análisis sea ejecutado por grupos multidisciplinarios. Bajo ciertas circunstancias se puede realizar por disciplinas individuales; sin embargo, no es recomendable pues los resultados serán poco confiables. Las disciplinas involucradas variarán según sea el análisis, en el caso de operación de plantas, las disciplinas serían mantenimiento, producción, procesos, etc., en el caso de revisión a nivel diseño, serán eléctrica, instrumentación, civil, etc.

- **Preparación previa al análisis.**

El trabajo de preparación dependerá del tamaño y complejidad de la planta o proyecto y consta de cuatro etapas:

- Obtención de información (DTI's, PLG's, Balances de materia, etc.).
- Estructuración de la información (Recopilación y distribución de la información al grupo).
- Planeación de la secuencia del análisis (Establecimiento de la agenda de trabajo).
- Coordinación de la reunión (Preparación del lugar de trabajo y material).

- **Ejecución del análisis.**

El análisis se lleva a cabo siguiendo la siguiente secuencia:

- 1.- Seleccionar una parte del proceso.
- 2.- Explicar la intención de la parte seleccionada.
- 3.- Seleccionar una etapa u operación del proceso.
- 4.- Explicar la intención de la etapa u operación.
- 5.- Aplicar la pregunta ¿ Qué pasa si...?
- 6.- Dar las respuestas posibles (consecuencias).
- 7.- Evaluar si las consecuencias son un riesgo.
- 8.- Proponer las acciones para eliminar o reducir el riesgo.
- 9.- Marcar la etapa u operación analizada.
- 10.- Repetir los pasos del 3 al 9 para todas las etapas u operaciones.
- 11.- Repetir todos los pasos anteriores para todo el proceso.

- **Seguimiento.**

Normalmente existen acciones pendientes de evaluar, puntos en desacuerdo o información por recopilar. Se debe hacer una lista de pendientes, indicando responsables y fechas compromiso. Después de un tiempo pertinente se hará una revisión para evaluar el plan de acción. En términos generales las propuestas son de cuatro tipos:

- Cambios en el proceso (recipientes, materiales, instrumentos, etc.).
- Cambios en los procedimientos de operación.
- Cambio en las condiciones del proceso (temperatura, presión, etc.).
- Modificaciones en el diseño físico.

Una vez definidas las acciones, es útil separarlas en:

- Las que eliminan las causas de riesgo.
- Las que reducen sus consecuencias.

con el propósito de estructurar el plan de acción en base a las medidas más significativas.

- **Registro de resultados.**

Para tener un antecedente de todos los estudios es recomendable tener un archivo con:

- Una copia de los diagramas y descripción del proceso.
- Una copia de las hojas de registro de las preguntas, respuestas y acciones propuestas

IV.3.2.- Métodos analíticos

IV.3.2.1.- Árbol de Fallas ^(2, 3)

Debido a la necesidad de analizar la confiabilidad de los sistemas de control y seguridad en los procesos, surgió una nueva metodología llamada Árbol de Fallas. Esta metodología se empezó a utilizar en la N.A.S.A. cuando el programa de proyectiles se enfrentó con un evento de pérdida posible tan grande que no podía ser permitida una primera ocurrencia. Posteriormente, una adaptación de la técnica de la N.A.S.A. se empezó a aplicar en industrias de proceso de Monsanto, Co.

De la década de los 80's a la fecha, ha tenido una amplia aplicación en la industria de procesos químicos de los países industrializados, con el objetivo primordial de identificar los mecanismos de fallas y cuantificar su probabilidad de ocurrencia.

El propósito de un Árbol de Fallas es identificar y evaluar la combinación de fallas de materiales, equipos o humanas, que podrían provocar un accidente; de esta forma, la máxima ventaja de esta

metodología es su capacidad de evitar un accidente por falla de un equipo menor o por un error humano.

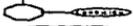
No es posible decir que la probabilidad de ocurrencia de un incidente de pérdida o accidente pueda reducirse en su totalidad. En cuanto haya una capacidad de pérdida existirá una probabilidad y los incidentes de pérdida ocurrirán con la frecuencia dictada por esta probabilidad. Para que haya cero pérdidas, debería haber cero capacidad de pérdida y esto se traduciría en cero capacidad de producción y utilidades. La prevención de pérdidas no es realmente prevención, sino control, sin comprometer la producción y las utilidades. La aplicación del árbol de fallas permite evaluar la probabilidad de falla y compararla con la magnitud de la pérdida. Acciones que por tradición se han venido haciendo intuitivamente en la industria, sin la cuantificación de las probabilidades difícilmente se toma una decisión con el pleno conocimiento de la falla.

Un incidente de pérdida o accidente, como lo son las explosiones, fuego o nubes tóxicas, que en adelante se llamará "T", tiene siempre una o más causas, o sea eventos o condiciones que son desviaciones al estado normal de un sistema. Si sólo uno de los eventos es suficiente para causar "T", entonces la probabilidad de "T" es igual a la probabilidad que ocurra el evento. Si se requieren dos o más eventos y éstos son independientes entre sí, entonces la probabilidad de "T" es igual al producto de las probabilidades de esos eventos.

Un Árbol de Fallas es un modelo gráfico que ilustra la combinación de eventos que causarán una falla de interés, llamada evento máximo. El análisis de Árbol de Fallas es una técnica deductiva que usa los símbolos de la lógica Booleana (compuertas "O", compuertas "Y", etc.), para identificar las causas de un evento máximo a partir de fallas de equipo o errores humanos (llamados eventos básicos).

A continuación se muestran las "compuertas" comúnmente usadas en esta metodología.

TABLA 4.1.- SÍMBOLOS LÓGICOS Y DE EVENTOS USADOS EN EL ÁRBOL DE FALLAS

SÍMBOLO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
	Compuerta "O"	El evento de salida ocurre si cualquiera de los eventos de entrada ocurren.
	Compuerta "Y"	El evento de salida ocurre solamente cuando todos los eventos de entrada ocurren.
	Compuerta "Inhibir"	El evento de salida ocurre cuando el evento de entrada ocurre y la condición de inhibición es satisfecha.
	Compuerta "Retardo"	El evento de salida ocurre cuando el evento de entrada ocurre y el tiempo de retardo especificado ha terminado.
	Compuerta "Intermedia"	Un evento de falla es el resultado de las interacciones de otros eventos de falla que se desarrollan a través de las compuertas lógicas antes descritas.
	Evento "Básico"	Un evento básico es el nivel más bajo en un árbol de fallas.
	Evento "No desarrollado"	Un evento de falla no se desarrolló porque la información no está disponible o porque el desarrollo se narra posteriormente.
	Evento "Externo"	Una condición o un evento se considera como una condición de frontera para el árbol de fallas.
	Símbolos de Transferencia	Símbolos que indican la continuación del árbol.

El análisis comienza con un accidente o evento indeseable que se pretende evitar e identificar sus causas. Cada una de las causas inmediatas (llamados eventos de falla) se analizan hasta llegar a las causas básicas. El Árbol de Fallas muestra las relaciones lógicas entre los eventos lógicos y el evento máximo seleccionado.

Un modelo de Árbol de Fallas se puede usar para generar una lista de combinaciones de fallas (modos de falla) que causan el evento máximo de interés. Estos modos de falla son conocidos como secciones. Una sección mínima es la combinación más pequeña de componentes de falla, que de ocurrir o existir, causarían el evento máximo.

Las fallas descritas en un Árbol de Fallas, se pueden agrupar en tres clases: (1) fallas primarias, (2) fallas secundarias y (3) fallas de comando.

- Las fallas primarias se atribuyen normalmente a un defecto en un componente del elemento que falló y no se atribuyen a alguna condición o fuerza externa.
- Las fallas secundarias no son responsabilidad del equipo que falló, sino que son atribuidas a alguna condición o fuerza externa.
- Las fallas de comando se atribuyen a falla en el elemento de control del equipo.

El análisis del Árbol de Fallas se lleva a cabo en cuatro etapas: (1) definición del problema, (2) construcción del Árbol de Fallas, (3) análisis cualitativo del Árbol de Fallas y (4) documentación de resultados.

1. Definición del problema.

Para la definición del problema es necesario seleccionar el evento máximo y las condiciones de frontera.

El evento máximo es el accidente (o evento indeseable) que será analizado. Este evento se debe definir con precisión utilizando los cuestionamientos Qué, Dónde y Cuándo, pues contestándolos, el evento estará debidamente definido.

La frontera física del sistema incluye el equipo, las interfaces del equipo con otros procesos y los sistemas de respaldo. El análisis debe especificar el nivel de resolución (el detalle del análisis) considerando la información disponible sobre el sistema.

También se considera como una condición de frontera la configuración o condición operacional inicial, pues en base a ella se establece la condición normal del sistema.

2. Construcción del Árbol de Fallas.

La construcción del Árbol de Fallas comienza con el evento máximo y continua de nivel a nivel, hasta que todos los eventos de falla han sido analizados hasta sus eventos básicos. Normalmente el análisis no encuentra inmediatamente los eventos básicos, si es que estos son fácilmente identificables, el problema es demasiado simple para utilizar esta metodología.

A continuación se enlistan las reglas básicas que deben considerarse para la correcta elaboración de un Árbol de Fallas.

TABLA 4.2.- REGLAS BÁSICAS PARA LA ELABORACIÓN DE UN ÁRBOL DE FALLAS.

- **Establecimiento del evento de falla.** Se debe establecer con precisión una descripción de los componentes y el modo de falla de los mismos. Los cuestionamientos "Dónde" y "Qué" especifican el equipo y su estado relevante de falla. El "Por qué" describe la condición del sistema con respecto al equipo, cuestionando el por qué fallará el equipo. Esta secuencia se debe realizar de la forma más completa, evitando simplificarla.
- **Evaluación del evento de falla.** Cuando se evalúa un evento de falla se tiene el siguiente cuestionamiento, ¿Podrá este evento provocar la falla del equipo? Si la respuesta es "sí" el evento se clasifica como "falla estado del equipo"; si la respuesta es "no", el evento se clasifica como "falla estado del sistema". Si el evento es una "falla estado del equipo" se analiza una compuerta "O" con sus posibles fallas primarias, secundarias y de comando. Si el evento es una "falla estado del sistema" se analizan las causas del evento de falla.
- **No considerar fallas improbables.** Se debe estimar el funcionamiento normal de un equipo, cuando este propague una secuencia de falla, sin tratar de suponer fallas milagrosas y totalmente inesperadas para interrumpir o prevenir un accidente.
- **Completar cada compuerta.** Se deben definir completamente todas las entradas a una compuerta en particular, antes de continuar con el análisis de otra compuerta. Para modelos simples es recomendable completar el Árbol de Fallas por niveles y definir totalmente cada uno de ellos antes de continuar con el siguiente.
- **No compuerta a compuerta.** Las entradas de una compuerta deben definir apropiadamente los eventos de falla; esto es, las compuertas no deben estar conectadas directamente a otras compuertas. El tratar de simplificar el desarrollo del Árbol de Fallas puede provocar confusión al no especificar las salidas de las compuertas.

3. Análisis del Árbol de Fallas.

Un Árbol de Fallas completo suministra información útil para visualizar cómo las fallas interactúan para generar un accidente. Sin embargo normalmente es bastante complicado identificar todas las combinaciones de fallas que provocarán un accidente.

Un método para obtener estas combinaciones (secciones mínimas), consiste de cuatro etapas:

- 1.- Identificar únicamente todas las compuertas y eventos básicos.
- 2.- Resolver todas las compuertas en las secciones de eventos básicos.
- 3.- Eliminar los eventos repetidos en las secciones.
- 4.- Eliminar las secciones contenidas en otras secciones.

4. Documentación de resultados.

El paso final en el desarrollo del análisis del Árbol de Fallas es documentar los resultados del estudio, realizando una descripción del sistema analizado, la definición del problema, una lista de suposiciones, el Árbol de Fallas desarrollado, la lista de secciones mínimas y una evaluación del significado de las mismas.

IV.3.2.2.- Árbol de eventos ⁽²⁾

El análisis de un Árbol de Eventos evalúa el potencial para que ocurra un accidente, debido a la falla de un equipo o por un descontrol del proceso (conocido como evento inicial).

A diferencia del Árbol de Fallas (que utiliza un proceso de razonamiento deductivo), el Árbol de Eventos utiliza un proceso de razonamiento inductivo, donde el analista considera en primer lugar un evento inicial y desarrolla las posibles secuencias de eventos que conducirían hacia un potencial accidente, considerando en las secuencias la acción o falla de las funciones de seguridad. Esta metodología permite identificar la secuencia de incidentes, estableciendo la relación entre un evento inicial y los eventos subsiguientes que dan como resultado un accidente.

El procedimiento general para la elaboración de un Árbol de Eventos consta de seis etapas: (1) identificación de un evento inicial de interés que pueda generar un accidente, (2) identificación de las funciones de seguridad diseñadas para mitigar el evento inicial, (3) construcción del Árbol de Eventos, (4) descripción de la secuencia de accidente, (5) determinación de las secciones mínimas de secuencia de accidente y (6) documentación de resultados.

- *Identificación del evento inicial de interés.*

El evento inicial se selecciona de una falla en un sistema o equipo, un error humano o el descontrol del proceso. En el caso de que el evento seleccionado resulte ser un accidente específico, es más conveniente utilizar el Árbol de Fallas para determinar las causas.

- *Identificación de las funciones de seguridad diseñadas para mitigar el evento inicial.*

Las funciones de seguridad usualmente consideradas en el análisis son las siguientes:

- Sistemas que respondan automáticamente al evento inicial (incluyendo el sistema de paro automático).
- Alarmas cuando el evento inicial ocurra.
- Acciones del operador en respuesta a la alarma.
- Acciones de sistemas de mitigación como son: sistemas de relevo de presión, sistemas de enfriamiento, etc.
- Sistemas para limitar los efectos del evento inicial.

- *Construcción del Árbol de Eventos.*

El propósito del Árbol de Eventos es ilustrar el desarrollo de un accidente, comenzando con un evento inicial y procediendo con las respuestas que se tengan de los sistemas de control y seguridad.

El primer paso para la construcción del modelo es plasmar el evento inicial seleccionado y las funciones de seguridad aplicables para el caso, tal como se ilustra en la figura 4.2.

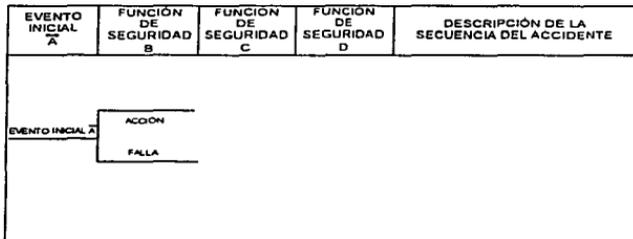


FIGURA 4.2.- CONSTRUCCIÓN DEL ÁRBOL DE EVENTOS

El siguiente paso consiste en evaluar las funciones de seguridad; normalmente existen sólo dos posibilidades de funcionamiento: la acción o la falla. El analista deberá en primer lugar, considerar que el evento inicial ocurre y posteriormente desglosa gráficamente las consecuencias de la acción o la falla de la función de seguridad sobre el curso del accidente. Esta secuencia aplica para cada una de las funciones de seguridad consideradas, hasta llegar al accidente.

- *Descripción de la secuencia del accidente.*

El siguiente paso en el análisis consiste en describir los resultados de las secuencias encontradas. Cabe mencionar que algunas de esas secuencias podrán regresar al sistema a la condición segura, mientras que otras desencadenarán en el accidente.

- *Determinación de la secuencia mínima del accidente.*

Para determinar la secuencia mínima del accidente en un Árbol de Eventos se puede utilizar el mismo procedimiento que en un Árbol de Fallas. En este caso cada secuencia se consideraría como una puerta "Y"; de esta forma cada secuencia sería considerada como un Árbol de Fallas individual. Para encontrar la secuencia mínima de eventos se debe aplicar el procedimiento descrito para el Árbol de Fallas.

- *Documentación de resultados.*

Este es el último paso para el desarrollo del Árbol de Eventos en el cual se conjuntan la siguiente documentación: descripción del sistema analizado, análisis para la definición del problema, eventos iniciales analizados, lista de consideraciones, el Árbol de Eventos, lista de secuencias mínimas y análisis de consecuencias.

IV.3.3.- Métodos Creativos.

Estos métodos están basados principalmente en la creatividad de las personas que participen, sobre todo en la metodología "Tormenta de Ideas". La otra metodología basada en la creatividad son los llamados Estudios de Riesgos y Operabilidad (HAZOP), de este último se abundará enseguida, pues esta metodología cuenta con una estructuración adecuada, misma que no se tiene en la "Tormenta de Ideas".

IV.3.3.1.- Estudios de riesgos y operabilidad (HAZOP) ^(2,3)

El Análisis de Riesgos y Operabilidad (HAZOP) se basa en el principio de que algunos expertos con diferentes puntos de vista pueden interactuar en una forma creativa y sistemática para identificar la mayoría de los problemas cuando trabajan juntos, de mejor manera que cuando trabajan en forma separada.

La técnica del **HAZOP** se desarrolló originalmente para evaluar nuevos diseños y tecnologías, pero es aplicable a todas las fases de un proyecto. La esencia del **HAZOP** es revisar los dibujos y procedimientos de un proceso por un grupo multidisciplinario en una serie de reuniones, usando un protocolo preestablecido para evaluar el significado de las desviaciones al diseño original.

La ventaja principal de la tormenta de ideas asociada al **HAZOP** es que estimula la creatividad y genera nuevas ideas. El éxito del estudio radica en que todos los miembros del equipo expresen libremente sus ideas, evitando la crítica y refrenar el proceso creativo. El estudio del **HAZOP** se enfoca a puntos específicos del proceso u operación llamados "nodos de estudio", uno a la vez examinando cada sección o paso por riesgos potenciales utilizando las palabras guía.

Los componentes se analizan mediante el empleo de palabras claves o guías, las cuales están concebidas para que las palabras exploren todas las posibilidades de que su funcionamiento se desvíe de su intención y propósito de diseño.

Las características principales del estudio **HAZOP** se pueden definir como sigue:

- a) Es una técnica para identificar riesgos y problemas, los cuales impiden una operación eficiente.
- b) Es una técnica que permite a la gente liberar su imaginación y revisar en todas las formas posibles, que riesgos y/o problemas operativos pudieran surgir.
- c) La técnica al ejecutarse en forma sistemática reduce las posibilidades de que algo se pase sin analizar.
- d) Debe considerarse como un concepto de seguridad del proceso para protección del personal, instalaciones y comunidades.

El desarrollo del estudio de HAZOP tiene contemplado los siguientes pasos:

1.- Definición del alcance y los objetivos.

El alcance y los objetivos del estudio deben ser lo más explícitos posibles, dando énfasis en la intención del estudio, pues puede utilizarse para verificar un diseño, verificar los manuales de operación o mejorar la seguridad de la planta. Es importante definir así mismo el tipo de riesgo que se pretende analizar, cómo puede ser el riesgo al personal, a la instalación, a la comunidad o al medio ambiente.

2- Selección del equipo de trabajo.

Para la elaboración del estudio es recomendable conformar un grupo multidisciplinario. El grupo debe estar integrado por personal técnico como son el ingeniero de proceso, el ingeniero mecánico, el ingeniero operativo, etc., así como un personal soporte que fungirá como líder del estudio y el secretario.

3.- Actividades de preparación.

- a) Otención de toda la información relevante. Para el correcto desarrollo del estudio es fundamental que la información recopilada sea actualizada; de otra forma, el estudio no tendrá validez.

La información mínima requerida es: propiedades de los materiales usados en el proceso, (materias primas, subproductos, desechos, etc.); dibujos y diagramas de balance de materia, diagramas de tubería e instrumentación, arreglos de equipo, etc.; la descripción operacional del proceso; el historial de accidentes/incidentes y la bitácora de mantenimiento.

- b) Preparación de la información para su aplicación directa al estudio. Algunas veces la información referente al proceso no es lo suficientemente clara para aplicarla en el estudio; en estos casos el líder debe realizar los cambios necesarios en la información para su aplicación directa.
- c) Preparación de la secuencia del estudio. El líder del estudio en conjunto con el grupo, determinará el programa del estudio, definiendo claramente los trabajos y fechas compromiso.

4.- Desarrollo práctico del trabajo.

Como primera actividad en este punto se selecciona un elemento del sistema, generalmente un recipiente o equipo; se revisa el propósito y funcionamiento del elemento y se analizan posteriormente las líneas, conexiones o accesorios aplicando las palabras clave.

Las palabras clave normalmente usadas son: **NO, MÁS, MENOS, TAMBIÉN, PARTE DE, ADEMÁS, TANTO COMO, MÁS QUE,** etc. (incluir todas las que se identifiquen).

Una vez identificado el riesgo se puede proceder de la siguiente forma, encontrar la solución a este riesgo y posteriormente pasar al otro elemento, o bien, encontrar todos los riesgos y entonces proceder a encontrar todas las soluciones.

5.- Actividades de seguimiento.

Las sesiones de trabajo se dividen en dos clases: de examen y evaluación, y acción. Las soluciones que se encuentran para evitar o disminuir el riesgo normalmente son: cambios en el proceso, cambios en las condiciones del proceso, alteración en el diseño físico del sistema, cambio en la secuencia de operación, implementación de sistemas de seguridad para prevenir accidentes o minimizar las consecuencias de estos.

Es importante mencionar que las soluciones encontradas pueden tener dos efectos sobre el riesgo: remueven la causa de riesgo o reducen las consecuencias.

6.- Registro de los resultados.

Una vez concluido el estudio es recomendable generar un archivo que contendrá al menos lo siguiente:

- a) Copia de todos los documentos utilizados en el estudio.
- b) Copia de todas las notas de trabajo que contengan las preguntas, respuestas, recomendaciones, etc.
- c) Se recomienda ubicar el archivo en la instalación.
- d) La información generada se puede usar en trabajos posteriores para mejorar los sistemas y procedimientos.

El proceso de registro es una parte importante del HAZOP. Se debe asignar a una persona para escribir los resultados de las reuniones. Normalmente los resultados de las reuniones se registran en un formato como el que se muestra a continuación.

Equipo: _____ No. de dibujo: _____

Fecha de reunión: _____ No. de revisión: _____

Número	Desviación	Causa	Consecuencia	Salvaguarda	Acciones
--------	------------	-------	--------------	-------------	----------

Nodo de estudio, sección del proceso o descripción del paso operativo
Definición de la intención del diseño

A continuación, en la figura 4.3 se muestra una secuencia detallada para elaboración de estudios HAZOP.

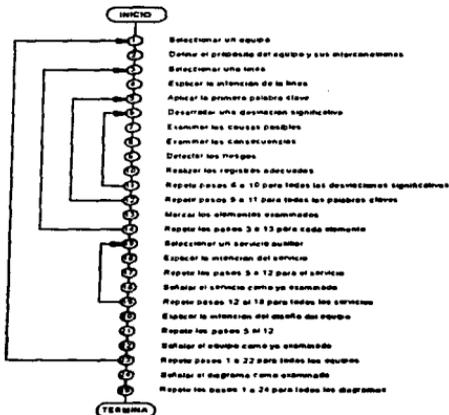


FIGURA 4.3 SECUENCIA PARA LA ELABORACIÓN DEL HAZOP

IV.3.4.- Jerarquización de Riesgos o Técnicas de Clasificación Relativa ⁽⁷⁾.

La Jerarquización de Riesgos o Técnicas de Clasificación Relativa sirven para clasificar los riesgos de las áreas de proceso u operaciones de plantas comparando los atributos de riesgo de las sustancias, condiciones de proceso y parámetros de operación.

Algunas veces estas técnicas se utilizan para comparar la ubicación de un proceso o las alternativas de un diseño. Las técnicas establecidas varían ampliamente en forma y complejidad y pueden ser tanto cualitativas como cuantitativas.

El proceso de identificación y cuantificación potencial de los parámetros para una técnica de Clasificación Relativa puede ser más importante que la mayoría de las otras técnicas de evaluación de riesgos. Como esta técnica puede desarrollarse independientemente por otra organización, es necesario que los analistas tengan amplia experiencia en el proceso, antes de hacer los juicios necesarios para clasificar correctamente los riesgos.

Los métodos de Clasificación Relativa pueden enfocarse a riesgos por fuego, explosión, toxicidad, seguridad, salud, medio ambiente y efectos económicos. Usando estas técnicas, el analista puede comparar más de una área de proceso, o bien, algunos diseños de una misma área

de proceso. Las Clasificaciones Relativas se pueden usar en cualquier fase de la planta o vida del proceso para:

- Identificar las áreas individuales del proceso que contribuyan en mayor medida al riesgo global y sus atributos de accidente.
- Identifica las propiedades del material clave, las condiciones de proceso y/o las características del proceso que contribuyan en mayor medida al riesgo y sus atributos de accidente.
- Utiliza los riesgos identificados y sus atributos de accidente para discriminar las opciones de diseño, localización u operación.
- Compara los riesgos identificados y sus atributos de accidentes de las áreas de proceso con otras características para mejorar el conocimiento sobre ellas.

Las técnicas de Clasificación Relativa no usan cálculos detallados de riesgo, en su lugar utilizan registros numéricos o índices basados en comparaciones de riesgo del proceso. Como el riesgo está fundamentalmente asociado con la existencia de un peligro y la combinación de probabilidades y efectos de un accidente, estas técnicas pueden demostrar una dependencia con estos factores.

En la tabla 4.3 se indican los Índices de Clasificación Relativa más conocidos.

TABLA 4.3 RESUMEN DE ÍNDICES DE CLASIFICACIÓN RELATIVA

**Índice Dow para fuego y explosión
(F&E)**

Evalúa los riesgos de fuego y explosión asociados con "unidades de proceso" discretas (equipos que manejan materiales inflamables o explosivos). Considera una variedad de factores que incluyen las propiedades del material, condiciones del proceso, diseño del proceso y características operativas, distancias de áreas adyacentes, existencia de sistemas de seguridad y protección contraincendio, etc. El resultado final es un índice para cada unidad de proceso analizada. La clasificación de las unidades de proceso se puede usar para: (1) especificar mejoras en los sistemas de seguridad o (2) identificar áreas para una evaluación posterior a mayor detalle.

Índice Mond

Desarrollada por la División Mond de ICI, esta técnica es una extensión de Índice Dow. El Índice Mond específicamente incluye factores para considerar los riesgos por toxicidad asociados con los materiales. Una revisión del método (1985) incluye además algunos riesgos para la salud. Este método se ha utilizado poco en E.U.A. principalmente por su baja difusión.

**Índice de riesgo de la sustancia
(SHI)**

Propuesto por la "Organization Resources Counsellors" (ORC) en su asesoría para la OSHA. Es una forma de clasificar los riesgos del material. Definido como "la concentración de equilibrio del vapor (EVC) de un material a 20°C dividido por una concentración de toxicidad". El índice relaciona la tendencia del material, si es relevado, a viajar en el aire y el efecto en la gente al inhalarlo. El EVC es la presión de vapor del material (mmHg) X 10⁷/760.

Índice de riesgo del material (MH)

Usado por el Estado de California para determinar las concentraciones umbral de daño de materiales peligrosos para su uso en la administración de riesgos y prevención de accidentes. Definido como la presión de vapor del material a 25° C dividido entre un nivel de interés. Los niveles de interés se pueden definir en base a la toxicidad, fuego, explosión u otros tipos de riesgo que se puedan propagar en aire.

Índice de exposición química (CEI)

Desarrollado por la Cia Química Dow. Relaciona cinco factores que pueden influir en los efectos de un material relevado: (1) toxicidad aguda, (2) porción volátil del material relevado, (3) distancia con áreas de interés, (4) peso molecular de la sustancia, y (5) parámetros de proceso como son temperatura, presión, reactividad y otros. El CEI es el producto de los valores asignados para cada uno de los factores de interés usando valores arbitrarios.

Índice SARA título III Cantidad umbral planeada

Desarrollado por la "Environmental Protection Agency" (EPA) para determinar cuales son las sustancias extremadamente peligrosas y sus concentraciones umbral que puedan ser cubiertas por el SARA título III. El índice es una función de la presión de vapor del material, el IDLH (inmediatamente peligroso a la vida y a la salud) a los 30 minutos y la dispersión gaussiana calculada a una distancia de 100 m. de la fuente de relevo

Si una organización desea realizar sus propios índices de clasificación, debe considerar los siguientes factores:

- a) Propiedades del material (estado físico, presión de vapor, densidad, viscosidad, nivel de toxicidad, límites de inflamabilidad, punto de flasheo, temperatura de autoignición, reactividad).
- b) Condiciones del proceso (temperatura, presión, cantidad de materiales, concentración relativa de materiales, ambiente operacional).
- c) Características del proceso y sistemas auxiliares (purgas, ventilación, instalaciones, enfriamiento, calentamiento, reacciones exotérmicas, almacenamiento a presión).
- d) Diseño de sistemas y construcción (equipo contraincendio, contra explosiones, localización y espaciamiento de equipos, resistencia a la corrosión/erosión, resistencia a desastres naturales, redundancias).
- e) Actividades operacionales (entrenamiento de operadores, procedimientos escritos, situaciones error- probabilidad, márgenes de operación, políticas operacionales).
- f) Actividades de administración de riesgos (intervalos de inspección y prueba, actividades y políticas de mantenimiento, programas de seguridad y revisión de riesgos, administración de cambios de política).
- g) Posibilidades de exposición (frecuencia y tiempo de operación, número de actividades del operador, número de piezas del equipo).

A continuación se dará una descripción más detallada de los Índices Dow y Mond, que son los métodos de Clasificación Relativa más usados.

IV.3.4.1.- Índice Dow para fuego y explosión ^(3,4,5)

La metodología del Índice Dow para fuego y explosión tiene la secuencia de actividades mostrada en la figura 4.4 siguiente:

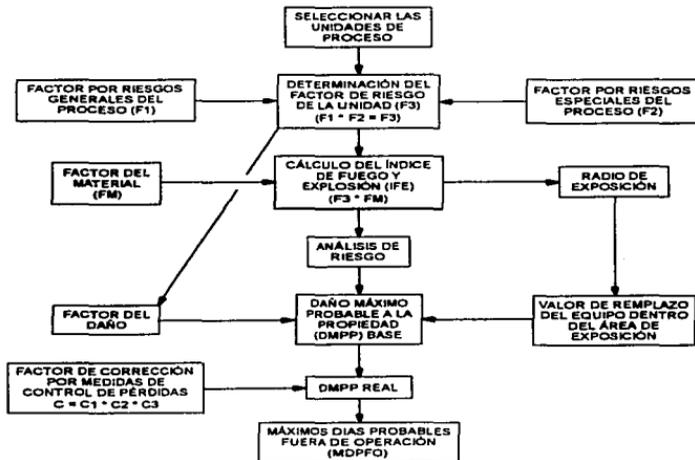


FIGURA 4.4.- SECUENCIA DE ACTIVIDADES PARA EL DESARROLLO DEL ÍNDICE DOW

La secuencia de actividades en el análisis del Índice Dow contempla los siguientes eventos:

1. Identificación de equipos de proceso de mayor contribución en caso de fuego o explosión.
2. Determinación del factor del material para los equipos de proceso.

3. Evaluar la contribución de cada factor de riesgo (riesgos generales y especiales del proceso) y aplicar las penalizaciones correspondientes.
4. Obtener el factor de riesgo del equipo (producto de los riesgos generales y riesgos especiales). Este factor indica el grado de riesgo del equipo y junto con el factor del material se determina el factor de daño.
5. El producto del factor de riesgo del equipo y el factor material representa el Índice de Fuego y Explosión (IFE). Se usa para determinar el área de exposición alrededor del equipo evaluado.
6. Determinación del valor de los equipos comprendidos dentro del área de exposición y cálculo del daño máximo probable a la propiedad base (DMPP - base).
7. El DMPP - base se puede reducir a un DMPP - real, aplicando los factores de corrección por medidas de control, o relocalizando equipos de alto valor fuera del área de exposición.
8. El DMPP - real se utiliza para obtener el número máximo de días probables fuera de operación (MDPFO).

1. Selección del equipo de proceso.

Se entiende como equipo de proceso cualquier parte principal de una unidad de proceso, como bombas, compresores, reactores, hornos, tanques de almacenamiento, etc.

El IFE se calcula para todos los equipos que tengan impacto en el área de proceso. Aunque técnicamente se deben calcular todos, en la práctica sólo se hace para los equipos de mayor repercusión en base al muestrario, contenido, reacciones o condiciones de operación; a final de cuentas el objetivo es identificar el área de mayor riesgo para determinar el impacto en la inversión y el posible paro de actividades.

2. Factor del material (FM).

El factor del material es una medida de la cantidad de energía liberada por un compuesto químico, mezcla o sustancia. El FM se determina considerando dos riesgos del material: Inflamabilidad (NI) y Reactividad (NR).

Los especialistas de Dow han realizado una tabla con el FM y otros datos como el calor de combustión (Hc), NI y NR, para los materiales más comunes.

En caso de que el material de interés no se encuentre en esa tabla, existen criterios para evaluar el FM en base al estado de agregación del material; gases líquidos o sólidos, polvos y mezclas de compuestos y principalmente en su inflamabilidad y su reactividad.

En el anexo 12 del Capítulo VII se incluyen las tablas 12A y 12B con el factor material para los compuestos más comunes y una guía para determinar el factor material, respectivamente.

3. Riesgos Generales del Proceso (F1).

La intención para determinar los riesgos generales del proceso es identificar los conceptos que incrementan la magnitud de un probable incidente y que están relacionados con el tipo de proceso, la distribución del equipo, las condiciones del drenaje y el manejo y almacenamiento

de productos, para aplicar una penalización adecuada que sirva cuantitativamente para calificar los riesgos.

Los conceptos manejados para identificar los riesgos generales del proceso son:

- a) Reacciones exotérmicas: dependiendo del tipo de reacción, se tendrá un factor de penalización; en términos generales se consideran las hidrogenaciones, hidrólisis, isomerización, sulfonación y neutralización con factores de 0.3, sin embargo, hay reacciones como la alquilación, oxidación, polimerización, halogenización y nitración donde el factor llega hasta 1.25.
- b) Reacciones endotérmicas: para este tipo de reacciones como son la calcinación, electrólisis y pirólisis, la penalización es de 0.2.
- c) Transferencia y manejo de materiales: en esta sección se cubren las funciones relacionadas con el mezclado, carga, descarga y almacenamiento de materiales. Las penalizaciones de esta sección van desde 0.25 para el almacenamiento de líquidos combustibles, hasta 0.85 para gas L.P. Las penalizaciones de esta sección se aplican sin tomar en cuenta la cantidad del material y considera la exposición por manejo y participación potencial en incendios.
- d) Equipos de procesos encastrados: tomando en cuenta el alto grado de exposición que involucra el contar con áreas cerradas, se aplican penalizaciones desde 0.3 para líquidos inflamables arriba del punto de inflamación y abajo del de ebullición, hasta 0.6 para gas L.P.
- e) Accesos: en esta sección se consideran los accesos a equipos de emergencia donde, si estos son inadecuados, la penalización es de 0.35.
- f) Drenaje: como los diseños inadecuados han sido causa de grandes pérdidas por derrames de líquidos inflamables, en esta sección se considera penalizaciones desde 0.25 para diques con drenaje hacia un receptor cerrado, hasta 0.5 para diques sin salida.

4. Riesgos Especiales del Proceso (F2).

Los puntos que se indicarán enseguida se han identificado como causas de incidentes que aumentan la probabilidad de un fuego o explosión.

- a) Temperatura de proceso: en este punto se consideran riesgos por tener temperaturas menores o mayores a las del punto de inflamación del material, así como materiales susceptibles de auto inflamación. Las penalizaciones van de 0.3 hasta 0.75.
- b) Bajas presiones (subatmosféricas): en este punto se considera el riesgo del manejo de materiales que por contacto con el aire o humedad generan riesgo de fuego o explosión. La penalización es de 0.5.
- c) Operación en o cerca de rango de inflamabilidad: si existen condiciones de operación que puedan propiciar la mezcla del material con aire y se genere una mezcla inflamable, se deben aplicar las penalizaciones desde 0.3 hasta 0.8.
- d) Explosión de polvos: el tamaño de partícula determina su capacidad para permanecer en suspensión en el aire y también la energía potencial en caso de ignición. Las penalizaciones de esta sección se aplican a cualquier operación de manejo, transferencia, mezclado, molienda, empaclado, etc. de partículas. Si éstas tienen tamaños mayores a 175 μ , la penalización será de 0.25, y si tiene tamaños inferiores a 75 μ , su penalización será de 2.0.

e) **Alivio de presión:** cuando la presión está por arriba de la atmosférica se utiliza esta penalización para compensar la exposición cuando se incrementa la presión. El riesgo en estos equipos se debe a un posible relevo de gases o líquidos. Las penalizaciones van de 0.7 para materiales viscosos hasta 0.85 para gases comprimidos.

f) **Bajas temperaturas:** en esta sección se estiman los daños posibles que sufre el acero al carbón cuando se opera a/o por abajo de su temperatura de transición. Dependiendo de la temperatura, se aplican penalizaciones desde 0.2 hasta 0.5.

g) **Cantidad de material inflamable:** en esta sección se toma en cuenta el riesgo de acuerdo a la cantidad de material inflamable. Se tienen tres categorías para su evaluación.

- **Gases y Líquidos en Proceso:** aquí se consideran líquidos inflamables, gases o gases licuados en el proceso. Se evalúa la penalización utilizando la figura 12A incluida en el anexo 12, de factor de penalización contra capacidad calorífica total del material.
- **Almacenamiento de gases y líquidos:** aquí se estima que el almacenamiento de líquidos inflamables, gases y gases licuados, ya sea en tanque, tambores o contenedores portátiles, representan un riesgo menor. Al igual que en el caso anterior, se evalúa la capacidad calorífica total en los recipientes o contenedores y con la figura 12B del anexo 12, se evalúa el factor de penalización.
- **Almacenamiento de sólidos combustibles:** en esta sección se evalúa la penalización tomando en cuenta la densidad del sólido y la cantidad almacenada, se calcula el poder calorífico total; con este dato se evalúa la penalización utilizando la figura 12C del anexo 12.

h) **Corrosión y erosión:** en esta sección se evalúa la penalización debido a velocidades de corrosión del material. La penalización va desde 0.1 hasta 0.75 según la velocidad de corrosión.

i) **Fugas en juntas y empaques:** en esta sección se definen las penalizaciones por la estimación de fugas en juntas. Estas penalizaciones van desde 0.1 hasta 1.5 de acuerdo al tipo de juntas de que se trate.

j) **Equipos calentados a fuego directo:** como es obvio, la presencia de equipos calentados por fuego directo como son los hornos, calderas, etc., representan un alto riesgo por la probabilidad de ignición de vapores inflamables que se hayan fugado. Para la evaluación de la penalización se utiliza la figura 12D del anexo 12 y se determina el factor de penalización con la distancia entre la fuente de ignición y la posible fuga.

k) **Sistemas de intercambio de calor con aceite caliente:** debido a que los sistemas de transferencia de calor que utilizan líquido combustible como medio de intercambio de calor representan un riesgo de incendio, sobre todo si se opera por arriba del punto de inflamabilidad del medio de intercambio, se estiman penalizaciones para estos sistemas considerando principalmente la cantidad de fluido de intercambio de calor y la temperatura de operación, las penalizaciones van desde 0.15 hasta 1.15.

l) **Equipo rotatorio:** de acuerdo a estadísticas se ha determinado que las bombas y compresores por encima de una capacidad determinada, son factores que contribuyen a un incidente con pérdidas. Se utiliza una penalización de 0.5 para bombas de más de 75 HP o por compresores de más de 600 HP.

5. Factor de Riesgo del Equipo (F3).

El factor de riesgo del equipo es el producto de los riesgos generales del proceso (F1) y los riesgos especiales del proceso (F2). Este factor tiene un rango de 1 a 8, y representa la magnitud del daño probable considerando todos los riesgos de la sección evaluada. Con el factor material y el factor de riesgo del equipo, se determina por medio de la figura 12E incluida en el anexo 12, el factor de daño.

El factor de riesgo del equipo pasa a ser la escala del factor de daño, y representa el efecto global de un incendio, más el daño resultante de la onda de choque producida por una liberación de combustible o energía causada por los factores asociados con el equipo.

6. Índice de Fuego y Explosión (IFE).

El cálculo del IFE es un procedimiento para medir el daño probable a una instalación. Los factores antes vistos indican la magnitud y probabilidad de una liberación de energía o combustible debido a fallas en el control del proceso en el equipo, etc.

El efecto de un incendio y/o explosión se divide en:

- a) Onda de choque o deflagración.
- b) Exposición al fuego debido a la liberación original.
- c) Liberación de combustibles como evento secundario.

Es importante mencionar que los eventos secundarios se hacen más significativos a medida que el factor de riesgo del equipo y el factor material se incrementan.

Una vez conocido el índice de fuego y explosión, se determina el radio de exposición mediante una gráfica. Esta área de exposición indicará los equipos aledaños que serán factibles a dañarse por fuego o explosión.

El valor del equipo dentro del área multiplicado por el factor de daño, dará el daño máximo probable a la propiedad (DMPP) base. El IFE también especificará el grado de riesgo en base a la tabla 4.4.

TABLA 4.4.- GRADO DE RIESGO DE LA INSTALACIÓN DE ACUERDO AL IFE

<u>RANGO DEL IFE</u>	<u>GRADO DE RIESGO</u>
1-60	LIGERO
61-96	MODERADO
97-127	INTERMEDIO
128-158	GRAVE
MAS DE 158	SEVERO

7. Daño Máximo Probable a la Propiedad (DMPP)Base.

El **DMPP - base** es el valor de reemplazo de los equipos dentro del área de afectación.

$$\text{Valor de reemplazo} = \text{costo original} * 0.82 * \text{factor de escalamiento}$$

El factor **0.82** es una tolerancia estadística para conceptos no sujetos a reemplazo o pérdida como son: la preparación del lugar, camino, líneas subterráneas, ingeniería, etc.

Cuando se calcula el **DMPP - base** es necesario considerar el inventario de materiales y el valor de los equipos, para que el dato sea representativo del daño causado.

8. Factores de Crédito por Medidas de Control de Pérdidas.

Existen varios dispositivos de seguridad básicos que se incluyen en cualquier diseño de plantas, los cuales deben cumplir con diferentes normas y códigos como son el API, ASME; NEC, etc. Además de estos dispositivos básicos hay otros medios para:

- 1° Minimizar la exposición del área donde ocurre el incidente.
- 2° Reducir la probabilidad y magnitud del incidente.

Se han clasificado tres categorías para las medidas de control de pérdidas:

- C₁ Control de Procesos.**
- C₂ Aislamiento de Materiales.**
- C₃ Protección contra incendio.**

El producto de todos los factores involucrados en cada una de estas categorías dará como resultado un factor de crédito real que en base a la figura 12F del anexo 12 y del **DMPP-base**, ayudará a obtener el **DMPP-Real**.

Las medidas de control de pérdidas deben seleccionarse por su contribución a reducir o controlar el riesgo que se evalúa y no únicamente para acumular créditos.

A continuación se enlistan los factores de crédito o de seguridad para cada categoría.

Control de Procesos (C₁).

- a) Enemía de Emergencia (0.97).- Suministro de energía eléctrica de emergencia para servicios críticos.
- b) Enfriamiento (0.95 a 0.98).- Sistemas de enfriamiento de emergencia durante condiciones anormales.

- c) Control de Explosiones (0.75 a 0.96).- Sistemas de alivio de presión para protección de equipos.
- d) Paro de emergencia (0.94 a 0.98).- Sistemas redundantes que actúen con 2 o 3 condiciones anormales e inicien la secuencia de paro.
- e) Control por Computadora (0.89 a 0.98).- Los créditos aumentan conforme se automatice en mayor medida el proceso.
- f) Gas Inerte (0.9 a 0.94).- Suministro de gas inerte para prevenir atmósferas peligrosas.
- g) Instrucciones de Operación. (0.86 a 0.99).- Se obtienen créditos por contar con procedimientos de operación que cubran desde el arranque hasta la revisión de situaciones anormales.
- h) Revisión de Reactivos Químicos (0.85 a 0.96).- Contar con programas de revisión de reactivos químicos de aplicación continua.

Aislamiento de Materiales (C₂).

- a) Válvulas de control remoto (0.94).- Contar con válvulas de corte con control remoto para su cierre en caso de emergencias.
- b) Descarga a vertedores (0.94 a 0.96).- Contar con tanque receptor de fluidos en caso de emergencia.
- c) Drenaje (0.85 a 0.95). Contar con drenajes de la capacidad suficiente para drenar grandes cantidades de producto.
- d) Interlock (0.96). Contar con sistemas interlock para prevenir flujos incorrectos.

Protección Contra incendio (C₃).

- a) Detección de fugas (0.90 a 0.97).- Sistemas de detección de gases con alarma.
- b) Acero estructural (0.92 a 0.97).- Contar con cubiertas resistentes al fuego en estructuras.
- c) Tanques enterrados (0.75 a 0.85).- Contar con tanques de doble pared o enterrados para almacenamiento de fluidos peligrosos.
- d) Suministro de agua (0.90 a 0.95).- Contar con equipo de bombeo y capacidad suficiente para suministrar agua contra incendio.
- e) Sistemas especiales (0.85).- Contar con sistemas de detección y control de incendios con halon, CO₂, detectores de humo, etc.
- f) Sistemas rociadores (0.60 a 0.96).- Sistemas de distribución de agua contra incendio.
- g) Cortinas de agua (0.95 a 0.97).- Sistemas de cortinas de agua entre fuentes de ignición y equipos que liberen vapores.

- h) Espuma (0.87 a 0.98).- Sistemas de espuma contra incendios.
- i) Extintores manuales y monitores (0.92 a 0.97).- Conlar con extintores portátiles o monitores.
- j) Protección de cables (0.90 a 0.96).- Contar con sistemas de esprayado de agua hacia charolas con cables eléctricos o tener canalizaciones enterradas.

9. Daño máximo probable a la propiedad (DMPP) real.

El **DMPP - real** es el producto del **DMPP - base** y el factor de crédito por medidas de control de pérdidas y representa el daño a la propiedad provocado por el peor incidente, considerando que las medidas y equipos de contingencia funcionen correctamente.

10. Días máximos probables fuera de operación (DMPFO).

Es importante estar consciente que hay dos tipos de pérdidas que pueden resultar en la mayoría de los incidentes.

- a) Daños a la propiedad (costo de reparación o reemplazo de equipos, estructuras o edificaciones dañados).
- b) Pérdida de capacidad para producir un artículo en particular, el cual se traduce en "interrupción del negocio" y es la relación entre el valor del producto manufacturado y el **DMPFO**.

El **DMPFO** se obtiene de la figura 12G del anexo 12, con el **DMPP-real**, y para obtener la "interrupción del negocio" se utiliza la siguiente fórmula:

$$\$IN = \frac{DMPFO}{30} (VPM)(0.7) \quad \text{donde: } VPM = \text{Valor del producto manufacturado,}$$

IN = Interrupción del negocio.

IV.3.4.2.- Índice Mond para Fuego, Explosión y Toxicidad ^(3,3)

Como primera actividad para determinar el **Índice Mond** se requiere seleccionar una sección de la planta, la cual será normalmente una área donde exista un proceso o riesgo en particular, diferente a los presentes en otras secciones.

Es importante mencionar que al dividir la planta en secciones se caracterizaría el riesgo en esas secciones en particular. De considerar la planta en su totalidad, se podría considerar erróneamente un riesgo mayor para toda la planta.

Como segundo paso para determinar el **Índice de Mond**, se tiene que hacer una lista de materiales presentes en la sección y seleccionar aquel o aquellos que se consideren de mayor riesgo en base a su inflamabilidad, toxicidad y a la cantidad.

A.- Determinación del factor material.

El factor material (FM) se define como una medida del fuego, explosión o energía potencial liberada por el material clave a 25 °C y a presión atmosférica.

El factor material (FM) se evalúa en función al tipo de material, considerando:

a) Materiales inflamables.

$$FM = \frac{\Delta H_c}{1000}$$

donde: ΔH_c = poder calorífico del material clave (BTU/lb)

b) Materiales poco inflamables.

$$FM = \frac{\Delta H_R (1.8)}{M}$$

donde: ΔH_R = calor eq. de combustión (Kcal/gr).

M = peso molecular del combustible.

c) Materiales no combustibles.

Son materiales que no dan calor neto de combustión con oxígeno como el agua, nitrógeno, CO₂, etc.. Considerar FM = 0.1.

d) Mezclas de materiales inflamables con diluyentes.

Considerar el FM del material más combustible a menos que éste se encuentre con una proporción fija de diluyente; en este caso efectuar una relación en función del peso, considerando al diluyente como FM =1.

e) Sólidos y polvos combustibles.

Considerar FM = 0.1.

f) Materiales de composición no especificada.

Casos de materiales patentados, se debe calcular con:

$$FM = \frac{PT}{288(6.2)}$$

donde: P = Presión de explosión máxima (Psig).

T = Temperatura inicial (°K).

g) Combinación de materiales que pueden reaccionar.

Combinación de materiales donde el calor de reacción excede el calor de combustión. Bajo estas condiciones el FM se calcula de la siguiente manera:

$$FM = \frac{\Delta H_R' (18)}{M'}$$

donde: $\Delta H_R'$ = calor de reacción de un componente (Kcal/gr-mol)
 M' = peso molecular del componente i, más el peso molecular equivalente de los otros componentes.

B.- Riesgos especiales del material.

La intención de determinar los riesgos especiales del material tiene por objeto tomar en cuenta las propiedades especiales del material clave cuando se mezcla con otros componentes. Entre las situaciones que se pueden presentar están:

- a) Materiales oxidantes (0 - 20).- Material que libere oxígeno en presencia de fuego.
- b) Materiales que reaccionan con agua para producir gas combustible (5 - 30).
- c) Características de mezclado y dispersión.
 - Gases inflamables de baja densidad (-20 - (-60)).- gases de fácil dispersión.
 - Gases licuados inflamables (30).
 - Líquidos criogénicos inflamables (60).
 - Materiales viscosos (-20).
- d) Sujetos a calentamiento espontáneo (30 - 250).- Materiales pirofóricos o sujetos a calentamiento bajo almacenamiento.
- e) Polimerización espontánea (25 - 75).
- f) Sensibilidad a la ignición.(-75 - 150).
- g) Sujetos a descomposición explosiva (125).
- h) Sujetos a detonación gaseosa (150).
- i) Propiedades explosivas de la fase condensada (200 - 1500).
- j) Comportamiento extraño (150).

C.- Riesgos Generales del Proceso.

Aquí se considera el riesgo inherente en las operaciones básicas del proceso.

- a) Solo manejo y cambio físico (10 - 50).- Tipo de almacenamiento, temperatura de almacenamiento, sistemas cerrados y centrifugado.
- b) Reacciones continuas simples (25 - 50).- Reacciones endotérmicas, exotérmicas y manejo de sólidos.

- c) Reacciones por lotes simples (35 - 110).- Considera el tipo de reacción del punto anterior más un factor adicional por posible error del operador.
 - d) Multiplididad de reacciones o diferentes acciones en un mismo recipiente. (30 - 75). Se considera la reacción más crítica y se considera el riesgo de contaminación.
 - e) Transferencia de materiales.- Se consideran riesgos por llenado, vaciado o transferencia de materiales, de acuerdo a:
 - Tubería cerrada (0).
 - Tubería flexible o con conectores (25).
 - Operaciones a través de compuertas o tapas (50).
 - Tubería flexible y purga (50).
- f) Recipientes transportables.- Se consideran recipientes sujetos a accidentes por transporte.
- Tambores llenos (no en vehículos) (25).
 - Tambores llenos (en vehículos) (40).
 - Tambores vacíos (10).
 - Pipas o trailers (100).
 - Carros-tanque (75).

D.- Riesgos Especiales del Proceso.

En esta sección los factores se asignan con respecto a características del proceso, almacenamiento, etc. que intensifican el riesgo sobre las características del material clave. Es sumamente importante definir en esta sección la correcta estimación de las medidas de control.

- a) Baja presión (50 - 100).- Sistemas a muy baja presión o al vacío donde la entrada de aire representa un riesgo.
- b) Alta presión.- Cuando se tiene una planta con una presión por arriba de la atmosférica, se requiere un factor para compensar los riesgos por fuego u explosión intema. Conforme aumenta la presión, aumenta el riesgo; el factor de riesgo se obtiene mediante la figura 12H incluida en el anexo 12, de acuerdo con la presión de trabajo.
- c) Baja temperatura (15 - 100).- El propósito de esta sección es tomar en cuenta la posible fragilización del acero al carbón por bajas temperaturas.
- d) Alta temperatura.- Esta variable tiene un efecto doble, aumento de vaporización de material inflamable y menor resistencia mecánica en los equipos.

Para material líquido o sólido.

- Temperatura por arriba del flash point copa cerrada (20).

- Temperatura por arriba del flash point copa abierta (25).
- Líquido con flash point a presión atmosférica (25).
- Sólido fundido (10).
- Material a temperatura de auto ignición (35).

Efecto sobre la resistencia del equipo.

- Equipo bajo esfuerzo progresivo (25).
- Equipo con 25% menos de resistencia (10).

e) Riesgo de corrosión y erosión. - Considera efectos de corrosión y erosión.

- Velocidad de corrosión < 0.1 mm/año (0).
- Velocidad de corrosión entre 0.1 y 0.5 mm/año (10).
- Velocidad de corrosión \approx 1.0 mm/año (20).
- Velocidad de corrosión >1.0 mm/año (50).
- Velocidad de corrosión > 1.0 mm/año y erosión (100).
- Alto riesgo de tensión y agrietamiento (150).
- Tubo con soldadura helicoidal (100).

f) Riesgos de juntas y empaques. - Se considera riesgos en juntas por ciclos de temperatura y presión.

- Uniones soldadas y bridas bien diseñadas (0).
- Uniones bridadas que presentes pequeñas fugas (30).
- Sellos de bombas con pequeñas fugas (20).
- Problemas mayores de sello (60).

g) Riesgos de vibración y fatiga con cargas cíclicas (30 - 50).- Sistemas con equipo mecánico de alta vibración o equipo en estructuras factibles de debilitarse.

h) Procesos o reacciones difíciles de controlar (20 - 300).- Sistemas con reacciones exotérmicas o con múltiples reacciones.

i) Operación en o cerca del rango inflamable (25 - 150).- Sistemas de almacenamiento y operación de líquidos inflamables cercanos o en el punto de inflamabilidad.

j) Riesgo de explosión mayor que el promedio (40 - 100).- Sistemas susceptibles a explosión por descargas súbitas a la atmósfera, por contaminantes, por subproductos y sistemas refrigerados de gases licuados.

k) Riesgos de explosión por polvo y neblina (0 - 70).- Sistemas que presenten riesgo de explosión de polvos por mal funcionamiento, por condiciones de operación que favorezcan formación de neblina o sistemas con formación de neblina constantemente.

l) Procesos de oxidantes gaseosos muy fuertes.- Sistemas que usan oxidantes más fuertes que el aire.

- Con oxígeno como oxidante (300).
- Con aire enriquecido con oxígeno (X%).

$$(X - 21) \frac{300}{79}$$

- Con cloro (125).
- Con cloro diluido con inertes (Y%).

$$(Y - 39) \frac{125}{61}$$

- Con N₂O o NO₂ (300).
- Con N₂O o NO₂ diluidos, considerar igual a O₂.
- Con óxido nítrico (230).
- Con óxido nítrico diluido (Z%).

$$(Z - 26) \frac{230}{74}$$

m) Sensibilidad del proceso a la ignición.- Sistemas con materiales sensibles a la ignición en presencia de aire.

- O₂, N₂O o NO como oxidante (50).
- Cl₂ o NO₂ como oxidante (75).
- Oxidantes diluidos. Considérese proporción lineal de la composición con los valores antes citados.
- Producción de materiales pirofóricos (25).

n) Riesgos electrostáticos.

- Polvos o material granulado (25 - 125).- sistemas con material de alta resistividad.
- Líquidos orgánicos (10 - 200).- sistemas con líquido de alta resistividad, puros o mezclados.

E.- Riesgos de Cantidad.

En esta sección se estima un factor por el riesgo de manejar grandes cantidades de material combustible, explosivo o de fácil descomposición. Se calcula este factor de cantidad por medio de la figura 12Y del anexo 12, considerando la cantidad del material.

F.- Riesgos por el arreglo de equipo.

En esta sección se consideran los factores de riesgo debidos a la disposición de equipo.

a) Diseño de Estructura.

- Estructuras abiertas sin piso y 7 m. de altura, con más de 5 tons. de material (50).
- Estructuras abiertas sin pisos y 7 m. de altura con 1 a 5 ton. de material (30).
- Estructuras abiertas con 7 m. de altura con dique y con 1 ton. de material (15).
- Estructuras abiertas menores a 7 m. de altura y 5 ton. de material (25).
- Estructuras abiertas menores a 7 m. de altura y menos de 5 ton de material (10).
- Plantas dentro edificaciones con manejo de 5 ton de material inflamable (100).
- Plantas dentro edificaciones con ventilación y 5 ton de material inflamable (20).
- Casas de compresión de material inflamable (40 - 200).
- Edificaciones con gases pesados y inflamables (50 - 100).

b) **Efecto domino** - en esta sección se considera el efecto que tendrá una unidad de proceso con incidente sobre otras aledañas, por debilitamiento de estructuras o corrientes de líquidos o gases en combustión.

- Altura de la unidad (20 - 150).- Considera estructuras con alturas de 20 a 60 m.
- Relación altura y base (25 - 100).- Considera relaciones de altura y base de 3 a 12 veces

c) **Áreas bajo tierra** (150).- sistemas con fosa de recolección, bombeo o separación.

d) **Drenaje Superficial** (100).- sistemas con áreas de contención de gran acumulación.

e) **Otros aspectos** (50 - 250).- En esta sección se consideran influencias de la instalación con sus alrededores, caminos de acceso y capacidad de almacenamiento.

G.- Riesgos de toxicidad.

En esta sección se asignan factores de riesgo por la exposición a material tóxico, tomando como base el Threshold Limit Values (TLV) que se calcula para 7 u 8 horas diarias o 40 Hrs. semanales

de exposición. Obviamente estos parámetros pueden cambiar si se considera que algunas situaciones de exposición se deberán a fugas o fallas anormales del sistema, donde las concentraciones llegarán a ser muy altas y donde consecuentemente sobrepasarán las marcadas por el TLV. Aquí se deberán tomar otros parámetros de comparación. El factor de riesgo estará desde 300 hasta 10 en función inversa del TLV.

a) Forma del Material.

- Líquido o gas licuado (50).
- Almacenamiento criogénico (75).
- Partículas sólidas o polvo (200).
- Gas con densidad 1.3 (25).
- Material inodoro y sin detección del nivel tóxico (200).

b) Riesgo Exposición Corta.

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

donde: STEL = límite de exposición en tiempo corto

con valores de 150 para factores de excursión de 1.25, hasta 100 para factores de excursión mayores a 100.

Cabe señalar que el factor de excursión es alto cuando el riesgo por toxicidad sea a largo plazo.

c) Absorción por la piel (0 - 300).- considerar este factor cuando el material tóxico se absorba por la piel.

d) Factores físicos (0 - 50).- considerar este factor cuando las condiciones del trabajo (calor, humedad, altura, exceso de trabajo) acentúen los efectos de la exposición tóxica.

H.- Índice Global DOW/ICI.

Para el cálculo del Índice Global Dow/ICI se totalizan todos los factores antes mencionados de acuerdo a la siguiente ecuación. El resultado dará una categorización de riesgo de acuerdo a la tabla 4.5.

$$D = \left[B \left(1 + \frac{M}{100} \right) \left(1 + \frac{P}{100} \right) \left(1 + \frac{(S + Q + L)}{100} \right) + \frac{T}{400} \right] \text{ donde: } D = \text{Índice global Dow/ICI}$$

B = factor del material.

M = factor de riesgos especiales del material.

P = factor de riesgos generales del proceso.

S = factor por riesgos especiales del proceso.

Q = factor por cantidad.

L = factor por arreglo de equipo

T = factor por toxicidad

TABLA 4.5 CATEGORÍA DE RIESGO DE ACUERDO AL ÍNDICE GLOBAL DOW/ICI

<u>ÍNDICE GLOBAL DOW/ICI</u>	<u>GRADO TOTAL DE RIESGO</u>
0 - 20	SUAVE
20 - 40	LIGERO
40 - 60	MODERADO
60 - 75	MODERADAMENTE ALTO
75 - 90	ALTO
90 - 115	EXTREMO
115 - 150	MUY EXTREMO
150 - 200	POTENCIALMENTE CATASTRÓFICO
>200	MUY CATASTRÓFICO

I.- Potencial de Fuego.

En esta sección se evalúa el potencial de fuego de la unidad con el propósito de indicar la duración de incendio en caso de incidente. En la práctica se ha encontrado con un método adecuado para calcular el potencial de fuego considerando el calor liberado por la combustión del material por área de proceso involucrada, considerando que normalmente sólo el 10% del material interviene en los incendios.

Los valores determinantes para la cantidad de fuego van desde 0 hasta 10,000,000 y con categorías desde ligero hasta muy extremo.

J.- Potencial de Explosión.

En esta sección se calcula el índice de explosión interna como una medida del riesgo de explosión. Estos índices van desde 0 con una categoría de ligero, hasta más de 6 con categoría de muy alto.

Aunque se considere en la parte anterior, el riesgo por explosión no está contemplando la explosión o ignición de nubes; para estos casos se considera un índice de explosión aérea que tiene valores desde 0 con categoría de ligero, hasta más de 500 con categoría de muy alto.

K.- Riesgo por Toxicidad.

En esta sección se estima un índice unitario de toxicidad que represente la influencia de la toxicidad sobre el control y supervisión de la sección. Este índice tiene valores desde 0 con categoría de ligero, hasta más de 10 con categoría de muy alto. A partir del índice anterior y del factor de cantidad, se estima un índice máximo de incidente tóxico que tiene valores desde 0 con categoría de ligero, hasta más de 50 con categoría de muy alto.

L.- Magnitud Global de Riesgos.

De acuerdo a la experiencia, se ha estimado que es necesario considerar en conjunto la magnitud del fuego, el índice unitario de toxicidad, el índice de explosión interna y el índice de explosión aérea para obtener la magnitud global de riesgo. Esta magnitud toma valores desde 0 con categoría de suave, hasta 65,000 con categoría de muy extremo.

M.- Medidas que disminuyen la frecuencia de accidentes.

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

- 1°.- Reducción de riesgo por disminución de la frecuencia de accidentes.
- 2°.- Reducción de riesgo por disminución del tamaño potencial de los accidentes.

a) Sistemas de Contención.

- Recipientes a presión (0.9).- Diseño según código ASME.
- Tanques de almacenamiento atmosférico (0.9).- Para tanques menores a 10 m. de diámetro.
- Tuberías de transferencia (0.6 - 0.95).- Para tubería totalmente soldada y diseños más rígidos que los indicados en el ASME.
- Contención adicional (0.45 - 0.9).- Para recipientes y tuberías a presión con una o dos paredes adicionales para la contención por fugas.
- Detección de fugas y respuesta (0.8 - 0.95).- Para sistemas con detección de fugas, así como medidas de contingencia y aislamiento a control remoto y autorrácticas.
- Manejo de material relevado u desechado (0.90 - 0.95).- Para sistemas con relevo de gases o líquidos hacia quemadores.

b) Control del Proceso.

- Sistemas de alarma (0.9 - 0.95).- Sistemas con alarmas para acción de operadores y alarmas con retroalimentación de otra variable.
- Suministro de energía de emergencia (0.9).- Sistemas con suministro de energía eléctrica de emergencia y conmutación automática.
- Sistema de enfriamiento (0.9 - 0.95).- Suministro de enfriamiento en sistemas críticos por un lapso de tiempo posterior a una situación anormal.
- Sistema de gas inerte (0.8 - 0.95).- Sistemas de suministro de gas inerte de purga.

- Estudios de riesgo (0.7 - 1.0).- Sistemas con estudios de riesgo realizados para identificar y proponer medidas de mitigación.
- Sistemas de paro de seguridad (0.75 - 0.95).- Sistemas con paro de seguridad desde manual hasta por votación de variables.
- Control por computadora (0.85 - 0.95).- Sistemas con control por computadora donde se ejerce el control o el monitoreo del proceso.
- Protección contra explosiones y reacciones incorrectas (0.7 - 0.95).- Sistemas con equipo supresor de explosión de vapores, gases o polvos; sistemas con interconexiones para prevenir flujos incorrectos.
- Instrucciones de operación.- En esta sección se asigna una puntuación por cada concepto de operación de la planta que se incluya en el manual de la planta.
- Supervisión de la planta (0.85 - 0.95).- Plantas con circuito cerrado para supervisión o con sistema de radio para comunicación con los operadores.

c) Actitud con respecto a la seguridad.

- Actitud de la gerencia (0.9 - 0.95).- Dirigencia que no compromete la seguridad de la instalación por presiones económicas o de producción.
- Entrenamiento sobre seguridad (0.8 - 95).- Cursos regulares de entrenamiento sobre seguridad a operadores, administrativos y contratistas.
- Procedimientos de mantenimiento y seguridad (0.8 - 0.97).- Plantas con sistemas de limpieza y mantenimiento preventivo regular.

N.- Medidas que disminuyen la magnitud potencial de incidentes.

a) Protección contra fuego.

- Protección contra fuego de estructuras (0.8 - 0.98).- Plantas con sistemas contra incendio en estructuras.
- Paredes, barreras y equivalentes contra fuego (0.8 - 0.98).- Plantas con paredes o cortinas de agua para protección contra incendio.
- Protección contra fuego para equipos (0.5 - 0.95).- Plantas con sistemas de protección contra fuego en equipos y canalización de señales.

b) Aislamiento de material.

- Sistema de válvulas (0.65 - 0.9).- Plantas con válvulas de corte para aislar secciones y tanques o sistemas de drenado que envíen el producto fuera de área en contingencia.
- Ventilación (0.9).- Áreas con sistema de ventilación de gases peligrosos.

c) Combate de incendios.

- Alarmas de emergencia (0.9).- Plantas con alarma para auxilio local o municipal.
- Extintadores de mano (0.85 - 0.95).- Plantas con extintadores portátiles.
- Suministro de agua (0.75 - 0.85).- Plantas con suministro suficiente de agua contraincendio.
- Instalaciones con rociadores y monitores (0.70 - 0.95).- Plantas con rociadores y monitores en edificaciones.
- Instalaciones de espuma y de inertes (0.7 - 0.9).- Plantas con sistemas de espuma y gases inertes.
- Brigadas contraincendio (0.7 - 0.95).- Plantas con brigadas contraincendio, locales y municipales.
- Cooperación para combate contra incendio (0.8 - 0.9). Plantas con almacenamiento de químicos contra incendio.
- Ventiladores para humo (0.9).- Edificaciones con ventiladores contra humo.

d) Efecto global de los factores de reducción.

En esta sección se calcula el riesgo global afectado por todos los factores de reducción que se tienen en la instalación.

En el anexo 12 del capítulo VII se incluye la tabla 12C, donde se indican las ventajas, desventajas y aplicabilidad de cada una de las metodologías para identificar riesgos.

IV.4.- Evaluación de Consecuencias.

La probabilidad de ocurrencia de un accidente en una instalación se reduce considerablemente si se aplican en forma adecuada las normas y códigos de diseño correspondientes. Normalmente estas normas y códigos incluyen sistemas de relevo bien diseñados, adecuados programas de mantenimiento e inspección, administración de recursos humanos, etc. Sin embargo a pesar de todas estas precauciones los accidentes han ocurrido dando como resultado muertos, heridos, daños a las instalaciones, pérdidas de producción, impactos ambientales y una mala reputación de la empresa ante la comunidad.

Los modelos matemáticos para el cálculo de consecuencias de un accidente, nos permitirán tomar las medidas necesarias para mitigarlos. Estas medidas pueden incluir entre otras la disminución en la capacidad de almacenamiento, reducción en el volumen de tanques, modificaciones en la ubicación de la planta o en el arreglo de equipo, reforzamiento de tanques y edificaciones.

Una vez identificados los riesgos que pueden conducir a pérdidas o problemas de operación, es necesario evaluar las consecuencias que se tendrían de presentarse algún tipo de accidente. Las consecuencias que normalmente ocurren en la industria petrolera son la fuga y dispersión de gases o líquidos, el fuego y las explosiones.

La importancia de conocer la magnitud de las consecuencias en caso de algún accidente, radica en que se tienen los argumentos necesarios para decidir sobre las medidas preventivas/correctivas para eliminar o mitigar el riesgo. Estas medidas se enfocarían, dependiendo de las consecuencias, en eliminar, reducir, transferir o aceptar el riesgo.

En la bibliografía existe una larga serie de métodos para evaluar las consecuencias de un evento de riesgo ^(6,7,8,9,10,11,12,13,14,15), de las cuales a continuación se describirán las más importantes.

IV.4.1.- Evaluación de la Vaporización del Fluido. ⁽⁷⁾

La primera consecuencia considerada para el caso de un accidente en una instalación de almacenamiento y distribución de productos destilados, es la fuga y posterior vaporización del líquido derramado.

Un parámetro importante para evaluar la cantidad de vapor que se generaría a partir de ese líquido derramado es la condición inicial de este. Se puede distinguir tres condiciones:

- 1.- Un líquido volátil a temperatura y presión ambiente.
- 2.- Un líquido a temperatura ambiente y presión elevada.
- 3.- Un líquido a baja temperaturas y presión ambiente.

La diferencia entre estas tres clases depende de dos aspectos: el comportamiento inicial al instante del relevo y el proceso que controla la velocidad de vaporización. Con la segunda y tercera condición hay un flash-off y un boil-off instantáneo donde el líquido se vaporiza de acuerdo a las condiciones de transferencia de calor. En cambio en el caso de la primera clase, existe un fenómeno de transferencia de masa, cuya velocidad dependerá de la concentración del fluido en el aire por lo que el líquido entra en un equilibrio con los alrededores y no hay una evaporación instantánea. La generación del vapor está determinada en este caso por la presión de vapor y la velocidad del viento.

a) Evaporación de un líquido volátil ⁽⁷⁾

Bajo esta situación se encuentran los productos destilados volátiles como son: la gasolina, diesel y diáfano.

De acuerdo con V.J. Clancey ⁽⁷⁾ se considera en primera instancia que el líquido derramado presenta un área constante. Bajo condiciones normales es conocido que la velocidad de vaporización depende directamente de la velocidad del viento. Sutton ^(8,9) demostró que la velocidad de vaporización en una superficie rectangular donde el viento pasa longitudinalmente esta dada por:

$$E_{(x,y,w)} = A\bar{u}^{-(2-n)[2+n]}x^{-2(2-n)}y \dots (4.1)$$

donde: E = velocidad de vaporización (lt/min).

\bar{u} = velocidad media del viento (m/min).

x = Dimensión corta del rectángulo (m).

y = Dimensión larga del rectángulo (m).

n = factor de turbulencia dependiente cond meteorológicas

A = función compleja

Se desarrolló una ecuación similar para los casos de superficies circulares

$$E_{(e,r)} = 3A\bar{u}^{(2-n)}K^{(2+n)}r^{(4+n)/(2-n)} \dots (4.2) \quad \text{donde: } r = \text{radio de la superficie (m).}$$

Las constantes de estas ecuaciones las ha expresado Pasquill ⁽¹⁰⁾ en términos de algunas cantidades físicas.

$$A \propto B\lambda^{2n/(2+n)}K^{4(1-n)/(2+n)} \dots (4.3) \quad \text{donde: } \lambda = \text{viscosidad cinemática del aire (0.147cm}^2/\text{s)}$$

$$B = \frac{MpD^{2n/(2+n)}}{RT} \dots (4.4)$$

$K = \text{cte. de Van Karman} = 0.4.$

$M = \text{peso molecular del vapor.}$

$p = \text{presión del vapor (mmHg).}$

$D = \text{difusividad del vapor (0.05 - 0.1 cm}^2/\text{s; excepto comp. polares).}$

$R = \text{cte. de los gases.}$

$T = \text{temperatura absoluta (}^\circ\text{K).}$

Para el factor de turbulencia, Sutton propone un valor de 0.25 que no daría un error mayor al 10%.

Sustituyendo este valor en la ecuación (4.4), el exponente de D es igual a 0.22, por lo que para propósitos prácticos $D^{2n/(2+n)} = 0.56$ (excepto agua).

Introduciendo estos valores en las ecuaciones (4.1) y (4.2) da

$$E_{(x,y,z)} = 1.2 \times 10^{-10} (Mp/T) \bar{u}^{0.78} x^{0.89} y \dots (4.5) \quad \text{donde: } x,y = \text{dimensiones del rectángulo (cm).}$$

$E = \text{velocidad de vaporización (g/s).}$

$M = \text{peso molecular del líquido.}$

$p = \text{presión de vapor del líquido (din/cm}^2\text{).}$

$T = \text{temperatura absoluta del líquido (}^\circ\text{K).}$

$\bar{u} = \text{vel. media del viento (cm/s).}$

$r = \text{radio del charco (cm).}$

y

$$E_{(r,z)} = 3.6 \times 10^{-10} (Mp/T) \bar{u}^{0.78} r^{1.89} \dots (4.6)$$

Estas ecuaciones se simplifican considerando que la velocidad de vaporización es un volumen de vapor producido por unidad de tiempo a una temperatura seleccionada. Con las simplificaciones mencionadas se pueden expresar las relaciones siguientes gráficamente (ver figura 12J en el anexo 12 del capítulo VI)

$$F_1 = E_{(x,y,z)} / px^{0.89} y \dots (4.7)$$

donde: $E = \text{velocidad de vaporización (lt/min).}$

$p = \text{presión de vapor del líquido (mmHg).}$

$r,x,y = \text{dimensiones del charco (m).}$

$F_1 = \text{relación de evaporación rectangular (lt/min).}$

$F_2 = \text{relación de evaporación circular (lt/min).}$

y

$$F_2 = E_{(r,z)} / pr^{1.89} \dots (4.8)$$

b) Evaporación de un gas licuado ⁽⁷⁾.

Un gas licuado a temperatura ambiente y a alta presión, está a una temperatura superior a la de su punto de ebullición a presión atmosférica, por lo que al relevarse inmediatamente ocurre un flash-off (evaporación). Este proceso es prácticamente instantáneo y adiabático, pues el calor de vaporización es suministrado por el calor sensible del líquido.

Como el sistema se encuentra a temperatura ambiente, el único calor requerido para la vaporización es el calor latente. Como el líquido se enfría por abajo de la temperatura ambiente, el vapor producido está a esa temperatura y subsecuentemente el vapor es calentado por el mezclado con el aire, sin embargo esta situación no afecta el proceso de vaporización.

Cuando el líquido residual llega a su temperatura de ebullición normal como una consecuencia del enfriamiento provocado por la evaporación súbita, hay una abrupta caída en la velocidad de vaporización, por lo que termina la fase de flash-off.

La ecuación de los cambios de energía involucrados es la siguiente:

$$l dW = sW dT \dots (4.9)$$

donde l = calor latente (cal/g)
 W = cantidad de líquido (g)
 s = calor específico a T (cal/g °C).
 T = temperatura (°C).

Realizando la integración, considerando l y s constantes

$$W' = \exp \left[\frac{s}{l} (T_1 - T_0) \right] \dots (4.10)$$

donde T_1 = temperatura de ebullición normal (°C).
 T_0 = temperatura ambiente (°C).
 W' = fracción de líquido que no se vaporiza.

Por lo que $(1 - W')$ es la fracción de líquido que se vaporizó.

Es pertinente mencionar que la ecuación (4.10) no es válida si la temperatura está cerca de la temperatura crítica, debido a que l y s cambian rápidamente y el calor latente tiende a cero; pero es razonablemente exacta para la mayoría de los gases licuados. Normalmente $(1 - W')$ se encuentra en un rango de 0.2 a 0.33.

Después del flash-off, el líquido residual se encuentra a la temperatura de punto de ebullición y en contacto con el suelo. Ahora puede recibir calor, el vapor que se pueda producir es bastante poco comparado con la nube inicial, por lo que se puede despreciar. En este caso la fuga del gas licuado tiene dos etapas: una etapa inicial donde el flash-off produce una gran nube de vapor como fuente instantánea; y una segunda etapa donde el líquido remanente es una fuente continua.

c) Vapor de un líquido criogénico ⁽⁷⁾.

Un líquido criogénico es un gas licuado a presión ambiente y a muy baja temperatura. Como es lógico pensar, al momento del relevo no se presenta el flash-off del líquido, sino que se presenta

un boil-off (evaporación) por el contacto con el medio ambiente más caliente, lo que genera una gran nube de vapor que se puede considerar como una fuente instantánea.

La evaporación del líquido cae rápidamente cuando el suelo se enfría. En la práctica se ha observado que la velocidad de evaporación baja hasta a un 10 % del valor inicial, después de un minuto.

Burgess y Zabetakis ⁽¹¹⁾ dedujeron una relación para estimar la velocidad de evaporación inicial (solo durante el primer minuto).

$$l' = \frac{Q(T_g - T_0)}{\rho l (\pi r \phi)^{1/2}} \dots (4.11)$$

donde: V = volúmen de líquido por unidad de área (cm²/s), que se evapora en un segundo.

ρ = densidad del líquido (g/cm³).

θ = conductividad térmica del sustrato (cal/cm °C).

ϕ = difusividad térmica del sustrato (cm²/s).

T_g = temperatura del sustrato (°C).

T_0 = temperatura del líquido (°C).

l = tiempo (s).

l = calor latente de vaporización (cal/g).

Carslaw y Jaeger ⁽¹²⁾ encontraron valores de θ y ϕ para varios sustratos. Walker, Wesson y Silepcovich ⁽¹⁶⁾ y Parker ⁽¹⁷⁾ desarrollaron posteriormente una serie de ecuaciones para estimar la velocidad de evaporación continua, sin embargo son bastante complejas y difíciles de comprobar experimentalmente. Se han estimado una serie de simplificaciones que dan valores con la exactitud suficiente para propósitos prácticos.

Se considera inicialmente que durante un periodo corto, el calor extraído del sustrato está determinado por la siguiente ecuación

$$H_s = K_3 S_s \rho (T_g - T_0)^2 / 2 \dots (4.12)$$

donde: H_s = calor cedido por el sustrato (cal).

K_3 = cte. dependiente de las características de transferencia de calor del sustrato (cm²/°C).

S_s = calor específico del sustrato (cal/g °C).

El calor cedido por el medio vaporizará una cantidad de líquido dada por:

$$Q = H_s / l = K_3 S_s \rho (T_g - T_0)^2 / 2l \dots (4.13)$$

donde: Q = masa evaporada (g).

Para obtener los valores de S_s y ρ se debe consultar los trabajos de Carslaw y Jaeger ⁽¹²⁾ y para K_3 se debe consultar los trabajos de Burgess y Zabetakis ⁽¹¹⁾.

Si se combinan los valores de dichas referencias se obtiene:

$$Q_l = K_4 (T_g - T_0)^2 / l \dots (4.14)$$

donde: Q_l = masa evaporada en el primer minuto (g/cm²).

K_4 = cte. dependiente del sustrato (cal²/C² cm²).

En la tabla 4.6 siguiente se muestran valores típicos de esta constante para diferentes sustratos.

TABLA 4.6.- VALORES DE K_s PARA DIFERENTES SUSTRATOS.

<u>SUSTRATO</u>	<u>K_s</u>
suelo promedio	7.1×10^{-4}
suelo arenoso seco	1.8×10^{-4}
suelo arenoso húmedo (8%)	4.3×10^{-4}
concreto	7.5×10^{-4}
arenisca	1.3×10^{-3}
piedra caliza	1.1×10^{-3}
granito	1.3×10^{-3}
madera (limpia)	3.1×10^{-3}

La nube de vapor producida durante esta fase es mucho mayor a cualquier vapor generado posteriormente. Después del boil-off, la velocidad de evaporación llega a un estado casi-estable, debido a que dependiendo de la magnitud de la fuga, el estado estable tardará bastante tiempo en alcanzarse, lo que implica un estado intermedio donde no se han generado métodos simplificados para evaluar la velocidad de evaporación; normalmente se realiza una interpolación entre el estado inicial y el estado estable.

El estado estable depende del calor latente del líquido y de las características térmicas del sustrato.

$$Q_e = K_s (T_s - T_0) / l \quad \dots (4.15)$$

donde: Q_e = masa evaporada ($\text{g}/\text{min cm}^2$).
 K_s = constante del sustrato ($\text{cal}/^\circ\text{C min cm}^2$).

En la tabla 4.7 siguiente se muestran valores típicos de esta constante para diferentes sustratos.

TABLA 4.7.- VALORES DE K_s PARA DIFERENTES SUSTRATOS.

<u>SUSTRATO</u>	<u>K_s</u>
suelo promedio	1.5×10^{-2}
suelo arenoso seco	6.3×10^{-3}
suelo arenoso húmedo (8%)	1.1×10^{-2}
concreto	1.5×10^{-2}
arenisca	2.6×10^{-2}
piedra caliza	2.1×10^{-2}
granito	2.4×10^{-2}
madera (limpia)	1.5×10^{-3}

IV.4.2.- Evaluación de la dispersión del vapor ⁽⁷⁾.

Después de evaluar la vaporización del líquido se debe determinar la dispersión de la nube de vapor por el viento.

Es necesario establecer en este caso, que se presentarán dos situaciones:

- 1o.- Formación de una gran nube de vapor instantánea producida por un flash-off o boil-off.
- 2o.- Formación de una fuente continua de vapor de un líquido volátil o bien un líquido volátil estable después de un flash-off o boil-off.

Durante la dispersión del vapor por el viento, éste se mezcla con el aire por turbulencia. Bajo estas circunstancias el proceso de difusión molecular es bastante lento por lo que no es significativo. En los modelos de dispersión incluidos en este trabajo se considera que el vapor tiene la misma densidad que el aire y además no hay efectos gravitacionales sobre el vapor.

La dispersión de gases con densidad parecida a la del aire, relevados de una fuente instantánea o continua han sido ampliamente estudiados. Los primeros trabajos fueron realizados por Taylor (1915) y por Roberts (1923), las ecuaciones más ampliamente utilizadas en la actualidad las desarrollaron Sutton (1953), Pasquill (1961) y Gifford (1961).

A continuación se hace un breve resumen de los principales modelos desarrollados.

a).- Modelo de Roberts ⁽¹⁴⁾

Roberts en 1923 analizó la dispersión de humo de varios tipos de fuentes, proponiendo la siguiente serie de ecuaciones.

La ecuación básica de dispersión de un gas en coordenadas rectangulares se basa en la figura 4.5 y es la siguiente:

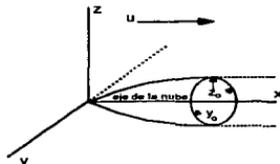


FIGURA 4.5.- COORDENADAS DEL MODELO DE DISPERSIÓN DE ROBERTS

$$\frac{\partial x}{\partial t} + u \frac{\partial x}{\partial x} + v \frac{\partial x}{\partial y} + w \frac{\partial x}{\partial z} = \left(D_x \frac{\partial^2 x}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 x}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 x}{\partial z^2} \right) \quad (4.16)$$

donde: x, y, z = coordenadas rectangulares (m).

D_x, D_y, D_z = coeficiente de difusión en las direcciones x, y, z (m^2/s).

t = tiempo (s).

u, v, w = velocidad media del viento en las direcciones x, y, z (m/s).

x = concentración (kg/m^3)

De esta ecuación básica se derivaron las siguientes ecuaciones con sus consideraciones particulares.

• **Dispersión de una fuente instantánea sin viento y con coeficiente de difusión constante.**

La siguiente ecuación se derivó en base a las consideraciones:

- Las velocidades del viento en las direcciones x, y, z , son igual a cero ($u = v = w = 0$)
- Los coeficientes de difusión son constantes e iguales ($D_x = D_y = D_z = D = cte$).
- La condición de continuidad estima que la masa esparcida en todas las direcciones es igual a la masa relevada $\left(\int \int \int_{-\infty}^{\infty} x dx dy dz = Q' \right)$
- Las condiciones de frontera son: $x \rightarrow 0$ cuando $t \rightarrow 0, r > 0$ ($r^2 = x^2 + y^2 + z^2$)

$$x \rightarrow 0 \text{ cuando } t \rightarrow \infty$$

De esta ecuación básica se derivan las siguientes ecuaciones con sus consideraciones particulares.

$$x(x, y, z, t) = \frac{Q^*}{8(\pi D t)^{3/2}} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2 + z^2}{4 D t}\right) \quad \dots (4.17)$$

donde: $x(x, y, z, t)$ = concentración en el punto x, y, z (kg/m^3) y en el tiempo t .

Q^* = masa relevada instantáneamente (kg).

D = coeficiente de difusión (m^2/s)

• **Dispersión de una fuente continua a condición estable y sin viento.**

Las suposiciones para el desarrollo de la siguiente ecuación son:

- Las velocidades del viento en las direcciones x, y, z son cero ($u = v = w = 0$).
- Los coeficientes de difusión son iguales y constantes ($D_x = D_y = D_z = D = cte$).

- La concentración del vapor no depende del tiempo.
- cuando x, y, z tienden a infinito $x \rightarrow 0$.

$$X_{(x,y,z)} = \frac{Q}{4\pi D(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}} \dots (4.18)$$

donde: Q = flujo másico continuo (kg/s).

• **Dispersión de una fuente continua a condición estable y con viento.**

Las consideraciones para la siguiente ecuación son:

- Las velocidades del viento en las direcciones y, z son igual a cero ($v = w = 0$).
- Los coeficientes de difusión son iguales y constantes ($D_x = D_y = D_z = D = \text{cte}$).
- La concentración del vapor es independiente del tiempo.
- Cuando x, y, z , tienden a infinito $x \rightarrow 0$

$$X_{(x,y,z)} = \frac{Q}{4\pi D(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}} \exp\left[-\frac{u}{2D} \left\{ (x^2 + y^2 + z^2)^{3/2} - x \right\}\right] \dots (4.19)$$

• **Dispersión de una línea continua infinita en dirección del viento.**

Las consideraciones para la siguiente ecuación son:

- Las velocidades del viento en las direcciones y, z , son igual a cero ($v = w = 0$).
- Los coeficientes de difusión son iguales y constantes ($D_x = D_y = D_z = D = \text{cte}$).
- La concentración es independiente del tiempo y de la coordenada y .

$$X_{(x,z)} = \frac{Q'}{2\pi D} \exp\left(\frac{ux}{2D}\right) K_0\left[\frac{u(x^2 + z^2)^{1/2}}{2D}\right] \dots (4.20)$$

donde: Q' = flujo másico relevado por unidad de longitud (kg/m s).

K_0 = función de Bessel modificada de segundo tipo.

esta ecuación se puede simplificar si el término $u(x^2 + y^2)^{1/2}/2D$ es muy grande, entonces:

$$X_{(x,z)} = \frac{Q'}{(2\pi Dx)^{1/2}} \exp\left(-\frac{uz^2}{4Dx}\right) \dots (4.21)$$

• **Dispersión no isotrópica de una fuente instantánea.**

Las consideraciones para la siguiente ecuación son:

- Las velocidades del viento en las direcciones x, y, z, son igual a cero ($u = v = w = 0$).
- La dispersión no es igual en todas las direcciones.
- Los coeficientes de dispersión son diferentes pero constantes.
- La condición de continuidad estima que la masa esparcida en todas las direcciones es igual a la masa relevada.
- Las condiciones de frontera son: $\chi \rightarrow 0$ cuando $t \rightarrow 0$, $r > 0$ ($r^2 = x^2 + y^2 + z^2$)

$$\chi \rightarrow 0 \text{ cuando } t \rightarrow \infty$$

$$\chi_{(x,y,z,t)} = \frac{Q^*}{8(\pi)^{3/2} (D_x D_y D_z)^{3/2}} \exp \left[-\frac{1}{4t} \left(\frac{x^2}{D_x} + \frac{y^2}{D_y} + \frac{z^2}{D_z} \right) \right] \dots (4.22)$$

• **Dispersión no isotrópica de una fuente continua.**

Las consideraciones para la siguiente ecuación son:

- La dispersión en todas las direcciones es diferente.
- Las velocidades de viento en las direcciones y, z, son iguales a cero ($v = w = 0$).
- Los coeficientes de difusión son constantes pero diferentes entre sí.
- La concentración del vapor es independiente del tiempo (emisión continua).
- $\chi \rightarrow 0$ cuando $x, y, z, \rightarrow \infty$.

$$\chi_{(x,y,z)} = \frac{Q}{4\pi x (D_y D_z)^{1/2}} \exp \left[-\frac{u}{4x} \left(\frac{y^2}{D_y} + \frac{z^2}{D_z} \right) \right] \dots (4.23)$$

• **Dispersión no isotrópica de una línea continua infinita.**

Las suposiciones para el desarrollo de la siguiente ecuación son:

- La dispersión en todas direcciones es diferente.
- Las velocidades del viento en las direcciones y, z, son igual a cero ($v = w = 0$).
- Los coeficientes de difusión son constantes pero diferentes entre sí.

- La concentración es independiente del tiempo (condición continua).
- La concentración $\chi \rightarrow 0$ cuando $x \rightarrow \infty$.

$$\chi_{(x,t)} = \frac{Q'}{(2\pi D_x x)^{1/2}} \exp\left(-\frac{ux^2}{4D_x x}\right) \dots (4.24)$$

b) Modelo de Sutton ⁽¹⁴⁾

Sutton estudió experimentalmente la relación entre la concentración y la distancia en la dirección del viento, a nivel de piso y con un bajo gradiente de temperatura (ver figura 4.6)

Los trabajos demostraron que en cualquier punto en la dirección del viento, la concentración varía en proporción con la fuerza de la fuente e inversamente con la velocidad media del viento.

Sutton también encontró que la proporcionalidad de la concentración con la distancia x para fuentes continuas es diferente a la encontrada por Roberts por lo que propuso las siguientes ecuaciones.

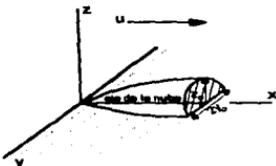


FIGURA 4.6.- MODELO DE DISPERSIÓN DE GAS A NIVEL DE PISO.

- **Dispersión de una fuente instantánea con viento en la dirección x .**

La siguiente ecuación se derivó bajo las siguientes premisas:

- La dispersión en todas direcciones es diferente.
- Las velocidades del viento en las direcciones y , z , son iguales a cero ($v = w = 0$).
- Los parámetros de difusión son diferentes pero constantes.
- Sutton incluye el índice de difusión para ajustar los cálculos.
- Las condiciones de frontera son $\chi \rightarrow 0$ cuando $t \rightarrow 0$

$$\chi \rightarrow 0 \text{ cuando } t \rightarrow \infty$$

$$X(x,y,z) = \frac{2Q^*}{\pi^{3/2} C_x C_y C_z (u)^{3/2(2-n)}} \exp \left[-(u)^{n-2} \left(\frac{x^2}{C_x^2} + \frac{y^2}{C_y^2} + \frac{z^2}{C_z^2} \right) \right] \dots (4.25)$$

donde: C_x, C_y, C_z =
parámetros de
difusión en las
direcciones x, y, z
($m^{3/2}$).

n = Índice de difusión.
 x, y, z = distancias
medidas desde un
origen que se mueve
con la nube (m).

• **Dispersión de una fuente continua a nivel de piso.**

Las consideraciones para el desarrollo de la siguiente ecuación son:

- La dispersión en todas las direcciones es diferente (no isotrópica).
- Las velocidades del viento en las direcciones y, z son igual a cero ($v = w = 0$).
- La concentración es independiente del tiempo.
- La ecuación es válida si $t \geq x/u$ (t = tiempo de relevo).

$$X(x,y,z) = \frac{2Q}{\pi C_y C_z u x^{2-n}} \exp \left[-x^{n-2} \left(\frac{y^2}{C_y^2} + \frac{z^2}{C_z^2} \right) \right] \dots (4.26)$$

• **Dispersión de una línea continua infinita desde una fuente cruzada a nivel de piso.**

Las suposiciones para desarrollar la siguiente ecuación son:

- La dispersión en todas las direcciones es diferente (no isotrópica).
- La concentración es independiente del tiempo.
- La ecuación es válida si $t \geq x/m$ (t = tiempo de relevo).

$$X(x,z) = \frac{2Q'}{\pi^{1/2} C_z u x^{2-n}} \exp \left(-x^{n-2} \frac{z^2}{C_z^2} \right) \dots (4.27)$$

El índice y parámetro de difusión son constantes meteorológicas. El índice n es una función de la estabilidad y toma valores de 0 a la unidad para una alta y baja turbulencia respectivamente. Para condiciones promedio $n \approx 1/4$. Los valores del parámetro C son una función de la altura sobre el piso y de las condiciones de estabilidad.

En la tabla 4.8 se muestran los valores de n y C determinados por Sutton.

TABLA 4.8.- VALORES DE n Y C DETERMINADOS POR SUTTON.

ALTURA DE LA FUENTE (m)	n	C _y (m ^{1/3})	C _y y C _z	C _z (m ^{1/3})
0	0.25	0.21		0.12
10	0.25	0.21		0.12
25	0.25		0.12	
30	0.25		0.10	
75	0.25		0.09	
100	0.25		0.07	

valores aplicables para lapsos breves y vel. del viento de 5 m/s

c).- Modelo de Pasquill-Gifford ⁽¹⁴⁾

Pasquill y Gifford presentaron una forma alternativa de las ecuaciones de Sutton considerando la siguiente relación.

$$\sigma_x^2 = 1/2 C^2 (ut)^{2-n} \dots (4.28)$$

donde: σ_x = desviación estándar o coeficiente de dispersión en la dirección x (m).

• Dispersión de una fuente instantánea a nivel piso.

Las consideraciones de esta ecuación son las siguientes:

- La dispersión es diferente en todas las direcciones (no isotrópica).
- El cálculo de σ es diferente que a condiciones continuas.
- Las condiciones de frontera son $\chi \rightarrow 0$ cuando $r \rightarrow 0$

$\chi \rightarrow$ cuando $r \rightarrow \infty$

$$\chi_{(x,y,z,t)} = \frac{2Q^*}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right) \right] \dots (4.29)$$

donde: x,y,z = coordenadas desde un origen que se mueve con la nube (m)

si las coordenadas se miden desde el punto de relevo

$$\chi_{(x,y,z,t)} = \frac{2Q^*}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{(x-ut)^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right) \right] \dots (4.30)$$

• **Dispersión de una fuente continua a nivel de piso.**

Las consideraciones son las siguientes:

- La dispersión es no isotrópica.
- La concentración no depende del tiempo.
- La ecuación es válida si $t \geq ux$ (χ = tiempo de relevo).
- El cálculo de σ es diferente que a condiciones instantáneas.
- $\chi \rightarrow 0$ cuando $x, y, z \rightarrow \infty$

$$X_{(x,y,z)} = \frac{Q}{\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2}\right)\right] \dots (4.31)$$

• **Dispersión de una línea continua infinita a nivel de piso.**

Las suposiciones para el desarrollo de la ecuación son:

- La dispersión es no isotrópica.
- La concentración es independiente del tiempo.
- La ecuación es válida si $t \geq ux$.
- El cálculo de σ es diferente que a condiciones instantáneas.
- $\chi \rightarrow 0$ cuando $x, y, z \rightarrow \infty$.

$$X_{(x,z)} = \frac{2Q'}{(2\pi)^{1/2}\sigma_z u} \exp\left(-\frac{1}{2}\frac{z^2}{\sigma_z^2}\right) \dots (4.32)$$

• **Dispersión de una fuente continua elevada**

Las suposiciones para el desarrollo de la ecuación son:

- La dispersión es no isotrópica.
- La concentración es independiente del tiempo.
- La ecuación es válida si $t \geq ux$.
- El cálculo de σ es diferente que a condiciones instantáneas.

- $\chi \rightarrow 0$ cuando $x, y, z \rightarrow \infty$.

$$\chi_{(x,y,z)} = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) x \left[\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \dots (4.33)$$

donde: H = altura de la fuente (m).

Los valores de los coeficientes de dispersión propuestos por Turner para este modelo, se muestran en la tabla 4.9 siguiente.

TABLA 4.9.- VALORES DE LOS COEFICIENTES DE DISPERSIÓN PARA EL MODELO DE PASQUILL - GIFFORD

CATEGORÍA DE ESTABILIDAD DE PASQUILL	COEFICIENTES DE DISPERSIÓN		
	σ_y (m)	σ_z (m)	
A	$\sigma_y = 0.493 x^{0.88}$	$\sigma_z = 0.087 x^{1.1}$	100 < x < 300
		$\log_{10} \sigma_z = -1.67 + 0.902 \log_{10} x + 0.181 (\log_{10} x)^2$	300 < x < 3000
B	$\sigma_y = 0.337 x^{0.88}$	$\sigma_z = 0.137 x^{0.98}$	100 < x < 500
		$\log_{10} \sigma_z = -1.25 + 1.09 \log_{10} x + 0.0018 (\log_{10} x)^2$	500 < x < 2 X 10 ⁴
C	$\sigma_y = 0.195 x^{0.80}$	$\sigma_z = 0.112 x^{0.81}$	100 < x < 10 ⁵
D	$\sigma_y = 0.128 x^{0.80}$	$\sigma_z = 0.093 x^{0.85}$	100 < x < 500
		$\log_{10} \sigma_z = -1.22 + 1.08 \log_{10} x - 0.061 (\log_{10} x)^2$	500 < x < 10 ⁵
E	$\sigma_y = 0.091 x^{0.81}$	$\sigma_z = 0.082 x^{0.82}$	100 < x < 500
		$\log_{10} \sigma_z = -1.19 + 1.04 \log_{10} x - 0.07 (\log_{10} x)^2$	500 < x < 10 ⁵
F	$\sigma_y = 0.067 x^{0.80}$	$\sigma_z = 0.057 x^{0.8}$	100 < x < 500
		$\log_{10} \sigma_z = -1.91 + 1.37 \log_{10} x - 0.119 (\log_{10} x)^2$	500 < x < 10 ⁵

A continuación se describe el método de dispersión gaussiana que es el más utilizado para la determinación de la dispersión de gases y vapores.

IV.4.2.1.- Dispersión de un gas liberado en forma masiva e instantánea ⁽¹²⁾.

Este análisis se desarrolla en base a las ecuaciones de dispersión gaussiana de una nube tridimensional, formada por la masa de un gas liberado repentinamente. En la figura 4.7 se muestra una representación esquemática del evento.

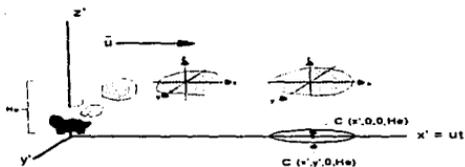


FIGURA 4.7.- REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LA DISPERSIÓN INSTANTÁNEA

Una suposición básica de este análisis considera que la dispersión de la nube a lo largo de la dirección del viento (x), es igual a la dispersión en la dirección lateral (y); por lo que el viento únicamente interviene como un vector de movimiento de la nube.

Otras consideraciones son: el gas no se diluye en el viento y las concentraciones se calculan a nivel de piso ($z = 0$).

La ecuación de dispersión gaussiana tridimensional es la siguiente

$$C_{(x,y,0,t)} = \frac{2QS_x S_y}{(2\pi)^{3/2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{(x-ut)^2 + y^2}{S_p^2} \right] + (H_e^2 / S_z^2) \right\} \quad \dots(4.34)$$

donde: $C_{(x,y,0,t)}$ = concentración a nivel de piso en la posición (x,y) a partir del centro de la nube (g/m^3).

Q = emisión total de gas (g).

H_e = altura de emisión de la nube (m).

$S_x = S_y = S_z$ = coeficientes de dispersión de la nube en las direcciones x e y (m).

S_z = coeficiente de dispersión de la nube en la dirección z (m).

t = tiempo de recorrido de la nube (s).

u = velocidad media del viento (m/s).

x = distancia a partir del centro de la nube en la dirección del viento x (m).

y = distancia a partir del centro de la nube en la dirección lateral y (m).

z = distancia a partir del centro de la nube en la dirección vertical z (m).

Los coeficientes de dispersión S_x y S_y , son una función de la distancia recorrida por la nube y las condiciones de estabilidad atmosféricas.

Para simplificar los cálculos se considera que la estabilidad y la velocidad del viento son constantes. Los coeficientes de dispersión S_y y S_z se calculan a partir de la clasificación de estabilidad atmosférica de Pasquill mostrada en la tabla 4.10.

TABLA 4.10.- CLASIFICACIÓN DE ESTABILIDAD DE PASQUILL

<u>CLASE</u>	<u>ESTABILIDAD</u>
A	Muy inestable
B	Inestable
C	Ligeramente inestable
D	Neutra
E	Estable
F	Muy estable

Las clases se determinan a partir de la tabla 4.11, la cual considera varias combinaciones entre la velocidad del viento, la radiación solar y la nubosidad durante la noche.

TABLA 4.11.- CLASES DE ESTABILIDAD

VELOCIDAD DEL VIENTO (A 10 m) (m/s)	DÍA			NOCHE	
	RADIACIÓN SOLAR INCIDENTE*			NUBOSIDAD ENTRE 4/8 Y 7/8	NUBOSIDAD < 3/8
	FUERTE	MODERADA	LIGERA		
< 2	A	A - B	B	F	F
2 - 3	A - B	B	C	E	F
3 - 5	B	B - C	C	D	E
5 - 6	C	C - D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

* NOTA: Radiación solar fuerte significa $\geq 600 \text{ W/m}^2$.
Radiación solar moderada significa entre 300 y 600 W/m^2 .
Radiación solar ligera significa $< 300 \text{ W/m}^2$.

Los valores de S_y o S_z se obtienen utilizando la ecuación

$$S_y \quad \text{o} \quad S_z = ax^b + c \quad \dots (4.35)$$

donde los coeficientes correspondientes se obtienen de la tabla 4.12 mostrada a continuación.

TABLA 4.12.- COEFICIENTES DE ESTABILIDAD DE PASQUILL.

CLASE		X < 1 Km			X > 1 Km					
		a	b	c	a	b	c			
A	S _y	0.215	0.858	0	mismos coeficientes que para x < 1 Km					
	S _z	0.467	1.89	0.01						
B	S _y	0.155	0.889	0						
	S _z	0.103	1.11	0						
C	S _y	0.105	0.903	0						
	S _z	0.066	0.915	0						
D	S _y	0.068	0.908	0						
	S _z	0.0315	0.822	0						
E	S _y	0.050	0.914	0				0.050	0.914	0
	S _z	0.0232	0.745	0				0.148	0.150	-0.128
F	S _y	0.034	0.908	0				0.034	0.908	0
	S _z	0.0144	0.727	0				0.0312	0.306	-0.017

Para los casos de estabilidad intermedia (A-B, B-C, C-D, etc) se obtienen por separado S_y y S_z para ambos tipos de estabilidad y se calcula el promedio.

Los coeficientes de dispersión calculados de la manera anterior solo aplican para sitios planos sin obstáculos físicos importantes, dado que se subestima el potencial de dispersión de la nube a bajas alturas.

En la atmósfera existen variaciones en la turbulencia debido a los efectos de estratificación del viento, por la altura y rugosidad de la superficie terrestre; como consecuencia de esto, la turbulencia es mayor cerca de la superficie del suelo que a alturas elevadas, esto también ocurre comparando terrenos accidentados con terrenos planos.

Es importante mencionar que los coeficientes calculados por la metodología de Pasquill son representativos únicamente en periodos de 10 min., esto es debido a que por las variaciones del viento, las concentraciones viento abajo del emisor disminuyen con el tiempo.

El tamaño inicial de la nube se estima considerando una distancia ficticia x_i en la cual S_{ρo} = S_ρ . y esta relación es igual al radio del recipiente entre 2.15.

IV.4.2.2.- Dispersión de un gas o vapor proveniente de una fuga o derrame de un líquido que se evapora ⁽¹³⁾.

Al igual que el análisis anterior, este se desarrolla en base a las ecuaciones de dispersión gaussiana de un gas o vapor, para estimar el área de riesgo para una fuga continua de gas o vapor proveniente de un líquido que se evapora (ver figura 4.8). Para el análisis es necesario

establecer la concentración máxima permisible de exposición (CMPE), para estimar el área de evacuación en caso de accidente.

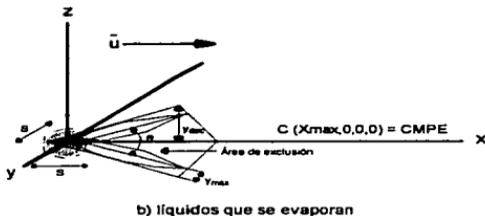
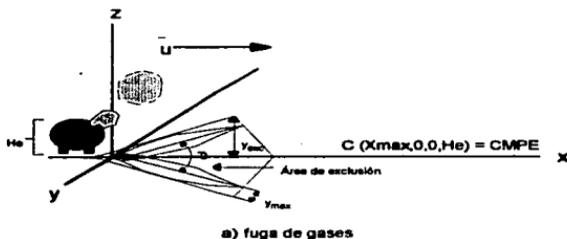


FIGURA 4.8.- REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LA DISPERSIÓN CONTINUA

El análisis considera que las concentraciones máximas se tendrán a nivel de piso ($z = 0$) y el gasto de emisión es constante, al igual que las condiciones meteorológicas.

Como primer paso se calcula el gasto de emisión, el cual está determinado por las características del almacenamiento o la línea donde se produzca la fuga. Este cálculo se realiza en base a las ecuaciones indicadas en el punto IV.4.1 de este trabajo.

Como segundo paso se determina la curva de isoconcentración para la CMPE, con el propósito de conocer la distancia máxima (x_{max}) de la curva y el ancho máximo de la elipse (y_{max}), utilizando la siguiente ecuación

$$y = \left[2 \ln \left(\frac{C_{(x,0,0,H_e)}}{C_{(x,y,0,H_e)}} \right)^{1/2} \right] S_y \quad \dots (4.36)$$

Para una fuga de gas las concentraciones se determinan con

$$C_{(x,0,0,H_e)} = \frac{Q}{\pi S_y S_z U} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{H_e}{S_z} \right)^2 \right] \quad \dots (4.37a)$$

$$C_{(x,y,0,H_e)} = CMPE \quad \dots (4.37b)$$

donde: $C_{(x,0,0,H_e)}$ = concentración del gas (g/m^3) a x metros viento abajo de la fuga.

S_y = coeficiente de dispersión en la dirección y (m).

S_z = coeficiente de dispersión en la dirección z (m).

H_e = altura de emisión (m).

$CMPE$ = concentración máxima permisible de exposición (g/m^3).

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

Para el caso de derrame de un liquido se considera que el charco formado tiene forma cuadrada, por lo que es necesario modificar el cálculo del coeficiente de dispersión lateral (S_y), estimando una desviación estándar (S_{y0}) que toma en cuenta una emisión en línea, cuya dispersión se efectúa en forma gaussiana.

Para el cálculo se considera una distancia ficticia de la nube (x_f).

$$x_f = x + x_y \quad \dots (4.38)$$

x_y se obtiene suponiendo que la longitud de un lado del derrame cuadrado (S) será

$$S = 4.3 S_{y0} \quad \dots (4.39a)$$

donde: S_{y0} = coeficiente de dispersión a la distancia x_f .

$$S_{y0} = S/4.3 \quad \dots (4.39b)$$

$$x_y = 7.5 S_{y0} \quad \dots (4.39c)$$

Con estos datos se determina x_f , la cual servirá para evaluar S_y .

Las concentraciones se determinan con:

$$C_{(x,y,0,0)} = CMPE \dots (4.41)$$

Como el derrame ocurre a nivel de piso $H_w = 0$.

El siguiente paso consiste en determinar el área de exclusión. Como esta última está determinada por las condiciones de estabilidad atmosférica y por la dirección del viento, se ha establecido un ángulo de variación (θ) de la nube, en función del tipo de estabilidad, tomándose los valores indicados en la tabla 4.13.

TABLA 4.13.- ÁNGULOS DE VARIACIÓN DE LA NUBE EN FUNCIÓN DE LA ESTABILIDAD

<u>CATEGORÍAS DE ESTABILIDAD</u>	<u>ÁNGULO (θ)</u>
A - B	80°
B - C	55°
C - D	30°
E - F	15°

El área de exclusión estará definida por un sector con un ángulo θ , más la distancia y_{max} a ambos lados, alcanzando una distancia x_{max} .

IV.4.3.- Evaluación del fuego ⁽¹⁴⁾

El fuego se ha estimado como el principal riesgo en las plantas de proceso. Históricamente se ha observado que el fuego es el causante de la mayoría de los accidentes en las instalaciones, por arriba de las explosiones y de los relevos tóxicos. Por otra parte normalmente se considera al fuego con un potencial de desastre menor al de una explosión o relevo tóxico.

Por definición, el fuego o combustión es una reacción química en la cual una sustancia se combina con oxígeno y se libera calor.

Normalmente el fuego ocurre cuando una fuente de calor entra en contacto con un material combustible. Si el combustible líquido o sólido es calentado, emite vapor que al llegar a una concentración lo suficientemente alta y al combinarse con el oxígeno del aire, creará una mezcla inflamable que arderá.

Esencialmente se deben tener tres condiciones: 1).- combustible, 2).- oxígeno y 3).- calor. Si alguna de estas tres condiciones no está presente, el fuego no ocurrirá, o si alguna de ellas es removida, el fuego se extinguirá.

Normalmente el calor requerido para iniciar la combustión se debe suministrar por alguna fuente, ya que una vez iniciada la combustión esta misma suministra el calor necesario para no extinguirse. La cantidad de calor necesaria para iniciar la combustión, depende del estado de la sustancia. Un gas o un vapor se encienden con una pequeña flama o chispa, mientras que un combustible sólido requiere una fuente de calor intensa. Cabe mencionar que una mezcla inflamable o vapor también se encenderá si su temperatura llega a su punto de ignición.

El fuego podrá mantenerse solamente si hay un relevo neto de calor, que provendrá de la combustión. En el caso de combustibles líquidos y sólidos estos deberán vaporizarse primero, en este caso hay un proceso de retroalimentación, puesto que el mismo calor generado en la combustión servirá para vaporizar el resto del combustible.

El fuego normalmente crece y se expande por quemado directo, ya sea por la impregnación de la flama en el material combustible, por transferencia de calor o por el traslado del material ardiendo.

Las tres formas principales de transferencia de calor son : 1).- conducción, 2).- convección y 3).- radiación.

La conducción es particularmente importante en los casos donde hay barreras sólidas y el calor es transferido al otro lado para encender algún material.

La mayor parte del calor es transferido por convección y radiación. Se ha estimado que el calor emanado por el fuego, el 75% es transferido por convección. Los productos calientes de la combustión tienen temperaturas en el rango de 800 a 1200° C y densidades de ¼ de la del aire.

La radiación es otro de los principales modos de transferencia de calor, aunque en baja proporción, su importancia radica en que se transfiere a objetos cercanos.

Los principales modelos para la estimación del fuego son las llamaradas (flash fire), bolas de fuego y el fuego en charcos (pool fires), a continuación se detallan cada uno de estos modelos.

IV.4.3.1.- Llamaradas (Flash fires) ⁽⁶⁾

Una llamarada es una combustión no detonante (con sobre presión despreciable), de una nube de vapor, producida por el relevo a la atmósfera de un material inflamable después de su mezclado con el aire. Experimentalmente se ha observado que la diferencia entre la detonación y el fuego de una nube de vapor, estriba en la turbulencia de la combustión; a mayor turbulencia se producirá una detonación, en cambio a menor turbulencia únicamente se producirá una llamarada (flash fire).

En la literatura existe muy poca información respecto a los efectos de la radiación térmica de una llamarada (flash fire), pues se considera más peligroso el estallido de una nube de vapor.

a).- Modelo de radiación de las llamaradas (flash fire) ⁽⁶⁾

El único modelo disponible en la literatura para calcular la radiación de una llamarada es el desarrollado por Raj y Emmons (1975). Este modelo es bidimensional y considera una flama turbulenta que se propaga a velocidad constante. Las consideraciones de este modelo son las siguientes:

- La nube de vapor es consumida por un frente de flama turbulento que se propaga a una velocidad proporcional a la velocidad del viento.
- Cuando la nube de vapor se quema, hay siempre un frente de flama que se propaga a una velocidad uniforme en el vapor que aún no se quema. Este frente de flama es seguido por una zona de quemado.

- Cuando la concentración del gas es alta, el quemado se caracteriza por la presencia de un tallo con difusión turbulenta y plana. En los lugares donde el vapor de la nube está mezclado suficientemente con el aire, la altura de la zona de quemado es igual a la altura visible de la nube inicial.

Este modelo es una extensión del modelo de fuego en charcos desarrollado por Steward (1964). En la figura 4.9 se ilustra este modelo bidimensional donde el frente de flama se propaga a una velocidad constante S dentro de una mezcla estancada de profundidad D . El ancho de la flama W depende del proceso de combustión de la flama que se encuentra en la parte superior. El fuego se alimenta de una mezcla aún no quemada a una velocidad de flujo u_0 . Este modelo estima que el proceso de combustión está totalmente controlado por la convección, por lo que está determinado por el aire que entra a la flama.



FIGURA 4.9.- MODELO DE FLAMA BIDIMENSIONAL

La aplicación de la conservación de masa, momento y energía es una relación entre la altura visible de la flama y la velocidad de elevación de la mezcla de gases aún no quemados u_0 desde la base de la flama. En el quemado de una nube de vapor, se desconoce la velocidad de elevamiento en la flama u_0 , pero por datos experimentales se sabe que existe una relación entre la altura visible de la flama H y el ancho de la flama W de $H/W = 2$. Con esta relación se deduce la altura de la flama con la velocidad de quemado de acuerdo a

$$H = 20d \left[\frac{S^2 \left(\frac{\rho_0}{\rho_a} \right)^2 \frac{w r^2}{(1-w)^4} \right]^{1/3} \dots (4.42)$$

donde: H = altura visible de la flama (m).

d = profundidad de la nube (m).

S = velocidad de quemado (m/s).

g = aceleración gravitacional (m/s^2).

ρ_0 = densidad de la mezcla combustible-aire (kg/m^3).

ρ_a = densidad del aire (kg/m^3).

r = relación estequiométrica de aire-combustible (masa).

w = inverso de la expansión volumétrica en la flama.

La importancia de calcular la altura y el ancho de la flama radica en el hecho de que el daño principal de una llamarada (flash fire), se debe al contacto directo con la flama y a la radiación. Con estos dos parámetros se calcula el daño por ambos efectos.

Para determinar w se utilizan las siguientes ecuaciones

$$w = \frac{\phi - \phi_{st}}{\alpha(1 - \phi_{st})} \quad \text{si } \phi > \phi_{st} \quad \dots (4.43a)$$

$$w = 0 \quad \text{si } \phi \leq \phi_{st} \quad \dots (4.43b)$$

donde α = relación de expansión para la combustión estequiométrica (8 para hidrocarburos)

ϕ = composición de la mezcla combustible-aire (relación volumétrica de combustible)

ϕ_{st} = composición estequiométrica de la mezcla (relación volumétrica de combustible).

w representa el inverso de la expansión volumétrica en la flama y depende totalmente de la composición de la misma.

El modelo requiere conocer el valor de la velocidad de quemado S . En base a observaciones experimentales Raj y Emmons proponen la relación siguiente

$$S = 2.3U_w \quad \dots (4.44)$$

donde: U_w = velocidad del viento (m/s)

Como la radiación total interceptada por un objeto es la suma de las contribuciones a la posición de la flama durante su propagación. Este cálculo es muy complejo y para propósitos prácticos se considera lo siguiente:

- Durante la propagación de la llamarada (flash fire), se considera que la localización de la nube está fija y su composición es constante y homogénea.
- El área superficial de la flama se considera como una sección plana que se mueve a la velocidad de quemado a través de la nube estacionaria.

Con estas consideraciones, el poder radiante por unidad de área se calcula con

$$q = EF\tau_a \quad \dots (4.45)$$

donde: q = radiación de calor interceptada (kW/m^2).

E = poder emisivo (kW/m^2).

F = factor de vista para un emisor plano vertical.

τ_a = atenuación atmosférica (transmisividad).

El cálculo de la emisividad y la determinación del factor de vista se detallarán en la sección IV.4.3.3. La atenuación atmosférica toma en cuenta la influencia del vapor de agua, el CO_2 , el polvo y las partículas suspendidas; una estimación conservadora es considerar que no hay ninguna influencia por lo tanto $\tau_a = 1$.

Este modelo publicado en la literatura es bastante simplificado. De hecho, el tomar la velocidad de quemado como proporcional a la velocidad del viento, implica que a condiciones atmosféricas de calma, la velocidad de quemado es baja por lo que la duración de la llamarada (flash fire) es grande.

Para que este modelo sea lo suficiente confiable, es necesario desarrollar los siguientes tópicos:

- Influencia de la composición de la nube en el poder emisor de la llamarada (flash fire).
- Dependencia de la velocidad y altura de la flama con respecto a la composición de la nube, velocidad del viento y conformación del suelo.
- Un modelo dinámico que incluya el efecto de la composición no homogénea y la velocidad del viento en la posición de la nube.
- Simulación numérica.

IV.4.3.2.- Bolas de Fuego (Fireballs) ⁽⁴⁾

Las bolas de fuego (fireballs) se presentan normalmente en BLEVE'S (Boiling Liquid, Expanding Vapor Explosión) de recipientes que contengan líquidos inflamables, si éste es producido por inducción térmica. La rápida vaporización y expansión del líquido genera una nube de vapor, que es factible de inflamarse, si esto ocurre, la nube empieza a quemarse en su superficie debido a que ahí tiene contacto con el aire y la combustión se propaga hacia el centro de la nube provocando una bola de fuego (fireball) masiva.

Los efectos de la radiación debido a la bola de fuego dependen de:

- El diámetro de la Bola de fuego (fire ball) es una función del tiempo y del diámetro máximo de la misma.
- La altura del centro de la Bola de fuego a partir de su posición de ignición como una función del tiempo.
- Poder emisor de la superficie de la Bola de fuego (Fireball)
- Duración de la combustión.

Los parámetros más importantes para determinar la radiación de la Bola de fuego (Ballfire) se analizan a continuación.

1).- Diámetro y duración de la bola de fuego ⁽⁴⁾

a).- Fórmulas empíricas para determinar el diámetro y duración de la bola de fuego.

En la bibliografía se encuentran ecuaciones empíricas de experimentos y de consideraciones teóricas, para la determinación del diámetro y duración de la bola de fuego. En estas ecuaciones la duración de la combustión y el diámetro máximo son una función de la masa original del combustible.

En la tabla 4.13 se resumen estas correlaciones. Roberts (1982), Jaeger (1986) y Pape (1988) proponen los siguientes valores promedio de todas las correlaciones propuestas hasta ese momento

$$D_c = 5.8m_f^{1/2} \dots(4.46)$$

$$t_c = 0.45m_f^{1/2} \text{ si } m_f < 30,000\text{kg} \dots(4.47a)$$

$$t_c = 2.6m_f^{1/2} \text{ si } m_f > 30,000\text{kg} \dots(4.47b)$$

donde: D_c = diámetro máximo de la bola de fuego (m).

m_f = masa del combustible (kg).

t_c = duración de la combustión (s).

TABLA 4.17.- CORRELACIONES EMPÍRICAS PARA LA DURACIÓN Y EL DIÁMETRO MÁXIMO DE LA BOLA DE FUEGO

<u>REFERENCIA</u>	<u>COMBUSTIBLE</u>	<u>DURACIÓN DE LA BOLA DE FUEGO (s)</u>	<u>DIÁMETRO DE LA BOLA DE FUEGO (m)</u>
Lihou y Maund (1982)	piedras de combustible	$0.30 m_{to}^{0.32} (1)$	$3.86 m_{to}^{0.32} (1)$
Duiser (1985)		$0.49 m_f^{0.32} (2)$	$6.2 m_f^{0.32} (2)$
Fay y Lewis (1977)	C_2H_6	$1.34 m_f^{1/6}$	$5.45 m_f^{1/3}$
Hasegawa y Sato (1977)	C_2H_{12}	$2.53 m_f^{1/6}$	$6.28 m_f^{1/3}$
Lihou y Maund (1982)	C_2H_6	$1.1 m_f^{0.097}$	$5.28 m_f^{0.277}$
Lihou y Maund (1982)	C_2H_6	$0.32 m_f^{1/3}$	$3.51 m_f^{1/3}$
Lihou y Maund (1982)	CH_4	$2.57 m_f^{0.167}$	$6.36 m_f^{0.325}$
Roberts (1982)		$0.45 m_f^{1/3}$	$5.8 m_f^{1/3}$
Williamson y Mann (1981)		$1.09 m_f^{1/6}$	$5.88 m_f^{1/3}$
Moorehouse y Pritchard (1982)		$1.09 m_f^{0.327}$	$5.33 m_f^{0.327}$
Lihou y Maund (1982)	C_2H_6	$1.1 m_f^{1/3} (3)$	$12.2 m_f^{1/3} (3)$
Pietersen (1985)		$0.31 m_f^{1/3}$	$3.46 m_f^{1/3}$
Pitblado (1985)		$0.825 m_f^{0.26}$	$6.48 m_f^{0.325}$
		$0.825 m_f^{0.26}$	$6.48 m_f^{0.325}$

(1) m_{to} = masa de combustible y oxidante.

(2) m_f = masa de queroseno en mezcla estequiométrica con oxígeno.

(3) m_f = m/M , donde M es el peso molecular del combustible.

Debido a que estas correlaciones reflejan el promedio de todas las correlaciones empíricas, es recomendable usar los datos máximos calculados, pues representan la situación más crítica.

b).- Modelos para el cálculo del diámetro de la bola de fuego.

Se ha determinado que el riesgo por radiación de una bola de fuego depende de dos factores principalmente: su diámetro (como una función del tiempo o de la cantidad de combustible) y la duración de la combustión.

Los modelos de la bola de fuego propuestos por Lihou y Maund (1982) y Roberts (1982) consideran inicialmente una hipotética esfera de combustible y aire premezclados a temperatura ambiente. Debido a que el volumen molar de cualquier gas a condiciones estándar (0°C y 1 atm) es una constante, el vapor puede ser tratado como un gas ideal; el diámetro de la esfera se puede calcular de la suma de las masas del vapor y del aire ($m_f + m_a$) a temperatura ambiente (T_a) y presión atmosférica

$$D_0 = \left[\frac{6V_a T_a}{\pi M 273} (m_f + m_a) \right]^{1/3} = 0.539 \left[(m_f + m_a) T_a / M \right]^{1/3} \quad (4.48)$$

donde: M = peso molecular promedio de la mezcla combustible-aire (kg/kmol)

V_a = volumen molar a 273° K y presión atmosférica) por ejem 22.4 m³/kmol)

T_a = temperatura ambiente (inicial) (°K).

m_f = masa del combustible (kg).

m_a = masa del aire (kg).

D_0 = diámetro inicial de la esfera (m).

Esta ecuación permite calcular el diámetro inicial de la esfera, a diferencia de las relaciones empíricas que únicamente determinan el diámetro máximo incluso cuando la esfera inicial solamente esta compuesta por combustible, $m_a = 0$ y M es el peso molecular del combustible. Estos modelos se han probado con alcanos de bajo peso molecular.

c).- Modelo isotérmico.

El modelo de Lihou y Maund (1982) considera que la bola de fuego se quema a una temperatura constante T_c (isotérmico). En este caso la combustión es controlada por el suministro de aire y termina después de un tiempo t_c y esta correlacionada empíricamente con la masa de gas inflamable en la esfera. Se considera además que una fracción ($1 - f_c$) del combustible, es usada para la formación de hollín y la fracción restante (f_c) se quema estequiométricamente, produciendo un incremento de n_i moles por mol de gas inflamable.

La relación molar estequiométrica de aire a gas inflamable es μ y dV/dt es la relación volumétrica del aire entrampado.

La velocidad de incremento en el volumen de la bola de fuego se puede escribir como

$$\frac{\pi D^3}{2} \frac{dD}{dt} = \frac{dV_a}{dt} \frac{T_c}{T_a} (1 + n_i f_c / \mu) \quad \dots (4.49)$$

donde: D = diámetro (m).

T_c = temperatura de la bola de fuego (°K).

T_a = temperatura ambiente (°K).

dD/dt = velocidad de incremento del diámetro (cte. en la mayoría de los modelos) (m/s).

dV_a/dt = velocidad de entrada de aire (m³/s).

μ = relación molar estequiométrica de aire-gas inflamable.

n_i = incremento de moles totales por mol de gas inflamable.

f_c = fracción de gas inflamable que se quema estequiométricamente.

Se determina que la velocidad de combustión es igual al calor aplicado para calentar el aire de entrada más las pérdidas de calor radiante

$$\frac{273}{T_a} \frac{dV_s}{dt} \frac{M h_c f_c}{V_M \mu} = \frac{273}{T_a} \frac{dV_s}{dt} \frac{M_a C_{p_a} (T_c - T_a)}{V_M} + \pi D^2 \epsilon \sigma T_c^4 \quad (4.50)$$

donde σ = cte de Stefan-Boltzmann (5.67×10^{-11}) (kW/m²*K⁴)

ϵ = emisividad

V_M = volumen molar (22.4 m³/kmol)

M = peso molecular del combustible (kg/kmol)

M_a = peso molecular del aire (kg/kmol)

h_c = calor de combustión (kJ/kg)

C_{p_a} = calor específico del aire (kJ/kg °K)

Cuando se sustituye dV_s/dt de la ecuación (4.49), se determina la temperatura de la bola de fuego

$$\sigma \epsilon T_c^4 = \frac{273}{2V_M} \left[\frac{M h_c f_c - M_a C_{p_a} \mu (T_c - T_a)}{T_c (\mu + n_1 f_c)} \right] \frac{dD}{dt} \quad (4.51)$$

el diámetro final de la bola de fuego (D_c) está dado por

$$D_c = \left[\frac{6V_M T_c}{\pi M 273} \left\{ \mu + (n_1 + 1) f_c \right\} m_f \right]^{1/3} \quad (4.52)$$

donde: m_f = masa inicial de combustible (kg)

Si se usa el tiempo de duración de la combustión recomendado por Roberts

$$t_c = 0.45 m_f^{1/3} \quad (4.53)$$

la velocidad de incremento del diámetro (dD/dt) está dada por

$$\frac{dD}{dt} = \frac{(D_c + D_0)}{t_c} = \frac{0.425 M^{1/3}}{M^{1/3}} \left[\left\{ \mu + (n_1 + 1) f_c T_c \right\}^{1/3} - T_a^{1/3} \right] \quad (4.54)$$

Debido a que en este modelo la combustión es estequiométrica, genera muy altas temperaturas de la Bola de fuego, con la consecuente alta emisión de radiación. Las emisiones medidas experimentalmente resultaron ser la mitad de las calculadas, debido a que la combustión no es estequiométrica y la emisividad es menor a la unidad.

d).- Modelo de Roberts.

El modelo de Roberts utiliza la generación de calor de la bola de fuego para calcular el diámetro final de la misma. Roberts estima que al momento del máximo tamaño de la bola, el incremento total de la entalpía se puede relacionar con la relación másica inicial del aire y combustible. Si $R = m_a/m_f$ para una mezcla estequiométrica, el aumento en la entalpía se puede calcular con

$$H = (\eta m_a h_c) / R \text{ si } m_a \leq m_f \text{(4.55a)}$$

donde h_c = calor de combustión (kJ/kg).

$$H = (\eta m_f h_c) / R \text{ si } m_a > m_f \text{(4.55b)}$$

η = eficiencia térmica que reconoce pérdidas de combustible y combustible no quemado.

R = relación másica de la mezcla aire-combustible.

H = entalpía (kJ).

Considerando lo anterior

$$D_c = \left[\frac{6}{\pi} \left\{ 1 + \frac{H}{T_0 C_p (m_f + m_a)} \right\} \frac{m_a / m_f + 1}{\rho_0} \right]^{1/3} m_f^{1/3} \text{(4.56)}$$

donde: ρ_0 = densidad de los productos de combustión a T_0 (kg/m^3).

C_p = calor específico promedio de la mezcla ($\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$).

T_0 = temperatura inicial ($^{\circ}\text{K}$).

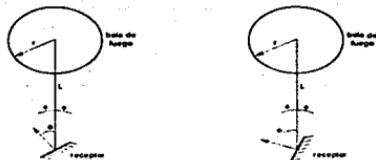
Este modelo conduce a altas temperaturas de combustión para una mezcla estequiométrica de combustible-aire, debido a que considera que toda la energía contribuye al incremento en la entalpía y desprecia las pérdidas de energía por radiación.

2) Radiación de la bola de fuego ⁽⁶⁾.

El riesgo principal de una bola de fuego es la radiación térmica, ya que ésta puede provocar fuegos secundarios y quemar a la gente severamente. El rápido mezclados, combustión y evaporación de las gotas de combustible producen que la emisión térmica de la bola de fuego exceda las emisiones de una flama normal.

En la bibliografía existen dos modelos para estimar la radiación: el de punto-fuente y el de flama sólida. En el modelo de punto-fuente se considera que cierta fracción del calor de combustión se irradia en todas direcciones, siendo esta fracción el parámetro desconocido del modelo. Este modelo no es adecuado utilizarlo cuando el receptor se encuentra demasiado sesgado con respecto a la bola de fuego (ver figura 4.10).

El modelo de flama sólida es más realista que el de punto-fuente, dado que en él se determinan las dimensiones de la bola, su poder de emisividad, la atenuación atmosférica y el factor de vista.



El receptor "ve" la bola de fuego

El receptor "no" ve parte de la bola de fuego

FIGURA 4.10.- GEOMETRÍA DE UNA ESFERA RADIANTE

A continuación se presentan algunos modelos para determinar la radiación de una bola de fuego que complementan los modelos presentados en la sección IV.4.3.3.

a).- Modelo de punto-fuente de Hymes.

Hymes (1983) propone un modelo basado en los modelos de Roberts y los modelos generales para determinar la radiación. En base a ello propone lo siguiente

$$q = \frac{2.2 \tau_a R H_c m_f^{0.67}}{4 \pi L^2} \dots (4.87)$$

donde m_f = masa del combustible en la bola de fuego (kg).

τ_a = transmisividad atmosférica.

H_c = calor neto de combustión por unidad de masa (J/kg).

R = fracción radiante de calor de combustión.

L = distancia del centro de la bola de fuego al receptor (m).

q = radiación recibida por el receptor (W/m^2).

Hymes sugiere los siguientes valores de R

$R = 0.3$ para bolas de fuego de recipientes que estallan a una presión inferior a la de ajuste de la válvula de seguridad.

$R = 0.4$ para bolas de fuego de recipientes que estallan a una presión igual o mayor a la de ajuste de la válvula de seguridad.

b).- Modelo de flama sólida.

Para este modelo la radiación por unidad de tiempo está dada por

$$q = FE\tau_a \dots (4.45)$$

• **Poder emisor.**

El poder emisor es la intensidad total de radiación descargada a través de la superficie de una bola de fuego (fireball), llamarada (flash fire) o cualquier fuego por unidad de área. En 1988 Pape determinó una relación entre el poder emisor y la presión de vapor al momento del relevo. La emisividad para bolas de fuego de masa de 6.2 kg o mayor y una presión de vapor de 20 atm se calcula por:

$$E = 235P_v^{0.39} \text{ (kW/m}^2\text{)} \dots (4.58)$$

donde: P_v = presión de vapor (MPa).

• **Factor de vista.**

El factor de vista es la relación entre la radiación recibida por una superficie y la intensidad total de radiación descargada por el emisor por unidad de área.

El factor de vista de un punto en una superficie plana localizada a una distancia L del centro de una esfera de radio r , no solo depende de L y r , sino también de la orientación de la superficie del receptor con respecto a la bola. Si 2ϕ es el ángulo de vista y θ es el ángulo del vector normal a la superficie y la línea que conecta al cuerpo receptor con el centro de la esfera (ver figura 4.10), el factor de vista F está dado por

$$F = \frac{r^2}{L^2} \cos\theta \text{ si } \theta \leq \frac{\pi}{2} - \phi \dots (4.59a)$$

$$F = \frac{1}{2} \frac{1}{\pi} \sin^{-1} \left[\frac{(L^2 - r^2)^{1/2}}{L \cos\theta} \right] + \frac{r^2}{L^2} \cos\theta \cos^{-1} \left[-\frac{(L^2 - r^2)^{1/2}}{r} \cos\theta \right] - \frac{1}{\pi^2} (L^2 - r^2)^{1/2} (r^2 - L^2 \cos^2\theta)^{1/2}$$

$$\text{si } \theta > \frac{\pi}{2} - \phi \dots (4.59b)$$

donde: r = radio de la bola de fuego ($r = D/2$) (m).

D = diámetro de la bola de fuego (m).

L = distancia al centro de la esfera (m).

θ = ángulo entre el vector normal y la línea de conexión al centro de la esfera (radianes).

2ϕ = ángulo de vista (radianes).

En situaciones normales, el centro de la bola tiene una altura H encima del piso ($H \geq D/2$). La distancia X se mide del cuerpo al centro de la bola. Para una superficie horizontal el factor de vista está dado por

$$F = \frac{H(D/2)^2}{(X^2 + H^2)^{3/2}} \dots (4.60)$$

si $X > H$, entonces para la superficie vertical

$$F = \frac{X(D/2)^2}{(X^2 + H^2)^{3/2}} \dots (4.61)$$

si $X < D/2$, entonces para la superficie vertical

$$F = \frac{1}{2} \frac{1}{\pi r^2} \left[\frac{(\lambda^2 + r^2 - r^2)^{3/2}}{H} \right] + \frac{\lambda^2}{\lambda(\lambda^2 + r^2)^{3/2}} \cos^{-1} \left[\frac{\lambda(\lambda^2 + r^2 - r^2)^{3/2}}{r} \right] \left[\frac{(\lambda^2 + r^2 + r^2)^{3/2} (\lambda^2 - \lambda^2)^{3/2}}{\lambda(\lambda^2 + r^2)} \right] \dots (4.62)$$

donde: r = radio de la bola de fuego ($r = D/2$) (m).

H = altura al centro de la bola de fuego (m)

X = distancia del cuerpo receptor al centro de la bola de fuego (m).

IV.4.3.3.- Cálculo de la radiación térmica ⁽⁶⁾

En general, cuando una nube de vapor se quema normalmente solo se genera una flama. Dependiendo de las condiciones del relevo y del tiempo de ignición se puede producir un fuego en charco (pool fire), una llamarada (flash fire), una antorcha (jet fire) o una bola de fuego (fireball). El calor emitido hacia los alrededores se puede transmitir por convección o por radiación, siendo esta última la más importante en grandes incendios.

La radiación térmica es una radiación electromagnética que cubre longitudes de onda desde 2 hasta 16 μm , y es el resultado neto de la radiación emitida por sustancias radiantes como el H_2O , CO_2 y el hollín y la absorción por otras sustancias. Enseguida se presentan los métodos generales para evaluar el efecto de la radiación sobre un cuerpo, siendo estos el modelo de punto-fuente y el modelo de superficie-emisor o de flama sólida.

1) Modelo de Punto-fuente ⁽⁶⁾

En el modelo de punto-fuente se estima que una fracción (f) seleccionada del calor de combustión es emitida como radiación en todas direcciones. La radiación por unidad de área y por unidad de tiempo recibida por un cuerpo (q) a una distancia (r) del punto fuente esta dada por

$$q = \frac{f \dot{m} H_c \tau_a}{4\pi r^2} \dots (4.63)$$

donde: \dot{m} = velocidad de combustión (kg/s).

H_c = calor de combustión por unidad de masa (J/kg).

τ_a = atenuación atmosférica de la radiación térmica (transmisividad).

Se estima en este modelo que el cuerpo recibe el máximo flujo incidente. Para el fuego en charcos de combustibles con punto de ebullición por arriba de la temperatura ambiente (T_a), la velocidad de combustión se estima de acuerdo con la siguiente relación empírica

$$\dot{m} = \frac{0.001 H_v A}{H_v + C_v (T_b - T_a)} \dots (4.64)$$

donde \dot{m} = velocidad de combustión (kg/s).
 H_v = calor de vaporización (J/kg).
 C_v = calor específico del combustible (J/kg °K).
 A = área del charco (m^2).
 T_b = temperatura de ebullición (°K).
 T_a = temperatura ambiente (°K).

La fracción de la energía de combustión disipada como radiación térmica (f) es un parámetro desconocido en este modelo, y depende del tipo de combustible y de las dimensiones de la flama. Este modelo es bastante inexacto cuando el cuerpo receptor se encuentra muy cerca de la superficie emisora.

2) Modelo de Flama sólida ⁽⁶⁾

Este modelo estima que el fuego se puede representar como un cuerpo sólido de forma geométrica simple y que toda la radiación térmica es emitida por este cuerpo.

La radiación incidente por unidad de área (q) está dada por la ecuación 4.45

$$q = FE\tau_a \dots (4.45)$$

donde: q = radiación incidente (W/m^2).
 F = factor de vista.
 E = poder de emisividad del fuego por área superficial (W/m^2).
 τ_a = factor de atenuación atmosférica (transmisividad).

El factor de vista es la fracción de radiación que cae directamente en el cuerpo receptor; y depende de la forma del fuego, del cuerpo receptor y de la distancia entre ellos.

• Poder emisorio.

El poder emisorio es el poder radiante total que deja la superficie del fuego por unidad de área y por unidad de tiempo. El poder emisorio se calcula utilizando la Ley de Stefan para un cuerpo negro. Debido a que el fuego no es un cuerpo negro perfecto, el poder emisorio es solamente una fracción (ϵ) de la radiación del cuerpo negro

$$E = \epsilon \sigma T^4 \dots (4.65)$$

donde: T = temperatura del fuego (°K).
 ϵ = emisividad.
 σ = cte. de Stefan - Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$).

Para usar la Ley de Stefan -Boltzmann en el cálculo de la radiación, se requiere conocer la temperatura y emisividad del fuego. Como el mezclado turbulento provoca variaciones en la temperatura de la flama, es más útil calcular la radiación de los datos de fracción de calor liberado como radiación.

Duiser (1989) calculó el poder emisivo de los datos de velocidad de combustión y calor releavado. Una estimación conservadora es utilizar una fracción de radiación de 0.35. Él propone la siguiente ecuación para calcular el poder emisivo de fuegos en charcos

$$E = \frac{0.35 \dot{m}'' H_c}{1 + 4 h_f d_f} \dots (4.66)$$

donde \dot{m}'' = velocidad de combustión por unidad de área (kg/m² s)

H_c = calor de combustión (J/kg).

h_f = altura de la flama (m)

d_f = diámetro de la flama (m).

0.35 = fracción de la radiación f

• Emisividad.

La fracción de radiación del cuerpo negro emitido por la flama se la llama emisividad. La emisividad se determina primeramente por la radiación absorbida por los productos de combustión (incluyendo el hollín) y posteriormente por la longitud de onda de la radiación. Estos factores hacen del modelado de la emisividad un método complicado. Para facilitar el cálculo se considera que los coeficientes de absorción son independientes de la longitud de onda, por lo que la emisividad del fuego se puede determinar

$$\epsilon = 1 - \exp(-kx_f) \dots (4.67)$$

donde x_f = longitud de onda de la radiación en la flama (m)

k = coeficiente de extinción (m⁻¹).

Para el caso de bolas de fuego x_f se puede reemplazar por el diámetro de la bola. De acuerdo a resultados experimentales se ha observado que la emisividad de grandes flamas es aproximadamente la unidad.

• Transmisividad.

La atenuación atmosférica es una consecuencia de la absorción de la radiación por el medio presente entre el emisor y el receptor. Para la radiación térmica, la absorción atmosférica es debida principalmente por el vapor de agua y en menor medida por el CO₂. La absorción también depende de la longitud de onda de la radiación y consecuentemente de la temperatura de la flama.

Duiser propone la siguiente aproximación de la transmisividad

$$\tau_a = 1 - \alpha_w - \alpha_c \dots (4.68)$$

donde α_w = factor de absorción de la radiación por el vapor de agua.

α_c = factor de absorción de la radiación por el CO₂.

Ambos factores dependen de su respectiva presión de vapor parcial y de su distancia con respecto a la fuente de radiación. La presión de vapor del CO₂ en la atmósfera es constante (30 Pa), pero la presión de vapor del agua depende de la humedad relativa.

Moorhouse y Pritchard (1982) presentaron la siguiente relación para la transmisividad de radiación infrarroja para flamas de hidrocarburos en la atmósfera

$$\tau_a = 0.998^x \dots\dots(4.69)$$

donde: τ_a = transmisividad
 x = distancia del cuerpo de referencia a la fuente (m)

esta ecuación es válida para distancias mayores a 300 m.

Raj (1982) presentó una gráfica de la transmisividad, donde solo depende de la humedad relativa del aire. Esta gráfica se puede aproximar a la siguiente relación

$$\tau_a = \log(14.1RH^{-0.108}x^{-0.13}) \dots\dots(4.70)$$

donde: τ_a = transmisividad.
 x = distancia del cuerpo de referencia a la fuente (m).
 RH = humedad relativa (%).

Esta ecuación no se debe usar para humedades relativas menores al 20%

• Factor de vista.

Siendo F_{12} la fracción de la radiación que impacta en el cuerpo receptor, A_1 la superficie del emisor y A_2 el área del cuerpo receptor en el que incide la radiación.

$$A_1 E F_{12} = A_2 q_2 \dots\dots(4.71)$$

donde: q_2 = radiación incidente en el cuerpo receptor (W/m²)

Aplicando la relación de reciprocidad ($A_1 F_{12} = A_2 F_{21}$), permite conocer la fracción de radiación recibida por el cuerpo con la expresión siguiente

$$q_2 = F_{21} E \dots\dots(4.72)$$

donde: F_{21} = factor de vista de la superficie A_2 a la superficie A_1 .
 E = poder emisorio del cuerpo emisor (W/m²)
 q_2 = radiación incidente en el cuerpo receptor (W/m²)

El factor de vista depende de la forma de la superficie emisora (plana, cilíndrica, esférica, etc), la distancia entre las superficies emisora y receptora y la orientación de las superficies entre sí.

IV.4.3.4.- Fuego en charcos ⁽¹⁵⁾

La evaluación de las propiedades térmicas del fuego a partir de sus principios básicos (como son la consideración del mezclado dinámico y el proceso químico del quemado con el oxígeno del aire) es tal vez la mejor y más precisa forma de hacerlo. El estado del arte para la predicción del ambiente térmico del fuego de fugas de hidrocarburos está constituido principalmente por métodos semiempíricos basados en datos experimentales. No es necesario mencionar que estos métodos están sujetos a un grado de incertidumbre debido a que están basados en experimentos a pequeña escala y son extrapolados a situaciones a gran escala.

1) Geometría del fuego en charcos ⁽¹⁵⁾.

Para la estimación de la radiación generada por el fuego de un charco es necesario conocer la geometría del charco. La geometría de la flama para el modelo de flama sólida normalmente se determina considerando que la flama es un cuerpo gris sólido que tiene una forma regular bien definida. Las dimensiones de la flama se caracterizan por su diámetro en la base, la altura visible de la flama y la inclinación de ésta. El diámetro de la flama es dependiente del tamaño de la fuga y de la velocidad de quemado; la altura de la flama depende del diámetro de la flama y del tipo de combustible.

• Velocidad de quemado de fuego en charcos.

Hottel propone la siguiente relación para determinar la transferencia de calor del fuego de un charco de líquido

$$\dot{q} \frac{\pi d^2}{4} = \frac{4K}{d'} (T_f - T_r) + H(T_f - T_r) + \sigma_F (T_f^4 - T_r^4) (1 - e^{-kd}) \quad (4.73)$$

donde: \dot{q} = flujo de calor (BTU/ hr pie²).

d = diámetro del charco (m).

d' = distancia entre los cuerpos (m)

K = coeficiente de conductividad térmica (BTU/hr pie² °F)

T_f = temperatura de la flama (°F).

T_r = temperatura del cuerpo receptor (°F).

H = coeficiente global de transferencia de calor (BTU/ hr pie² °F).

σ_F = cte. de Stefan-Boltzmann = 0.1713X10⁻⁸ (BTU/ hr pie² °R).

T_f = temperatura de la flama (°R).

T_r = temperatura del cuerpo receptor (°R).

k = coeficiente de atenuación (m⁻¹).

d = longitud de onda de la flama (m).

representando el término del lado izquierdo el flujo de calor promedio, el primer término de la derecha representa la transferencia de calor conductivo, el segundo término representa el flux de calor convectivo y el último término la velocidad de transferencia de radiación. Esta ecuación es válida para fuegos muy pequeños por la que para fuegos de gran magnitud se propone la siguiente relación

$$\dot{y} = \dot{y}_{max} (1 - e^{-kd}) \quad \dots(4.74)$$

donde: \dot{y} = velocidad de quemado de un charco de diámetro finito (m/s)

\dot{y}_{max} = velocidad de quemado para un charco de diámetro infinito (m/s)

d = longitud de onda de la flama (m)

k = coeficiente de atenuación (m^{-1}).

para calcular \dot{y}_{max} se utiliza la siguiente relación

$$\dot{y}_{max} = 1.27 \times 10^{-6} \frac{\Delta H_c}{\Delta H_v} \quad \dots(4.75)$$

donde: ΔH_c = calor neto de combustión (J/kg).

ΔH_v = calor neto de vaporización (J/kg)

• Diámetro del fuego en charco.

Los escenarios de fuga de hidrocarburos líquidos es muy amplio y se pueden clasificar de acuerdo con las actividades donde ocurre la fuga (de un tanque, de un proceso, etc.), por el lugar donde es derramado el líquido (en el suelo o en agua) o por la velocidad y duración de la fuga. De esta última se puede mencionar la siguiente clasificación:

- 1.- fuga instantánea (la fuga ocurre en un tiempo muy corto).
- 2.- fuga continua (la fuga ocurre a una velocidad definida durante un período largo).
- 3.- fuga casi-continua (la fuga ocurre a una velocidad definida, pero con variaciones).

Cuando un líquido derramado se enciende, se forma el fuego en el charco. El diámetro del fuego dependerá del tipo de derrame, la cantidad derramada y de la velocidad de quemado.

En el caso de fugas continuas, el líquido seguirá derramandose e incrementará el área de quemado, a menos que la velocidad de quemado sea igual a la velocidad de derrame. Esta condición está dada por la siguiente ecuación

$$D_{eq} = 2 \left[\dot{y}_l / \pi \dot{y} \right]^{1/2} \quad \dots(4.76)$$

donde: D_{eq} = diámetro en estado estable del charco (m).

\dot{y}_l = velocidad de fuga del líquido (m^3/s).

\dot{y} = velocidad de quemado del líquido (m/s).

Cuando la ecuación (4.76) es satisfecha, el tamaño del charco se mantiene constante y el fuego permanecerá durante el tie,po que el relevo continúe. La ecuación considera que la velocidad de quemado se mantiene constante; esta suposición es válida para todos los hidrocarburos líquidos con temperaturas de ebullición mayor a la temperatura ambiente. Esta suposición también es

válida para hidrocarburos licuados derramados en agua, pero no cuando son derramados en el suelo, debido a que la transferencia de calor disminuye con el tiempo.

Se llega al diámetro de equilibrio dado en la ecuación (4.76) después del tiempo de equilibrio siguiente

$$t_{eq} = 0.564 \frac{D_{eq}}{[g' \rho_l D_{eq}]^{1/2}} \dots (4.77)$$

donde: g' = aceleración efectiva de la gravedad (m/s^2)
 t_{eq} = tiempo para llegar al equilibrio (s)

la gravedad efectiva se estima de la siguiente ecuación

$$g' = g(1 - \rho_l / \rho_w) \dots (4.78)$$

donde: g = aceleración de la gravedad (m/s^2).
 ρ_l = densidad del líquido.
 ρ_w = densidad del agua.

Otra situación de fuego en charcos analizada es para fugas instantáneas, donde se proponen las siguientes relaciones

$$\left(\frac{D}{D_m}\right)^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \left(\frac{t}{t_m}\right) \left[1 + \left(\frac{2}{\sqrt{3}} - 1\right) \left(\frac{t}{t_m}\right)^2\right] \dots (4.79)$$

donde V_L = volumen total de líquido derramado (m^3).

t_m = tiempo máximo de fuga (s).

D_m = diámetro máximo del charco (m).

D = diámetro del charco (m).

t = tiempo de fuga (s)

$$D_m = 2 \left[\frac{V_L g'}{g' \rho_l} \right]^{1/3} \dots (4.80)$$

$$t_m = 0.6743 \left[\frac{V_L}{g' \rho_l} \right]^{1/3} \dots (4.81)$$

Para el caso de fugas casi-continuas no se tiene expresiones analíticas para describir este escenario.

• Altura de la flama.

Thomas desarrolló la siguiente correlación para determinar la altura visible de la flama en ausencia de viento para un fuego circular

$$H/D = 42 \left[\dot{m}'' \rho_a \sqrt{gD} \right]^{0.61} \dots (4.82)$$

donde: \dot{m}'' = flujo másico de quemado por unidad de área ($kg/m^2 s$)

ρ_a = densidad del aire (kg/m^3).

g = aceleración de la gravedad (m/seg^2)

H = altura de la flama (m)

Para fuegos en presencia de viento, Thomas determinó la siguiente ecuación

$$H/D = 55(\dot{m}''/\rho_a \sqrt{gD})^{0.67} u^{*-0.21} \dots (4.83) \quad \text{donde: } u^* = \text{velocidad no dimensional del viento.}$$

u^* se calcula con la siguiente relación

$$u^* = u_w / \left(\frac{g \dot{m}'' D}{\rho_v} \right)^{1/3} \dots (4.84)$$

donde: u_w = velocidad del viento (m/s).
 ρ_v = densidad del vapor (kg/m³).

• Inclinación de la flama.

Welker y Silpcevhich proponen la siguiente ecuación para determinar la inclinación de la flama con respecto a la vertical

$$\frac{\tan \theta}{\cos \theta} = 3.3 \left[\frac{D u_w}{\nu} \right]^{0.07} \left[\frac{u_w^2}{gD} \right]^{0.8} \left[\frac{\rho_v}{\rho_a} \right]^{-0.6} \dots (4.85) \quad \text{donde: } \nu = \text{viscosidad cinemática del aire (m}^2/\text{s).}$$

θ = ángulo de inclinación de la flama con respecto a la vertical (rad).

AGA propone las siguientes ecuaciones para la inclinación de la flama

$$\cos \theta = \begin{cases} 1 & u^* \leq 1 \\ 1/\sqrt{u^*} & u^* \geq 1 \end{cases} \dots (4.86)$$

• Arrastre de la flama.

El arrastre de la flama representa esencialmente una extensión en la base de la flama debida al viento. Welker y Silpcevhich proponen la siguiente correlación para calcularlo

$$D'/D = 2.1(Fr)^{0.21} (\rho_v/\rho_a)^{0.49} \dots (4.87) \quad \text{donde: } Fr = \text{número de Froude} = u_w^2/gD$$

D = diámetro aparente de la flama (m).

2) Radiación térmica del fuego en charcos.

Para este caso también se utilizan los modelos de punto-fuente y de flama sólida para determinar la radiación térmica del fuego por lo que para el cálculo se recomienda utilizar las ecuaciones propuesta en la sección IV.4.3.3.

Para determinar el efecto de la radiación en los humanos se debe consultar las tablas 12D "Tiempo de exposición para llegar al umbral del dolor", 12E "Efectos de la radiación térmica" y 12F "Probabilidad de fatalidad por quemaduras", incluidas en el anexo 12 del capítulo VII.

IV.4.4.- Evaluación de Explosiones ⁽⁷⁾

La explosión se define como un rápido equilibrio entre un gas a alta presión y el ambiente, donde la palabra clave es la rapidez. Para que exista una onda de choque es necesario que el equilibrio sea rápido para que la energía contenida en el gas se disipe.

Existen dos tipos de explosiones: las explosiones físicas y las explosiones químicas.

Las explosiones físicas son aquellas que se originan estrictamente por un fenómeno físico, como sería la ruptura de un recipiente presurizado.

Las explosiones químicas son aquellas en donde la reacción química es la fuente de alta presión del gas.

En la figura 4.11 se muestra la clasificación del tipo de explosiones.

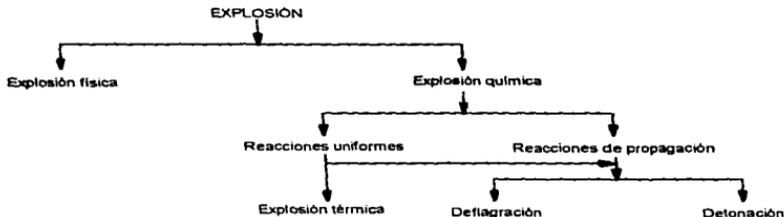


FIGURA 4.11 CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE EXPLOSIONES

Las reacciones uniformes son aquellas donde la reacción ocurre uniformemente a través de toda la masa del material.

Las reacciones de propagación son aquellas donde la reacción inicia en un punto específico del material y se propaga desde ese punto hacia el material que aún no ha reaccionado.

Las explosiones térmicas son aquellas donde la explosión se produce por una reacción exotérmica bajo condiciones de confinamiento y una escasa disipación de calor.

Una deflagración es una explosión que se propaga a velocidades subsónicas, en cambio la detonación se propaga a velocidades supersónicas; esta diferencia permite, en el caso de la deflagración que la energía pueda ser liberada con cierta facilidad, sin embargo en la detonación la energía es producida tan rápidamente que no es posible contenerla.

Dentro de la clasificación de explosiones también se incluye las referidas a explosiones confinadas y no confinadas. Las explosiones confinadas son aquellas que ocurren dentro de algún tipo de

confinamiento, como puede ser tuberías, recipientes o edificaciones. Las explosiones no confinadas son aquellas que ocurren a cielo abierto.

Estadísticamente se ha encontrado que la mayoría de las explosiones ocurren en lugares confinados, y por mucho tiempo se consideró que las explosiones no confinadas eran además de improbables, poco peligrosas; sin embargo, la evaluación de los eventos ha demostrado que son igualmente destructivas que las confinadas.

La explosión de una nube de vapor se define en pocas palabras como una explosión exterior que produce daños por la sobrepresión. La explosión comienza con el relevo a la atmósfera de una gran cantidad de líquido vaporizable o gas, de algún recipiente o de una tubería. Para que ocurra la explosión de la nube de vapor se deben presentar las siguientes situaciones:

1.- El material relevado debe ser inflamable y estar a las condiciones de presión y temperatura adecuadas, por ejemplo:

- Gases licuados a presión (propano, butano, etc.).
- Líquidos inflamables a alta temperatura y presión (ciclohexano, nafta, etc.).
- Gases inflamables no licuados (metano, etileno, etc.)

2.- Se debe formar una nube de vapor del tamaño suficiente antes de la ignición (fase de dispersión). Al ocurrir la ignición se producirá un gran incendio, pero sin presentarse algún estallido. En el caso de que la nube tenga el tiempo suficiente para propagarse, de producirse el estallido éste será de gran magnitud. Se ha observado que un retraso de 1 a 5 min. en la ignición de la nube provoca la explosión de la misma.

3.- Se requiere que una cantidad suficiente de material en la nube de vapor se encuentre en el rango inflamable para que se produzca una gran sobrepresión. Las nubes de vapor normalmente están constituidas por tres regiones de concentración. Una región rica muy cerca del punto de relevo, una región pobre en los límites de la nube y una región intermedia (en el rango inflamable) entre esos dos puntos. La magnitud de estas regiones es variable y depende de varios factores, como son: tipo y cantidad de material relevado, presión al momento del relevo, tamaño de la fuga, grado de confinamiento de la nube, viento, humedad y otros factores ambientales.

La onda explosiva producida variará en función de la velocidad de propagación de la flama. En la mayoría de los casos la flama se propaga como una deflagración, y bajo condiciones extraordinarias ésta se propagará como una detonación.

Una deflagración se puede describir como un modo de combustión en donde la velocidad de propagación de la flama está dominada por el transporte molecular y por el transporte turbulento. En ausencia de turbulencia la velocidad de la flama para hidrocarburos normales es del orden de 5 a 30 m/s. Esta velocidad es muy baja como para producir una sobrepresión significativa. Bajo estas condiciones la nube de vapor únicamente se quemará. La turbulencia está siempre presente en las explosiones de nubes de vapor y se forman debido a las siguientes causas:

- por turbulencia asociada al relevo mismo.
- por turbulencia producida en el gas no quemado en expansión en un espacio congestionado.

- por turbulencia inducida externamente.

Estos mecanismos pueden producir velocidades de flama muy altas, que generarán fuertes sobrepresiones.

La diferencia entre la deflagración y la detonación también se puede notar en las energías requeridas para la ignición. La deflagración de una mezcla común de hidrocarburos-aire requiere de una energía de ignición del orden de 10^{-4} Joules, mientras que la energía requerida para una detonación es del orden de 10^3 Joules.

En la figura 4.12 se muestra el árbol de eventos donde se ilustran las situaciones que deben ocurrir para producirse una detonación o una deflagración.

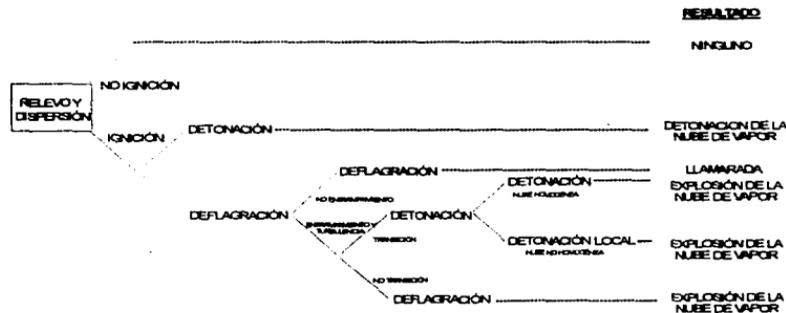


FIGURA 4.12.- ÁRBOL DE EVENTOS PARA EXPLOSIONES Y LLAMARADAS

IV.4.4.1.- Cálculo de nubes explosivas ⁽¹³⁾.

La secuencia para el cálculo del efecto de la explosión involucra varios pasos:

- Cálculo del peso de material en el sistema.
- Cálculo del peso del material en la nube.
- Cálculo del diámetro de la nube formada.
- Cálculo de la energía desprendida por la explosión.
- Determinación del diámetro de la onda explosiva.

- Determinación de los daños causados.

a) Cálculo del peso del material en el sistema (W_g o W_i).

Si el material en el proceso es un gas mantenido a 500 Psi de presión o más, el peso del material se estima a partir de la Ley de los gases:

$$W_g = \frac{P}{RT} A N_i \dots (4.88)$$

donde: W_g = peso del gas en el proceso (lb).
 V_g = volumen del gas en el proceso (pie³).
 M = peso molecular del gas (lb/lbmol).
 R = constante de los gases = 1.314 (atm pie³/lb-lbmol *K).
 P = presión atmosférica (atm)
 T = temperatura absoluta (*K).

Si el material en el proceso se encuentra en estado líquido, el peso del material se calcula con su volumen y densidad

$$W_l = 8.34 R_o V_l \dots (4.89)$$

donde: W_l = peso del líquido en el proceso (lb).
 R_o = densidad del líquido en el proceso (g/ml).
 V_l = volumen del líquido en el proceso (gal).

b) Cálculo del peso del material en la nube (W).

El peso del material en la nube se estima de acuerdo a las características del material en el proceso:

- Para un gas mantenido a 500 Psi o más de presión, el peso del material en la nube se estima igual al peso del material en el proceso

$$W = W_g \dots (4.90)$$

- Para los gases licuados por efecto de la presión o temperatura, al producirse la fuga se considera que todo el material pasa a la fase gaseosa

$$W = W_l \dots (4.91)$$

- Para líquidos con un punto de ebullición inferior o igual a la temperatura ambiente, se estima que se produce una vaporización total del material en el proceso

$$W = W_l \dots (4.91)$$

- Si el líquido posee un punto de ebullición superior a 21.1 °C, la cantidad vaporizada se calcula con

$$W = W_l C \bar{p} (T_p - T_{eb}) / \Delta H_v \quad \dots (4.92)$$

donde: T_p = temperatura del líquido en el proceso (°C).

T_{eb} = temperatura de ebullición del líquido (°C)

\bar{p} = media geométrica de los calores específicos del líquido a diferentes temp. (cal/g)

ΔH_v = calor de vaporización del líquido a T_{eb} (cal/g).

c) Cálculo del diámetro de la nube formada (D).

La metodología empleada se aplica únicamente para nubes de gases o vapores que sean más pesados que el aire. Se estima que la nube es de forma cilíndrica, cuyo diámetro se calcula así

$$D = 22.181 (W/hMF)^{1/3} \quad \dots (4.93)$$

donde: D = diámetro de la nube formada (pie).

h = altura de la nube formada (pie).

M = peso molecular del material.

El parámetro F corresponde a la fracción de la nube representada por gas o vapor, si la nube en su totalidad se encuentra a una concentración explosiva media. F se determina así

$$F = (LIE + LSE) / 200 \quad \dots (4.94)$$

donde: LIE = límite inferior de explosividad (%).

LSE = límite superior de explosividad (%).

Generalmente las nubes explosivas alcanzan alturas de hasta 10 pies y se recomienda utilizar este valor.

d) Cálculo de la energía desprendida por la explosión (E_d).

Se asume que la energía desprendida por la explosión de la nube se expresa por su equivalente en toneladas de TNT. La ecuación representativa es

$$E_d = W \Delta H_c E / 4.03 \times 10^5 \quad \dots (4.95)$$

donde: E_d = energía expresada en peso de TNT.

ΔH_c = calor de combustión del material (BTU/lb)

El factor E es adimensional y determina la fracción del calor de combustión que sirve para producir las ondas de sobrepresión. Para muchos materiales el valor de E se encuentra dentro del rango de 0.01 a 0.1. Para las nubes explosivas se emplean los siguientes valores:

$E = 0.02$ para DMP.

donde DMP = daño máximo probable.

$E = 0.1$ para DMC.

DMC = daño máximo catastrófico.

Los criterios de DMP y DMC en este caso se relacionan únicamente con la eficiencia de la explosión.

e) Determinación del diámetro de las ondas explosivas (Doe).

Las ondas de sobrepresión consideradas se expresan en unidades de presión y se determinan los diámetros de los círculos de sobrepresión a través de funciones del tipo

$$Doe = Z(Ed)^{1/3} \dots (4.97)$$

donde: Doe = diámetro de la onda explosiva (pie).

Ed = energía desprendida por la explosión (ton TNT).

Z = distancia escalada para la sobrepresión considerada (pie/ton^{1/3})

Valores típicos de Z se muestran a continuación

TABLA 4.14.- VALORES TÍPICOS DE Z

SOBREPRESIÓN (PSI)	Z (pie/ton^{1/3})
0.5	1291
1.0	800
2.0	485
3.0	400
5.0	292
7.0	240
10.0	200
20.0	161
30.0	120

f) Determinación de los daños causados.

A fin de determinar los daños ocasionados por la nube explosiva, se utiliza la información de la tabla 12G incluida en el anexo 12 del capítulo VII, la cual muestra los efectos para diversos valores de sobrepresión sobre instalaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Buitrón, A.S.
Curso de Análisis de Riesgos.
CONIQQ, México, D.F., 1992.
- 2.- Center for Chemical Process Safety.
Guidelines for Hazard Evaluation Procedures.
2a. edición
AIChE, Nueva York, 1992.
- 3.- Cursos de Educación Continua.
Análisis de Riesgo.
UNAM, México, D.F., 1982.
- 4.- Dow Chemical
Fire & Explosion Index Hazard Classification Guide.
5a. edición.
AIChE, Nueva York, 1981.
- 5.- Dirección de Ingeniería, Seguridad e Higiene Industrial.
Análisis de Seguridad en Procesos (Manual II).
Celanese Mexicana, México, D.F., 1983.
- 6.- Center for Chemical Process Safety.
Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Clouds, Explosions, Flash Fires & BLEVE.
AIChE, Nueva York, 1994.
- 7.- Tunkel, S.J.
Methods for Calculation of Fire & Explosions Hazards.
AIChE Today Series, Nueva York, 1987.
- 8.- Sutton, O. G.
Process Royal Society (A-146).
Londres, 1934.
- 9.- Sutton, O.G.
Micrometeorology.
Ed. Mc Graw-Hill, Nueva York, 1953.
- 10.- Pasquill, F.
Process Royal Society (A-182).
Londres, 1943.
- 11.- Burgess, D. & Zabetakis, M.G.
U.S. Bureau of Mines Report (RI-6099).
Washington, 1962.
- 12.- Carslaw, H. S. & Jaeger, J.C.
Conduction of Heat in Solids.
Ed. Clarendon Press, Oxford, 1959.

- 13.- Dinámica Heurística, S.C.
Modelos Atmosféricos para Simulación de Contaminación y Riesgos en Industrias (SCRI).
México, D.F., 1986.
- 14.- Less, Frank.
Loss Prevention in the Process Industries.
Ed. Butterworth, Londres, 1986.
- 15.- Mudan, K., P. Croce.
Fire Hazard Calculations for Large Open Hydrocarbon Fires
S.F.P.E. - AIChE, Boston, 1992.
- 16.- Walker, J., H. Wesson, C. Sliepcevich.
Operating Section Process.
American Gas Association, Nueva York, 1969.
- 17.- Parker, R.
Operating Section Process.
American Gas Association, Nueva York, 1970.

CAPITULO V.- DESARROLLO PROTOTIPO

V.- DESARROLLO PROTOTIPO.

En el manejo, almacenamiento y transporte de productos destilados, tanto a nivel nacional como internacional, existen diferentes acontecimientos relacionados con accidentes causados por este tipo de productos. Las magnitudes de los mismos son variables y dependen de muchos factores, tales como:

- Diseño.
- Construcción.
- Operación.
- Almacenamiento.
- Mantenimiento.
- Errores humanos.
- Sabotajes.
- Disturbios sociales (guerras).

Estos sucesos han obligado a los diseñadores a prevenir accidentes analizando los riesgos desde la etapa de diseño, durante la construcción, arranque y operación de las instalaciones.

El propósito de esta parte del trabajo, es ilustrar en una forma sencilla cómo se pueden aplicar los métodos de identificación y evaluación de riesgos; para ello, se tomará como base una planta de almacenamiento y distribución de productos destilados, construida bajo el concepto de módulos independientes, es decir, el módulo de almacenamiento está separado del módulo de distribución.

El módulo de almacenamiento está compuesto por las siguientes secciones de proceso.

- Sección de recibo de productos vía poliducto.
- Sección de recibo de productos vía autotanques.
- Sección de almacenamiento de productos.
- Sección de tratamiento de efluentes.
- Sección de envío de productos al módulo de distribución.

El módulo de distribución está compuesto por las siguientes secciones de proceso.

- Sección de recibo de productos del módulo de almacenamiento.
- Sección de llenaderas de autotanques.
- Sección de recuperación de vapores.
- Sección de tratamiento de efluentes.

Como se puede observar, las secciones de proceso en este tipo de instalaciones son numerosas y si se pretendiera identificar los riesgos para cada una de ellas, el proceso sería demasiado largo y laborioso, lo cual no es el objetivo de para este trabajo.

Dada esta situación, se procederá a identificar la sección más peligrosa y tratar de identificar sus riesgos; pues a final de cuentas se trata de evaluar la situación más crítica.

Para identificar la sección más peligrosa se utilizará una de las técnicas de clasificación relativa, en este caso, el Índice Mond para fuego, explosión y toxicidad y la aplicaremos únicamente a la sección de almacenamiento de productos y a la sección de llenaderas de autotanques, de los módulos de almacenamiento y distribución, respectivamente; por considerarse las más peligrosas de ambos módulos.

La ventaja de utilizar esta técnica radica en su simplicidad y rapidez de elaboración, pues únicamente es necesario saber algunos datos del proceso, así como tener información básica como son el Diagrama de Flujo de Proceso y los Diagramas de Tubería e Instrumentación.

Para desarrollar esta técnica, se requieren los datos básicos mostrados en la tabla 5.1.

TABLA 5.1 DATOS BÁSICOS PARA LA ELABORACIÓN DEL ÍNDICE MOND.

Módulo:	Almacenamiento	Distribución
Producto:	Gasolina	Gasolina
Factor analizado:	Combustión	Combustión
Calor de combustión (BTU/lb)⁽¹⁾:	18,720	18,720
Cantidad de material (m³)⁽²⁾:	34,973	44.6

(1) Dato tomado de la hoja de seguridad (anexo 8)

(2) Dato tomado del DFP (Anexo 9).

De acuerdo a estos datos se elaboró el Índice Mond para estas dos secciones, dando los resultados indicados en las Tablas 12H y 12I.

A continuación se muestra un resumen de ambas tablas.

Módulo	Distribución	Almacenamiento
Sección	Llenaderas de autotanques	Almacenamiento de gasolinas
Factor material (B)	16	16
Riesgos especiales por material (M)	10	55
Riesgos generales del proceso (P)	160	10
Riesgos especiales del proceso (S)	230	170
Riesgo por cantidad (Q)	6T	500
Riesgo por arreglo de equipo (L)	25	215
Riesgo por toxicidad (T)	110	90
Índice global Dow/ICI	202 (Muy catastrófico)	275 (Muy catastrófico)
Potencial de fuego	109,110.2 (Moderado)	286,781 (Alto)

Índice unitario de toxicidad	5.5 (Moderado)	3 (Moderado)
Índice de máximo incidente tóxico	336 (Alto)	1,500 (Muy alto)
Índice de explosión	5.0 (Alto)	3.35 (Moderado)
Índice de explosión aérea	475 (Alto)	822 (Muy alto)
Factor global de riesgo	7,828 (Muy alto)	13,660 (Extremo)
Carga de incendio reducido	36,451.5	136,240
Índice de explosión reducido	2.6	1.15
Índice de explosión aérea reducido	111	317
Índice de riesgo global reducido	855 (Alto grupo 1)	1,248 (Alto grupo 2)

Como se podría suponer, el área de mayor riesgo resultó ser la de almacenamiento de gasolinas, debido principalmente a la cantidad de líquido inflamable que almacena.

V.1.- Identificación de riesgos.

Una vez reconocida el área que representa el mayor riesgo, se procederá a identificar los riesgos operativos de ella. Únicamente se hará la identificación de riesgos de la sección de almacenamiento, pues se tratará de evaluar el mayor riesgo tomando como base el Índice Mond.

La técnica que se utilizará para identificar los riesgos será el HAZOP. La decisión de utilizar el HAZOP se basa en que se requiere una mínima capacitación para utilizarla e identifica los riesgos razonablemente rápido si se tiene experiencia en el proceso.

El análisis para desarrollar el HAZOP se basó en la figura 5.1, donde se representa la información más importante con respecto al tanque de almacenamiento.



FIGURA 5.1.- ESQUEMA DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GASOLINA

Los resultados de aplicar esta técnica a la sección de almacenamiento, se muestran en la tabla 5.2.

TABLA 5.2.- TABLA DE RESULTADOS DE APLICACIÓN DEL HAZOP

COMPAÑÍA: PEMEX REFINACIÓN

INSTALACIÓN: TERMINAL DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTOS DESTILADOS

NODO: ALMACENAMIENTO DE GASOLINA

PARÁMETRO:

FECHA:

PLANO:

REVISIÓN:

PALABRA GUÍA	DESVIACIÓN	CAUSAS	CONSECUENCIAS	RECOMENDACIONES
MAYOR	MAYOR FORMACIÓN DE VAPORES	VENTEO DE VAPORES DURANTE EL LLENADO	<ul style="list-style-type: none"> • FORMACIÓN DE NUBE FLAMABLE. • POSIBILIDAD DE FLAMA INTERNA. • NUBE EXPLOSIVA. 	<ul style="list-style-type: none"> • ARRESTADOR DE FLAMA. • VÁLVULA DE PRESIÓN-VACIO. • CÁMARA DE ESPUMA. • MEMBRANA FLOTANTE.
MAYOR	INCREMENTO EN EL NIVEL DEL TANQUE.	FALLA DE ALARMA E INTERRUPTOR DE NIVEL PARA CIERRE DE VÁLVULA DE ALIMENTACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • DERRAME DE GASOLINA. • FUEGO EN DERRAME. • CALENTAMIENTO DEL TANQUE. • AUMENTO DE VAPORES DENTRO DEL TANQUE. 	<ul style="list-style-type: none"> • MANTENIMIENTO PERIÓDICO A LA INSTRUMENTACIÓN. • BOTÓN DE ARRANQUE Y PARO DE VÁLVULA DE ALIMENTACIÓN. • SISTEMA DE AGUA CONTRAINCENDIO.
MÁS	MÁS PRESIÓN	ATASCAMIENTO DE LA VÁLVULA DE PRESIÓN-VACIO O DEL ARRESTADOR DE FLAMA	<ul style="list-style-type: none"> • AUMENTO EN LA PRESIÓN DEL TANQUE. • DESPRENDIMIENTO DE LA TAPA DEL TANQUE. • EMISIÓN DE VAPORES. 	<ul style="list-style-type: none"> • MANTENIMIENTO DE LAS VÁLVULAS. • CÁMARA DE ESPUMA. • MEMBRANA FLOTANTE.

PALABRA GUÍA	DESVIACIÓN	CAUSAS	CONSECUENCIAS	RECOMENDACIONES
MENOR	MENOR FLUJO DE ENTRADA	RUPTURA EN LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • DISMINUCIÓN DEL NIVEL EN EL TANQUE • DERRAME DE GASOLINA EN EL ÁREA DE RUPTURA. • FORMACIÓN DE VAPORES INFLAMABLES • FUEGO EN DERRAME. 	<ul style="list-style-type: none"> • MANTENIMIENTO A LAS LÍNEAS. • CONTROL REMOTO DE LA VÁLVULA DE BLOQUEO EN TANQUE • SISTEMA CONTRAINCENDIO.
MENOR	DISMINUCIÓN DE NIVEL EN EL TANQUE	FUGA DE PRODUCTO EN LA VÁLVULA DE BLOQUEO	<ul style="list-style-type: none"> • DERRAME DE PRODUCTO. • EVAPORACIÓN DEL PRODUCTO DERRAMADO. • POSIBLE IGNICIÓN DE LOS VAPORES. • FORMACIÓN DE UN FUEGO EN CHARCO EN EL LUGAR DE LA FUGA. 	<ul style="list-style-type: none"> • MANTENIMIENTO PERIÓDICO A VÁLVULAS Y CONEXIONES. • SISTEMA CONTRAINCENDIO.

V.2.- Modelación del evento máximo.

Como se puede observar en el HAZOP aplicado al tanque de almacenamiento, los eventos de riesgo más factibles que se pueden presentar, serían la fuga de producto a través de alguna válvula de bloqueo o unión bridada, o la fuga de producto por ruptura en la línea de alimentación.

Ambos eventos de riesgo, implican la salida del producto del sistema cerrado donde son manejados; esta situación conlleva a que la gasolina derramada comenzará a evaporarse y a su vez, los vapores formados sean dispersos por el viento. La situación más crítica es considerar que habrá una fuerte ignición, por lo que arderá la gasolina derramada formando un fuego en charco (poolfire).

Si consideramos que el fuego en charco (poolfire) ocurriera en el dique del tanque de almacenamiento, esto provocará que el tanque esté expuesto al fuego y a la radiación térmica.

El escenario de fuego que se analizará, es el de fuga de gasolina en la válvula de bloqueo del tanque de almacenamiento; la gasolina se derramará sobre el dique y ahí supondremos que habrá una fuente de ignición que provocará que la gasolina se encienda.

Los datos utilizados para realizar la modelación son:

- Peso molecular de la gasolina: 110 g/gmol (hoja de seguridad).
- Densidad del líquido: 0.725 g/ml (hoja de seguridad).
- Velocidad de quemado: 0.8×10^{-3} m/s (fig. 2-4.3, ref. 1).
- Densidad del vapor: 3.4 kg/m³ (hoja de seguridad).
- Flujo másico de quemado: 0.065 kg/m²s (fig. 2-4.4, ref. 1).
- Velocidad del viento: 3.1 m/s (en Guadalajara, Jal.).
- Humedad relativa promedio: 56% (en Guadalajara, Jal.).
- Densidad del aire a temp. ambiente: 1.2 kg/m³.
- Flujo de fuga: 0.05 m³/s (50% del flujo de llenado del tanque).

a) Cálculo del diámetro del fuego en charco considerando que se trata de una fuga continua. Se utilizará la ec. (4.76).

$$D_{eq} = 2 \left[\dot{V}_L / \pi \dot{y} \right]^{1/2} \dots (4.76)$$

$$D_{eq} = 28.2 \text{ m.}$$

b) Para estimar la altura de la flama se utilizarán las ec. de Thomas (4.83) y (4.84).

$$H/D = 55 \left(\dot{m}'' / \rho_v \sqrt{gD} \right)^{0.67} u^{*-0.21} \dots (4.83)$$

$$H = 29.62 \text{ m.}$$

$$u^* = u_w / \left(\frac{g \dot{m}'' D}{\rho_v} \right)^{1/2} \dots (4.84)$$

$$u_w = 1.78 \text{ m/s.}$$

c) Para evaluar la inclinación de la flama se utilizarán las correlaciones de AGA (4.86) para $u^* \geq 1$

$$\cos \theta = \begin{cases} 1 & u^* \leq 1 \\ 1/\sqrt{u^*} & u^* \geq 1 \end{cases} \dots (4.86)$$

$$\theta = 41.5^\circ$$

Con los datos de la geometría de la flama, se calculará la radiación incidente en un cuerpo receptor utilizando el modelo de flama sólida.

Los datos requeridos para evaluar la radiación son:

- Poder emisor.
- Factor de vista.
- Transmisividad.

para utilizar la ecuación (4.45)

$$q = EF\tau_o \dots (4.45)$$

- a) El poder emisor del fuego en charco se determinará a partir de la figura 2-4.11⁽¹⁾, para un charco de 28.2 m. de diámetro, el poder emisor es de 30 kw/m².
- b) El factor de vista se evaluará considerando que la flama tiene forma de un cilindro inclinado para la acción del viento, de acuerdo a la figura. 5.2.

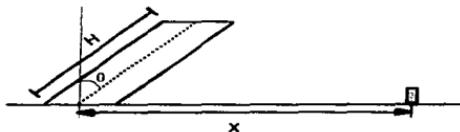


FIGURA 5.2.- GEOMETRÍA DEL FACTOR DE VISTA PARA UN CILINDRO INCLINADO.

Las ecuaciones que se utilizan para determinar el factor de vista para un cilindro inclinado son⁽¹⁾.

$$\pi F_v = \left[\frac{a \cos \theta}{b - a \sin \theta} \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2b(1 + a \sin \theta)}{\sqrt{AB}} \right] \tan^{-1} \sqrt{\frac{A}{B}} \left(\frac{b-1}{b+1} \right)^{1/2} \right] + \frac{\cos \theta}{\sqrt{C}}$$

$$\times \left[\tan^{-1} \frac{ab - (b^2 - 1) \sin \theta}{\sqrt{b^2 - 1} \sqrt{C}} + \tan^{-1} \frac{(b^2 - 1) \sin \theta}{\sqrt{b^2 - 1} \sqrt{C}} \right] - \frac{a \cos \theta}{b - a \sin \theta} \tan^{-1} \sqrt{\frac{b-1}{b+1}} \dots (5.1)$$

$$\pi F_h = \tan^{-1} \sqrt{\frac{b-1}{b+1}} - \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2(b+1 + ab \cos \theta)}{\sqrt{AB}} \right] \left[\tan^{-1} \sqrt{\frac{A}{B}} \left(\frac{b-1}{b+1} \right)^{1/2} \right] + \frac{\sin \theta}{\sqrt{C}}$$

$$\times \left[\tan^{-1} \frac{ab - (b^2 - 1) \sin \theta}{\sqrt{b^2 - 1} \sqrt{C}} + \tan^{-1} \frac{(b^2 - 1)^{1/2} \sin \theta}{\sqrt{C}} \right] \dots (5.2)$$

$$A = a^2 + (b+1)^2 - 2a(b+1) \cos \theta \quad \text{.....(5.3)}$$

$$B = a^2 + (b-1)^2 - 2a(b-1) \cos \theta \quad \text{.....(5.4)}$$

$$C = 1 + (b^2 - 1) \cos^2 \theta \quad \text{.....(5.5)}$$

$$F_m = \sqrt{F_v^2 + F_m^2} \quad \text{.....(5.6)}$$

a = altura de la flama / radio de la flama

b = distancia cuerpo receptor / radio de la flama

El factor de vista máximo se evaluará primeramente al límite del dique (30 m), por considerarse como el área adyacente al tanque con mayor riesgo. Los resultados de F_m para esa distancia son:

$$F_m = 0.5.$$

c) La transmisividad se calculará con la ec. (4.70)

$$\tau_a = \log(14.1RH^{-0.108}x^{-0.13}) \quad \text{.....(4.70)}$$

$$\tau_a = 0.77$$

d) La radiación incidente para un cuerpo a 30 m. de la flama es:

$$q = 11.55 \text{ kw/m}^2$$

Con este valor se tiene un umbral de dolor a los 4 s. y el 1% de probabilidad de fatalidad, si la exposición es por 45 s.

A continuación se muestra la tabla 5.3 donde se indican los niveles de radiación y sus efectos a diferentes distancias, a partir del fuego en charco calculado.

TABLA 5.3.- RADIACIÓN RECIBIDA A DIFERENTES DISTANCIAS POR FUEGO EN UNA FUGA EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.

<u>Distancia desde el centro de la flama (m).</u>	<u>Radiación recibida (kw/m²).</u>	<u>Efecto.</u>
30.0	11.55	Umbral de dolor a los 4 s. 1% de probabilidad de fatalidad a los 45 s.
50.0	8.9	Umbral de dolor entre los 6 y 9 s
100.0	2.1	Umbral de dolor a los 40 s.
150.0	1.4	Umbral de dolor a los 60 s.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Mudan, K., P. Croce.
Fire Hazard Calculations for Large Open Hydrocarbon Fires
 S.F.P.E. - AIChE, Boston, 1992.

CAPITULO VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para mayor claridad se darán las conclusiones y recomendaciones en forma separada, de acuerdo a los conceptos que cubre este trabajo.

• Normatividad.

Se concluye que la normatividad para la elaboración de estudios de análisis de riesgo es insuficiente dado que únicamente se menciona en dos artículos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al ambiente.

Se recomienda que a nivel Instituto Nacional de Ecología, se emita un reglamento para la elaboración de estudios de riesgos, que especifique claramente los siguientes aspectos:

- a) Bajo qué condiciones se debe realizar un estudio de análisis de riesgo. Entendiendo que se refiere a estudios previos a la construcción de una planta, o como un estudio para evaluar la operación de una planta. En base a los mencionados estudios se tendrá los argumentos suficientes para autorizar la construcción u operación de la planta.
- b) Especificar claramente las características que deben tener los procesos, para definir el tipo de estudio a realizar (Informe preliminar, estudio de riesgo o análisis detallado).
- c) Incentivar fiscalmente a las empresas para que elaboren o mantengan actualizados sus estudios de análisis de riesgo.

• Guías de estudios de riesgo.

- 1.- Todas las guías para la elaboración de estudios de riesgo son muy generales en los puntos de identificación y evaluación de riesgo; en cambio, en los puntos referentes a la información general son muy específicos.
- 2.- Se debe considerar seriamente la inclusión de los puntos referidos al entorno natural y socioeconómico, dado que no tienen relación directa con la identificación y evaluación de riesgo, pero sí implican un mayor tiempo y costo para la elaboración del estudio.
- 3.- Se deben reestructurar las guías para elaboración de los estudios, de tal forma que no se solicite información referente a la identificación de riesgo antes de realizarla.
- 4.- Se recomienda implementar a la brevedad una guía para elaboración de estudios de riesgo para ductos marinos, debido a la importancia que tienen estos ductos.
- 5.- Se recomienda integrar a las guías la información referente a la empresa que elaboró el estudio.
- 6.- Se recomienda eliminar de todas las guías, el punto referido a la integración del proyecto al Plan Nacional de Desarrollo, pues a todas luces no tiene nada que ver con la identificación y evaluación de riesgos.

7.- Es sumamente importante incluir en las guías información sobre la clasificación de áreas eléctricas, pues en base a ellas es posible determinar la correcta especificación del equipo eléctrico e instrumentación.

• **Análisis de riesgo.**

- 1.- Es importante mencionar que la identificación y evaluación de riesgos se refiere únicamente a riesgos operativos como son: fallas de equipos, fallas humanas, fallas del sistema de seguridad, fallas de diseño. Otros factores externos como son: vandalismo, terrorismo, guerras, riesgos asociados a la naturaleza, no son evaluados por estas técnicas.
- 2.- A pesar de que los estudios de riesgos se pueden efectuar durante las fases de diseño, construcción, puesta en marcha y operación de una planta, se recomienda efectuarlas al final de la fase de diseño, pues en esa fase no hay presiones económicas por cambios físicos o adquisición de equipos.
- 3.- Para la identificación de riesgos, a excepción de la Investigación de Accidentes e Incidentes y Publicaciones de Seguridad, todas las técnicas requieren que sean desarrolladas por grupos multidisciplinarios con experiencia, para obtener resultados óptimos
- 4.- A pesar de existir en el mercado una amplia variedad de programas de cómputo para la identificación de riesgos, en la actualidad, en México son utilizados escasamente, por lo que se propone sea difundida su existencia a través del Instituto Nacional de Ecología.
- 5.- Para evitar sobre enfatizar eventos poco probables es recomendable indicar la probabilidad de ocurrencia de los eventos analizados
- 6.- Para la identificación y evaluación de riesgos de una planta de almacenamiento y distribución de productos destilados, se procedió a catalogar las áreas más riesgosas por medio del Índice Mond; este procedimiento permite enfocar rápidamente donde se presentaría el mayor riesgo.

Posteriormente se identificaron los riesgos del área más peligrosa, en este caso, el área de almacenamiento de productos utilizando la técnica de HAZOP. Esta técnica se seleccionó por ser razonablemente rápida y sencilla de aplicar en comparación de otras técnicas (como son el Árbol de fallas y el Árbol de eventos), además de no requerir capacitación intensiva para su utilización.

Para la evaluación de consecuencias se estimó una fuga en la tubería de entrada al tanque de almacenamiento de gasolina, la cual se evapora y tiene una fuente de ignición que provoque un fuego en charco. El fuego producido tendría un diámetro de 26.2 m. y una altura de 29.62 m.; con estas dimensiones la radiación generada tendría efectos fatales a menos de 30 m. del centro de la flama.

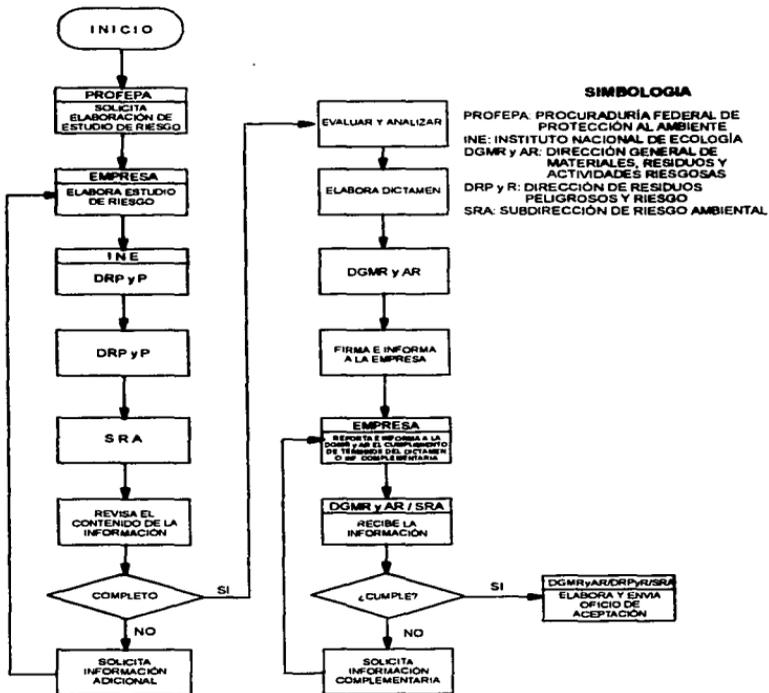
El tratar de identificar la secuencia de eventos que generaría la explosión de la fuga de gasolina es sumamente complicado por los eventos tremendistas que se tendrían que dar.

CAPITULO VII.- ANEXOS

ANEXO 1

**EVALUACIÓN DE ESTUDIOS DE RIESGO REQUERIDOS A EMPRESAS DE
ALTO RIESGO POR LA PROFEPA**

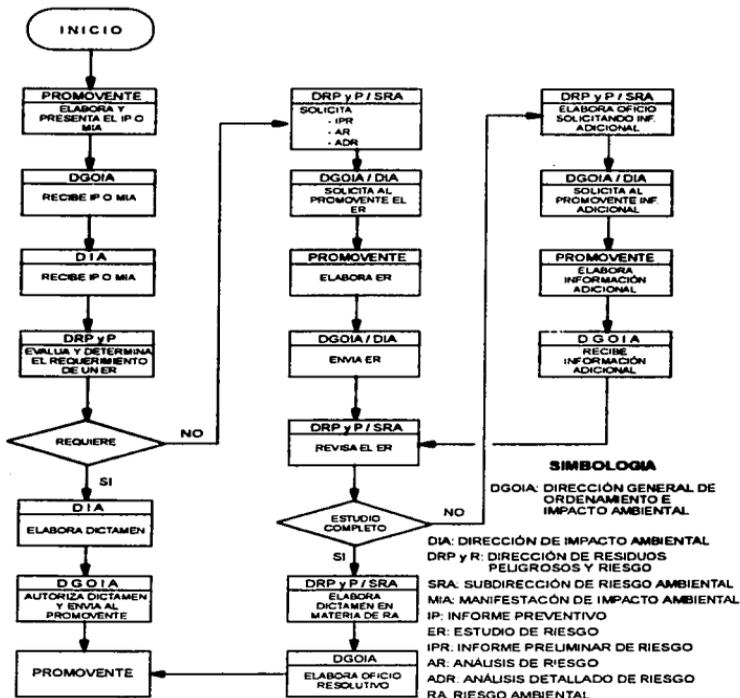
EVALUACIÓN DE ESTUDIOS DE RIESGO REQUERIDOS A EMPRESAS DE ALTO RIESGO POR LA PROFEPA



ANEXO 2

**PROCEDIMIENTO DE EVALUACION DE ESTUDIOS DE RIESGO VIA IMPACTO
AMBIENTAL**

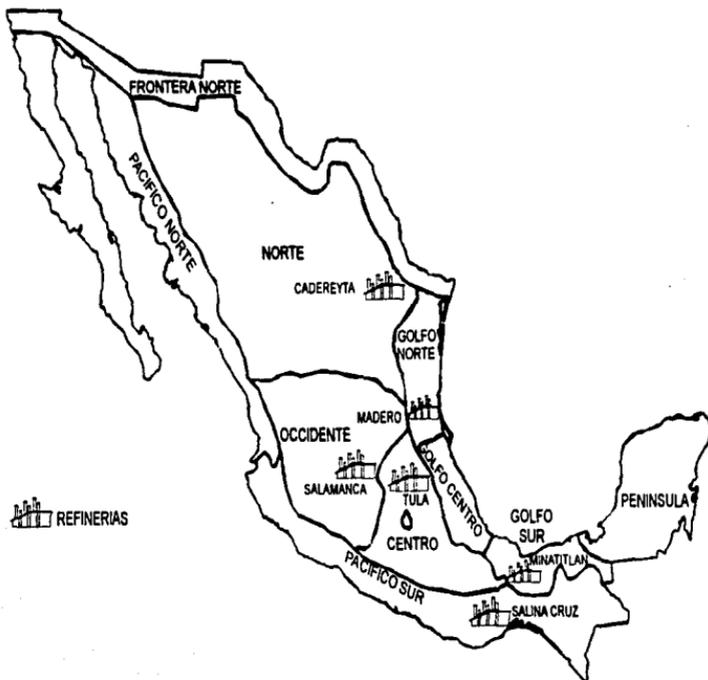
PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DE ESTUDIOS DE RIESGO VÍA IMPACTO AMBIENTAL



ANEXO 3

REGIONALIZACION DE LAS VENTAS DE PRODUCTOS PETROLIFEROS

REGIONALIZACIÓN DE VENTAS DE PRODUCTOS PETROLIFEROS



ANEXO 4

GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL INFORME PRELIMINAR DE RIESGO

GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL INFORME PRELIMINAR DE RIESGO

I.- DATOS GENERALES:

(La información solicitada en este apartado, es necesario escribirla sin abreviaturas y legible; cuando existan varios Departamentos involucrados en el plan o proyecto, anotarlos, pero con la observación de cual es el responsable).

I.1.- Nombre de la empresa u organismo.

I.2.- Registro Federal de Causantes de la empresa.

I.3.- Objeto de la empresa u organismo.

I.4.- Cámara o Asociación a la que pertenece.

I.4.1.- Número de registro de la Cámara o Asociación.

I.4.2.- Fecha.

I.5.- Instrumento jurídico mediante el cual se constituyó la empresa u organismo (escritura pública, decreto de creación, etc.).

I.6.- Departamento proponente.

I.6.1.- Domicilio para oír y recibir notificaciones.

Estado: _____ Ciudad: _____

Municipio: _____ Localidad: _____

Código postal: _____ Tel.: _____

I.6.2.- Nombre completo de la persona responsable del estudio.

Anexar comprobantes que identifiquen la capacidad jurídica del responsable de la empresa, suficientes para suscribir el presente documento.

I.6.3.- Puesto.

I.6.4.- Instrumento jurídico mediante el cual se concede poder suficiente al responsable para suscribir el presente documento (mandato, nombramiento, etc.). Anexar comprobante.

I.6.5.- Firma del responsable bajo protesta de decir la verdad.

II.- DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PLAN O 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 coordenadas del predio).

II.1.- Nombre de la planta.

II.1.1.- Planes de crecimiento futuro.

II.2.- Ubicación de la planta.

Estado: _____ **Municipio:** _____ **Localidad:** _____

Anexar planos de localización, marcando puntos importantes de interés cercanos al plan o proyecto; la escala del plano puede ser 1:20,000 o 1:25,000 en la microregión y 1:100,000 en la región.

II.2.1.- Coordenadas del predio.

II.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.

II.2.3.- Superficie total (m²): _____ requerida (m²): _____

II.2.4.- Origen legal del predio (compra, venta, concesión, expropiación, arrendamiento, etc.).

II.2.5.- Descripción de acceso (marítimos, terrestres y/o aéreos).

II.2.6.- Infraestructura necesaria (actual y proyectada).

II.3.- Actividades conexas (industriales, comerciales y de servicios).

II.4.- Lineamiento y programas de contratación de personal.

II.5.- Programas de capacitación y adiestramiento de personal.

II.6.- Especificar si cuentan con otras autorizaciones oficiales para realizar la actividad propuesta (licencia de funcionamiento, permiso de uso de suelo, etc.). Anexar comprobantes.

III.- ASPECTOS DEL MEDIO NATURAL Y SOCIOECONÓMICO

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.

III.1.- ¿Es una zona de cualidades estéticas únicas o excepcionales (por ejemplo: miradores sobre paisajes costeros naturales)?

III.2.- ¿Es o se encuentra cercano a una zona donde hay hacinamiento?

III.3.- ¿Es o se encuentra cercano a un recurso acuático (lago, ríos, etc.)?

III.4.- ¿Es o se encuentra cercano a un lugar o zona de atracción turística?

III.5.- ¿Es o se encuentra cercano a una zona de recreo (parques, escuelas u hospitales)?

III.6.- ¿ Es o se encuentra cercano a zonas que se reservan o debieran reservarse para hábitat de fauna silvestre?

- III.7.- ¿Es o se encuentra cercano a una zona de especies acuáticas?
- III.8.- ¿Es o se encuentra cercano a una zona de ecosistemas excepcionales?
- III.9.- ¿Es o se encuentra cercano a una zona de centros culturales, religiosos o históricos del país?
- III.10.- ¿Es o se encuentra cercano a una zona de parajes para fines educativos (por ejemplo: zonas ricas en características geológicas o arqueológicas)?
- III.11.- ¿Es o se encuentra cercano a una zona de pesquerías comerciales?
- III.12.- ¿Se están evaluando otros sitios donde sería posible establecer el proyecto? ¿Cuales son?
- III.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)?
- III.14.- ¿Dentro de un radio aproximado de 10 km. del área del proyecto, qué actividades se desarrollan?
- () Tierras cultivables.
 - () Bosques.
 - () Actividades industriales (incluidas las minas)
 - () Actividades comerciales o de negocios.
 - () Centros urbanos.
 - () Núcleos residenciales.
 - () Centros rurales.
 - () Zona de uso restringido (por motivos culturales, históricos, arqueológicos o reservas ecológicas).
 - () Cuerpos de agua.
- III.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?
 - () Riesgos radiológicos?
- III.16.- ¿Ha habido informes sobre contaminación del aire, de las aguas o por residuos sólidos debido a otras actividades en la zona del proyecto? Describir.
- III.17.- ¿Existirán durante las etapas de construcción y operación del proyecto, niveles de ruido que pudieran afectar a las poblaciones cercanas a él?

- III.18.- ¿Existe un historial epidémico y endémico de enfermedades cíclicas en el área del proyecto?
- III.19.- ¿Existen especies animales, vegetales (terrestres o acuáticas) en peligro de extinción o únicas, dentro del área del proyecto?
- III.20.- ¿Existirá alguna afectación a los hábitats presentes?
- III.21.- ¿Es la economía del área exclusivamente de subsistencia?
- III.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 asimismo, los aspectos demográficos y socioeconómicos del área de interés.
- III.23.- ¿Crearé el proyecto una demanda excesiva de:
- () Fuerza de trabajo de la comunidad?
 - () Servicio para la comunidad (vivienda y servicios en general)?
 - () Sistema de servicios públicos y de comunicaciones?
 - () Instalaciones o servicios de eliminación de residuos?
 - () Materiales de construcción?
- III.24.- ¿Coartará o aislará sectores de núcleos urbanos, vecindarios (barrios o distritos) o zonas étnicas o creará barreras que obstaculicen la cohesión y continuidad cultural de vecindarios?
- III.25.- ¿Además de los equipos de control de contaminación del suelo, aire y agua, se tienen contempladas otras medidas preventivas o programas de contingencias para evitar el deterioro del medio ambiente?

IV.- INTEGRACIÓN DEL PROYECTO A LAS POLÍTICAS MARCADAS EN EL PLAN NACIONAL DE DESARROLLO.

Este apartado se deberá desglosar de acuerdo con los distintos capítulos que conforman el Plan Nacional de Desarrollo y que tengan vinculación directa con el proyecto propuesto.

IV.1.- Requerimiento de agua y energía.

IV.1.1.- Agua (origen, fuente, suministro, cantidad, almacenamiento).

IV.1.2.- Agua cruda.

IV.1.3.- Agua potable.

IV.1.4.- Electricidad (origen, fuente de suministro, potencia, voltaje).

IV.1.5.- Combustibles (origen, suministro, cantidad, características, almacenamiento).

IV.2.- Etapa de operación.

IV.2.1.- Descripción del proyecto (debiendo anexar diagramas de flujo y de bloques).

IV.2.2.- Metabolismo industrial.

IV.2.3.- Descripción de las líneas de producción, reacción principal y secundarias.

IV.2.4.- Materias primas, productos y subproductos manejados en el proceso.
(Especificando: sustancia, equipo de seguridad, cantidad o volumen y concentración).

IV.2.5.- Tipo de recipientes y/o envases de almacenamiento (especificando características, tipo, dimensionamiento y cantidad o volumen por recipiente).

IV.3.- Sustancias involucradas en el proceso.

IV.3.1.- Componentes riesgosos.

IV.3.1.1.- Porcentaje y nombre de los componentes riesgosos.

IV.3.1.2.- Número CAS.

IV.3.1.3.- Número de Naciones Unidas.

IV.3.1.4.- Nombre del fabricante o importador.

IV.3.1.5.- En caso de emergencia comunicarse al teléfono o fax número: _____

IV.3.2.- Precauciones especiales.

IV.3.2.1.- Precauciones que deben ser tomadas en cuenta para el manejo y almacenamiento.

IV.3.2.2.- Especificar cumplimiento de acuerdo con la regulación de transporte.

IV.3.2.3.- Especificar cumplimiento de acuerdo a la reglamentación ecológica.

IV.3.2.4.- Otras precauciones.

IV.3.3.- Propiedades físicas.

IV.3.3.1.- Nombre comercial.

IV.3.3.2.- Nombre químico y peso molecular.

IV.3.3.3.- Familia química.

IV.3.3.4.- Sinónimos.

IV.3.3.5.- Temperatura de ebullición (°C).

IV.3.3.6.- Presión de vapor (mmHg a 20 °C).

IV.3.3.7.- Densidad del vapor (aire = 1).

IV.3.3.8.- Reactividad en agua.

IV.3.3.9.- Velocidad de evaporación (butil-acetato = 1).

IV.3.3.10.- Temperatura de autoignición.

IV.3.3.11.- Temperatura de fusión (°C).

IV.3.3.12.- Densidad relativa.

IV.3.3.13.- Solubilidad en agua.

IV.3.3.14.- Estado físico, color y olor.

IV.3.3.15.- Punto de inflamación.

IV.3.3.16.- Porcentaje de volatilidad.

IV.3.3.17.- Otros datos.

IV.3.4.- Riesgo para la salud.

IV.3.4.1.- Ingestión accidental.

IV.3.4.2.- Contacto con los ojos.

IV.3.4.3.- Contacto con la piel.

IV.3.4.4.- Absorción.

IV.3.4.5.- Inhalación.

IV.3.4.6.- Toxicidad

IDLH _____ (ppm o mg/m³).

TLV 8 horas _____ (ppm o mg/m³).

TLV 15 min. _____ (ppm o mg/m³).

IV.3.4.7.- Daño genético:

Clasificación de sustancias de acuerdo a las características carcinogénicas en humanos, por ejemplo: Instructivo No. 10 de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

IV.3.5.- Riesgos de fuego y explosión.

IV.3.5.1.- Medio de extinción

() Niebla de agua.

() Espuma.

() Halon.

() CO₂.

() Químico seco.

() Otros.

IV.3.5.2.- Equipo especial de protección, (general) para combate de incendio.

IV.3.5.3.- Procedimiento especial de combate de incendio.

IV.3.5.4.- Condiciones que conducen a un peligro de fuego y/o explosión no usuales.

IV.3.5.5.- Productos de combustión.

IV.3.5.6.- Flamabilidad

Límite superior de flamabilidad (%) _____

Límite inferior de flamabilidad (%) _____

IV.3.6.- Datos de reactividad.

Clasificación de sustancias por su actividad química, reactividad con el agua y potencial de oxidación.

IV.3.6.1.- Sustancia estable o inestable.

IV.3.6.2.- Condiciones a evitar.

IV.3.6.3.- Incompatibilidad, sustancias a evitar.

IV.3.6.4.- Descomposición de componentes peligrosos.

IV.3.6.5.- Polimerización peligrosa.

IV.3.6.6.- Condiciones a evitar.

IV.3.7.- Corrosividad:

Clasificación de sustancias por su grado de corrosividad.

IV.3.8.- Radioactividad:

Clasificación de sustancias radioactivas.

IV.4.- Condiciones de operación.

Equipos de proceso y auxiliares (descripción, características, tiempo estimado de uso y localización). Asimismo anexas plano de arreglo general de la planta, señalando distanciamientos existentes entre cada equipo. Debiendo incluir:

IV.4.1.- Temperaturas extremas de operación.

IV.4.2.- Presiones extremas de operación.

IV.4.3.- Estado físico de las diversas corrientes del proceso.

IV.4.4.- Características del régimen operativo de la instalación.

IV.4.5.- Características de instrumentación y control.

IV.4.6.- Origen de la ingeniería básica del proceso.

IV.5.- Riesgos.

IV.5.1.- Antecedentes de riesgo del proceso.

IV.5.2.- Responsable de la ingeniería de detalle.

IV.5.3.- Determinar y jerarquizar los riesgos en áreas de: proceso, almacenamiento y transporte, (en relación a transporte describir normas de seguridad y operación para captación y traslado de materias primas, productos y subproductos utilizados, que se consideren tóxicos, inflamables, explosivos, etc.).

IV.5.4.- Descripción de riesgos que tengan afectación potencial al entorno de la planta señalando el área de afectación en un plano de localización a escala de 1:50,000.

IV.5.5.- Definición y justificación de las zonas de protección alrededor de la instalación.

IV.5.6.- Descripción de medidas de seguridad y operación para abatir el riesgo.

IV.5.7.- Especificar sobre protección: tipo de protección y prácticas de higiene.

IV.5.8.- Respuesta a la lista de comprobación de seguridad.

IV.5.9.- Residuos principales (características y volumen).

IV.5.10.- Emisiones atmosféricas.

IV.5.11.- Descarga de aguas residuales.

IV.5.12.- Residuos sólidos.

IV.5.12.1.- Industriales.

IV.5.12.2.- Domésticos.

IV.5.13.- Sistema y tecnología de control y tratamiento (descripción general, características, capacidad).

IV.5.14.- Disposición final.

IV.5.14.1.- Volumen y composición de aguas tratadas o sin tratar.

IV.5.14.2.- Cuerpos receptores de aguas tratadas o sin tratar.

IV.5.14.3.- Volumen y composición de residuos sólidos.

IV.5.14.4.- Cuerpos receptores de residuos sólidos.

IV.5.14.5.- Factibilidad de reciclaje.

IV.5.14.6.- Uso de agua corriente abajo del proyecto, (abastecimiento público, riego, recreo, hábitat de especies acuáticas únicas o valiosas). No contestar en caso de que la descarga se realice a la red de alcantarillado municipal.

ANEXO 5

GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO DE RIESGO, MODALIDAD ANÁLISIS DE RIESGO

**GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO DE RIESGO,
MODALIDAD ANÁLISIS DE RIESGO.**

I.- DATOS GENERALES:

(La información solicitada en este apartado, es necesario escribirla sin abreviaturas y legible; cuando existan varios departamentos involucrados en el plan o proyecto, anotarlos, pero con la observación de cuál es el responsable).

I.1.- Nombre de la Empresa u Organismo.

I.2.- Registro Federal de Causantes.

I.3.- Objeto de la Empresa u Organismo.

I.4.- Cámara o Asociación a la que pertenece.

I.4.1.- Número de Registro de la Cámara o Asociación.

I.4.2.- Fecha.

I.5.- Instrumento Jurídico mediante el cual se constituyó la empresa u organismo. (escritura pública, decreto de creación, etc).

I.6.- Departamento proponente.

I.6.1.- Domicilio para oír y recibir notificaciones.

Estado: _____ **Ciudad:** _____

Municipio: _____ **Localidad:** _____

Código Postal: _____ **Tel.:** _____

I.6.2.- Nombre completo de la persona responsable.

Anexar comprobantes que identifiquen la capacidad jurídica del responsable de la Empresa, suficientes para suscribir el presente documento.

I.6.3.- Puesto.

I.6.4.- Instrumento jurídico mediante el cual se concede poder suficiente al responsable para suscribir el presente documento (mandato, nombramiento, etc.). Anexar comprobante.

I.6.5.- Firma del responsable bajo protesta de decir verdad.

II.- DESCRIPCIÓN 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).

II.1.- Nombre de la planta.

II.1.1.- Planes de crecimiento futuro.

II.2.- Ubicación de la planta.

Estado _____ Municipio _____ Localidad _____

Anexar planos de localización, marcando puntos importantes de interés cercanos al plan o proyecto, la escala del plano puede ser 1:20,000 ó 1:25,000 en la microregión y 1:100,000 en la región.

II.2.1.- Coordenadas del predio.

II.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.

II.2.3.- Superficie total (m²): _____ Requerida (m²): _____

II.2.4.- Origen legal del predio (compra, venta, concesión, expropiación, arrendamiento, etc).

II.2.5.- Descripción de acceso (marítimos, terrestres y/o aéreos).

II.2.6.- Infraestructura necesaria (actual y proyectada).

II.3.- Actividades conexas (industriales, comerciales y servicios).

II.4.- Lineamiento y programas de contratación de personal.

II.5.- Programas de capacitación y adiestramiento de personal.

II.6.- Especificar si cuentan con otras autorizaciones oficiales para realizar la actividad propuesta (licencia de funcionamiento, permiso de uso del suelo, etc). Anexar comprobantes.

III.- ASPECTOS DEL MEDIO NATURAL Y SOCIOECONÓMICO:

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.

III.1.- ¿Es una zona de cualidades estéticas únicas o excepcionales (por ejemplo: miradores sobre paisajes costeros naturales) ?

III.2.- ¿Es o se encuentra cercano a una zona donde hay hacinamiento?

III.3.- ¿Es o se encuentra cercano a un recurso acuático (lago, ríos, etc.) ?

III.4.- ¿Es o se encuentra cercano a un lugar o zona de atracción turística?

III.5.- ¿Es o se encuentra cercano a una zona de recreo (parques, escuelas u hospitales) ?

III.6.- ¿ Es o se encuentra cercano a zonas que se reservan o debieran reservarse para hábitat de fauna silvestre?

- III.7.- ¿Es o se encuentra cercano a una zona de especies acuáticas?
- III.8.- ¿Es o se encuentra cercano a una zona de ecosistemas excepcionales?
- III.9.- ¿Es o se encuentra cercano a una zona de centros culturales, religiosos o históricos del país?
- III.10.- ¿Es o se encuentra cercano a una zona de parajes para fines educativos (por ejemplo: zonas ricas en características geológicas o arqueológicas)?
- III.11.- ¿Es o se encuentra cercano a una zona de pesquerías comerciales?
- III.12.- ¿Se están evaluando otros sitios donde sería posible establecer el proyecto? ¿Cuales son?
- III.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)?
- III.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)
 - () Actividades comerciales o de negocios.
 - () Centros urbanos.
 - () Núcleos residenciales.
 - () Centros rurales.
 - () Zona de uso restringido (por motivos culturales, históricos, arqueológicos o reservas ecológicas).
 - () Cuerpos de agua.
- III.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?
 - () Riesgos radiológicos?
- III.16.- ¿Ha habido informes sobre contaminación del aire, de las aguas o por residuos sólidos debido a otras actividades en la zona del proyecto? Describir.
- III.17.- ¿Existirán durante las etapas de construcción y operación del proyecto, niveles de ruido que pudieran afectar a las poblaciones cercanas a él?

- III.18.- ¿Existe un historial epidémico y endémico de enfermedades cíclicas en el Área del proyecto?
- III.19.- ¿Existen especies animales, vegetales (terrestres o acuáticas) en peligro de extinción o únicas, dentro del área del proyecto?
- III.20.- ¿Existirá alguna afectación a los hábitats presentes?
- III.21.- ¿Es la economía del área exclusivamente de subsistencia?
- III.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 asimismo, los aspectos demográficos y socioeconómicos del área de interés.
- III.23.- ¿Crearé el proyecto una demanda excesiva de:
- () Fuerza de trabajo de la comunidad?
 - () Servicio para la comunidad (vivienda y servicios en general)?
 - () Sistema de servicios públicos y de comunicaciones?
 - () Instalaciones o servicios de eliminación de residuos?
 - () Materiales de construcción?
- III.24.- ¿Cortará o aislará sectores de núcleos urbanos, vecindarios (barrios o distritos) o zonas étnicas o creará barreras que obstaculicen la cohesión y continuidad cultural de vecindarios?
- III.25.- ¿Además de los equipos de control de contaminación del suelo, aire y agua, se tienen contempladas otras medidas preventivas o programas de contingencias para evitar el deterioro del medio ambiente?

IV.- INTEGRACIÓN DEL PROYECTO A LAS POLÍTICAS MARCADAS EN EL PLAN NACIONAL DE DESARROLLO.

Este apartado de deberá desglosar de acuerdo con los distintos capítulos que conforman el Plan Nacional de Desarrollo y que tengan vinculación directa con el proyecto propuesto.

IV.2.- Etapa de operación.

- IV.2.1.- Descripción del proyecto (debiendo anexar diagramas de flujo y de bloques).
- IV.2.2.- Metabolismo Industrial.
- IV.2.3.- Descripción de líneas de producción, reacción principal y secundaria.
- IV.2.4.- Materias primas, productos y subproductos manejados en el proceso. (Especificando: sustancia, equipo de seguridad, cantidad o volumen y concentración).
- IV.2.5.- Tipo de recipientes y/o envase de almacenamiento (especificando características, tipo, dimensionamiento y cantidad o volumen por recipiente).

IV.3.- Sustancias involucradas en el proceso.

IV.3.1.- Componentes riesgosos.

IV.3.1.1.- Porcentaje y nombre de componentes riesgosos.

IV.3.1.2.- Número CAS.

IV.3.1.3.- Número de Naciones Unidas.

IV.3.1.4.- Nombre del fabricante o importador.

IV.3.1.5.- En caso de emergencia comunicarse al teléfono o fax número: _____

IV.3.2.- Precauciones especiales.

IV.3.2.1.- Precauciones que deben ser tomadas en cuenta para el manejo y almacenamiento.

IV.3.2.2.- Especificar cumplimiento de acuerdo con la regulación de transporte.

IV.3.2.3.- Especificar cumplimiento de acuerdo a la reglamentación ecológica.

IV.3.2.4.- Otras precauciones.

IV.3.3.- Propiedades físicas.

Datos de las sustancias peligrosas que se manejan como: materia prima, producto y subproducto.

IV.3.3.1.- Nombre comercial: _____ Nombre químico: _____

IV.3.3.2.- Sinónimos: _____

IV.3.3.3.- Fórmula química: _____ Estado físico: _____

IV.3.3.4.- Peso molecular: _____ (g/gmol).

IV.3.3.5.- Densidad a temperatura inicial (T_1): _____ (g/ml).

IV.3.3.6.- Punto de ebullición: _____ ($^{\circ}\text{C}$).

IV.3.3.7.- Calor de vaporización a (T_2): _____ (cal/g).

IV.3.3.8.- Calor de combustión (como líquido) _____ (BTU/lb).

IV.3.3.9.- Calor de combustión (como gas) _____ (BTU/lb).

IV.3.5.- Riesgo de fuego o explosión.

IV.3.5.1.- Medios de extinción.

() Niebla de agua.

() Espuma

- () Halon.
- () CO₂
- () Químico seco
- () Otros

IV.3.5.2.- Equipo especial de protección, (general) para combate de incendio.

IV.3.5.3.- Procedimiento especial de combate de incendio

IV.3.5.4.- Condiciones que conducen a un (a) peligro de fuego y explosión no usuales.

IV.3.5.5.- Productos de combustión.

IV.3.5.6.- Flammabilidad:

Límite superior de flammabilidad (%)

Límite inferior de flammabilidad (%)

IV.3.6.- Datos de reactividad.

IV.3.6.1.- Clasificación de sustancias por su actividad química, reactividad con el agua, y potencial de oxidación.

IV.3.6.2.- Estabilidad de las sustancias .

IV.3.6.3.- Condiciones a evitar,

IV.3.6.4.- Incompatibilidad, (sustancias a evitar).

IV.3.6.5.- Descomposición de componentes peligrosos.

IV.3.6.6.- Polimerización peligrosa.

IV.3.7.- Corrosividad

Clasificación de sustancias por su grado de corrosividad.

IV.3.8.- Radioactividad

Clasificación de sustancias por su grado de radioactividad.

IV.4.- Residuos principales (características, volumen, emisiones atmosféricas, descarga de aguas residuales).

IV.4.1.- Residuos sólidos.

Industriales:

Domésticos:

IV.4.2.- Sistema y tecnología de control y tratamientos (descripción general, características y capacidad).

IV.4.3.- Disposición final: (volumen, composición y cuerpos receptores)

IV.4.4.- Aguas tratadas.

IV.4.5.- Residuos sólidos.

IV.4.6.- Factibilidad de reciclaje.

IV.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 a la red de alcantarillado municipal.

IV.5.- Condiciones de operación.

IV.5.1.- Características de instrumentación y control (debiendo incluir diagrama lógico de control y diagramas de tuberías e instrumentación).

IV.5.2.- Métodos usados y bases de diseño en el dimensionamiento y capacidad de los sistemas de relevo y venteo.

IV.5.3.- Equipos de proceso y auxiliares (descripción, características, tiempo estimado de uso y localización). Asimismo, se deberán anexar diagramas de pátalos y arreglo general de la planta.

IV.5.4.- Asimismo, se deberá incluir: (temperaturas extremas de operación presiones extremas de operación y estado físico de las diversas corrientes del proceso).

IV.5.5.- Características del régimen de la instalación.

IV.5.6.- Características de los recipientes y/o envases para almacenamiento (tipo de recipientes y/o envases, diámetro del recipiente, tipo de material, capacidad y densidad máxima de llenado).

V.- RIESGO AMBIENTAL

V.1.- Antecedentes de riesgo del proceso.

V.2.- Determinar y jerarquizar los riesgos en áreas de: proceso, almacenamiento y transporte.

V.3.- Describir los riesgos potenciales de accidentes ambientales por:

V.3.1.- Fugas de productos tóxicos o carcinogénicos.

V.3.2.- Derrame de productos tóxicos.

V.3.3.- Explosión.

V.4.- Descripción de medidas de seguridad y operación para abatir el riesgo.

- V.5.- Describir los dispositivos de seguridad con que se cuenta para el control de eventos extraordinarios.
- V.6.- Descripción de normas de seguridad y operación para captación y traslado de: materias primas, productos y subproductos utilizados que se consideran tóxicos, flamables, explosivos, etc.
- V.7.- Descripción de rutas de traslado de sustancias que se consideren tóxicas, flamables, explosivas, etc.
- V.8.- Descripción del entrenamiento para capacitación de los operarios de transportes.
- V.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 1:5,000.
- V.10.- Definición y justificación de las zonas de protección alrededor de la instalación.
- V.11.- Respuestas a la lista de comprobaciones detallada de seguridad.
- V.12.- Descripción de auditorías de seguridad.

ANEXO 6

GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DE RIESGO, MODALIDAD ANÁLISIS DETALLADO DE RIESGO

**GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO DE RIESGO, MODALIDAD
ANÁLISIS DETALLADO DE RIESGO.**

I.- DATOS GENERALES:

(La información solicitada en este apartado, es necesario escribirla sin abreviaturas y legible; cuando existan varios Departamentos involucrados en el plan o proyecto, anotarlos, pero con la observación de cuál es el responsable.)

I.1.- Nombre de la Empresa u Organismo

I.2.- Registro Federal de Causantes de la Empresa.

I.3.- Objeto de la Empresa u Organismo.

I.4.- Cámara o Asociación a la que pertenece.

I.4.1.- Número de Registro de la Cámara o Asociación.

I.4.2.- Fecha

I.5.- Instrumento jurídico mediante el cual se constituyó la empresa u organismo (escritura pública, decreto de creación, etc.)

I.6.- Departamento proponente.

I.6.1.- Domicilio para oír y recibir modificaciones

Estado: _____ Ciudad: _____

Municipio: _____ Localidad: _____

Código Postal: _____ Tel.: _____

I.6.2.- Nombre completo de la persona responsable del estudio.

Anexa comprobantes que identifiquen la capacidad jurídica del responsable de la Empresa, suficientes para suscribir el presente documento.

I.6.3.- Puesto

I.6.4.- Instrumento jurídico mediante el cual se concede poder suficiente al responsable para suscribir el presente documento (mandato, nombramiento, etc.) Anexar comprobantes.

I.6.5.- Firma del responsable bajo protesta de decir verdad.

II.- DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PLAN O 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).

II.1.- Nombre del proyecto.

II.1.1.- Naturaleza del proyecto (descripción general, capacidad proyectada, inversión, vida útil).

II.1.2.- Planes de crecimiento futuro.

II.2.- Ubicación del Proyecto.

Estado: _____ Municipio: _____ Localidad: _____

Anexar planos de localización marcando puntos importantes de interés cercanos al plan o proyecto, la escala de plano puede ser 1:20,000 ó 1:25,000 en la microregión y 1:100,000 en la región.

II.2.1.- Descripción de las características: geológicas, topográficas y climatológicas del sitio de la instalación del proyecto; anexando mapa del sitio y sus alrededores a una escala lo suficientemente grande que muestre todos los componentes que puedan ser significativos en la identificación del riesgo.

II.2.2.- Coordenadas del predio.

II.2.3.- 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.

II.2.4.- Superficie total (m²): _____ requerida (m²): _____

II.2.5.- Origen legal del predio (compra, venta, concesión, expropiación, arrendamiento, etc).

II.2.6.- Descripción de acceso (marítimos, terrestres y/o aéreos).

II.2.7.- Infraestructura necesaria (actual y proyectada).

II.3.- Actividades conexas (industriales, comerciales y de servicios)

II.4.- Lineamiento y programas de contratación de personal.

II.5.- Programas de capacitación y adiestramiento de personal.

II.6.- Especificar si cuentan con otras autorizaciones oficiales para realizar la actividad propuesta (licencia de funcionamiento, permiso de uso del suelo, etc.) anexar comprobantes.

III.- ASPECTOS DEL MEDIO NATURAL Y SOCIOECONÓMICO.

Describe el sitio seleccionado para la realización del proyecto bajo los siguientes parámetros, contestando negativamente o afirmativamente y especificando los elementos relevantes en su caso.

III.1.- ¿Es una zona de cualidades estéticas únicas o excepcionales (por ejemplo: miradores sobre paisajes costeros naturales) ?

III.2.- ¿Es o se encuentra cercano a una zona donde hay hacinamiento?

- III.3.- ¿Es o se encuentra cercano a un recurso acuático (lago, ríos, etc.)?
- III.4.- ¿Es o se encuentra cercano a un lugar o zona de atracción turística?
- III.5.- ¿Es o se encuentra cercano a una zona de recreo (parques, escuelas u hospitales)?
- III.6.- ¿ Es o se encuentra cercano a zonas que se reservan o debieran reservarse para hábitat de fauna silvestre?
- III.7.- ¿Es o se encuentra cercano a una zona de especies acuáticas?
- III.8.- ¿Es o se encuentra cercano a una zona de ecosistemas excepcionales?
- III.9.- ¿Es o se encuentra cercano a una zona de centros culturales, religiosos o históricos del país?
- III.10.- ¿Es o se encuentra cercano a una zona de parajes para fines educativos (por ejemplo: zonas ricas en características geológicas o arqueológicas)?
- III.11.- ¿ Es o se encuentra cercano a una zona de pesquerías comerciales?
- III.12.- ¿Se están evaluando otros sitios donde sería posible establecer el proyecto? ¿Cuales son?
- III.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)?
- III.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)
 - () Actividades comerciales o de negocios.
 - () Centros urbanos.
 - () Núcleos residenciales.
 - () Centros rurales.
 - () Zona de uso restringido (por motivos culturales, históricos, arqueológicos o reservas ecológicas).
 - () Cuerpos de agua.
- III.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?

() Riesgos radiológicos?

- III.16.- ¿Ha habido informes sobre contaminación del aire, de las aguas o por residuos sólidos debido a otras actividades en la zona del proyecto? Describir.
- III.17.- ¿Existirán durante las etapas de construcción y operación del proyecto, niveles de ruido que pudieran afectar a las poblaciones cercanas a él?
- III.18.- ¿Existe un historial epidémico y endémico de enfermedades cíclicas en el área del proyecto?
- III.19.- ¿Existen especies animales, vegetales (terrestres o acuáticas) en peligro de extinción o únicas, dentro del área del proyecto?
- III.20.- ¿Existirá alguna afectación a los hábitats presentes?
- III.21.- ¿Es la economía del área exclusivamente de subsistencia?
- III.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 asimismo, los aspectos demográficos y socioeconómicos del área de interés.
- III.23.- ¿Crear el proyecto una demanda excesiva de:
- () Fuerza de trabajo de la comunidad?
 - () Servicio para la comunidad (vivienda y servicios en general)?
 - () Sistema de servicios públicos y de comunicaciones?
 - () Instalaciones o servicios de eliminación de residuos?
 - () Materiales de construcción?
- III.24.- ¿Cortará o aislará sectores de núcleos urbanos, vecindarios (barrios o distritos) o zonas étnicas o creará barreras que obstaculicen la cohesión y continuidad cultural de vecindarios?
- III.25.- ¿Además de los equipos de control de contaminación del suelo, aire y agua, se tienen contempladas otras medidas preventivas o programas de contingencias para evitar el deterioro del medio ambiente?
- III.26.- Integración del proyecto a las políticas marcadas en el Plan Nacional de Desarrollo.

Este apartado se deberá desglosar de acuerdo con los distintos capítulos que conforman el Plan Nacional de Desarrollo y que tengan vinculación con el proyecto propuesto.

Etapas de construcción del proyecto.

A.- Requerimiento de recursos materiales y humanos.

- 1.- Materiales requeridos por etapa del proyecto (material / cantidad).
- 2.- Requerimientos de mano de obra durante la construcción (desglose por etapas), y mantenimiento.

Funcionarios.

Técnicos.

Empleados.

1.- Agua (origen, fuente de suministro, cantidad, almacenamiento):

Agua cruda.

Agua potable

2.- Electricidad (origen, fuente de suministro, potencia, voltaje):

3.- Combustible (origen, estado, cantidad, características, almacenamiento).

IV.- DISEÑO DEL PROCESO

IV.1.- Elaborar breve descripción de la historia del proceso.

IV.2.- Describir en forma detallada la selección de la ingeniería básica del proceso tomando como base las características de los materiales involucrados.

IV.3.- Características de los materiales involucrados en el proceso, (materias primas, productos, subproductos o residuos).

Nombre comercial: _____ Nombre químico: _____

Fórmula química: _____ Estado físico: _____

Peso molecular: _____ (g/gmol).

Densidad a temperatura inicial (T_i): _____ (g/ml).

Punto de ebullición: _____ ($^{\circ}\text{C}$)

Calor de vaporización: _____ (cal/g).

Calor de combustión (como líquido): _____ (BTU/lb)

Calor de combustión (como gas): _____ (BTU/lb)

Temperatura de líquido en proceso: _____ ($^{\circ}\text{C}$).

Volumen a condiciones normales: _____ (pie^3).

Volumen del proceso: _____ (gal).

Masa de la sustancia emitida: _____ (kg).

Gasto de la sustancia en la fuente: _____ (g/s).

Gasto volumétrico de emisión: _____ (m^3/s).

IV.3.1.- Toxicidad:

IDLH _____ (ppm o mg/m3)

TLV 8 horas: _____ (ppm o mg/m3)

TLV 15 min.: _____ (ppm o mg/m3)

IV.3.2.- Daño genético:

Clasificación de sustancias de acuerdo a las características carcinogénicas en humanos.

IV.3.3.- Explosividad:

Límite Superior de Explosividad (%) _____

Límite Inferior de Explosividad. (%) _____

IV.3.4.- Flammabilidad:

Límite Superior de flammabilidad (%) _____

Límite Inferior de flammabilidad (%) _____

IV.3.5.- Reactividad:

Clasificación sustancias por su actividad química, reactividad con el agua, y potencial de oxidación.

IV.3.6.- Corrosividad:

Clasificación de sustancias por su grado de corrosividad.

IV.3.7.- Radioactividad:

Clasificación de sustancias radioactivas.

IV.3.8.- Describir las características termodinámicas del proceso.

IV.3.9.- Describir Características de diseño y operativas de los equipos de alto riesgo (reactores, equipos de destilación, sistemas de refrigeración y transferencia térmica).

IV.3.9.- Describir características de diseño y operativas de los equipos de alto riesgo (reactores, equipos de destilación, sistemas de refrigeración y transferencia térmica)

IV.3.10.- Describir la cinética de las reacciones llevadas a cabo en el proceso, bajo condiciones normales y anormales.

IV.3.11.- Describir en forma detallada sobre planta piloto.

IV.3.12.- Anexar diagrama de flujo de proceso, así como también balance de materia y energía.

IV.3.13.- Especificar en forma detallada sobre el equipo básico de proceso en lo referente a:

- Bases de diseño

- Condiciones de operación.
- Factores de seguridad.
- Dimensiones.
- Pruebas de operabilidad.

IV.4.- Indicar las sustancias que se consideren de riesgo involucradas en el proceso y sus cantidades de almacenaje.

IV.4.1.- Proceso.

IV.4.2.- Almacenaje (tipo, capacidad, etc).

IV.5.- Arreglo general de la planta.

IV.5.1.- Anexar plano a escala con la distribución de los diversos equipo de proceso en función de los accidentes probables.

IV.5.2.- Describir e identificar los riesgos más relevantes del proceso.

IV.5.3.- Anexar plano (diagrama de pétalos), que muestre las áreas afectadas, por el riesgo más relevante del proceso.

IV.5.4.- Describir justificación de accesos y escapes.

IV.6.- Diseño mecánico.

IV.6.1.- Anexar planos de detalle de los principales equipos de proceso.

IV.6.2.- Anexar plano a escala de instrumentación y tuberías.

IV.6.3.- Describir normas de materiales y diseño de los equipos y sistemas de conducción.

IV.6.4.- Describir los sistemas de desfoque existentes en la planta.

IV.7.- Diseño del servicio.

IV.7.1.- Anexar planos generales de los sistemas de servicio.

IV.7.2.- Descripción de análisis de confiabilidad de los servicios externos e internos.

IV.7.3.- Descripción y justificación de los sistemas redundantes de servicios.

IV.8.- Diseño civil y estructural.

IV.8.1.- Describir el diseño sísmico de la instalación.

IV.8.2.- Describir normas y especificaciones de los materiales de construcción.

IV.8.3.- Especificar en forma detallada las bases de diseño para el cuarto de control.

IV.9.- Diseño de la instrumentación.

IV.9.1.- Indicar las bases de diseño de los sistemas de instrumentación utilizados.

IV.9.2.- Especificar las bases de diseño de los sistemas de instrumentación utilizados.

IV.10.- Diseño de los sistemas de control de accidentes.

IV.10.1.- Describir las bases de diseño de los sistemas de aislamiento y contención.

IV.10.2.- Anexar planos generales de los sistemas de aislamiento y contención.

IV.11.- Sistemas contra incendio.

IV.11.1.- Describir las bases de diseño de los sistemas integrales de protección contra incendio, (sistema de aspersión, sistema de hidrantes y monitores, así como también describir el diseño del sistema de almacenamiento y distribución de agua y bombeo).

IV.11.2.- Anexar planos generales de la planta donde se indique la localización de los sistemas integrales de protección contra incendio.

V.- ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RIESGO.

V.1. Identificación de riesgos.

Describir los efectos de riesgo que pueden presentarse tanto en forma accidental como premeditada, las posibles causas, sus consecuencias y las acciones requeridas para eliminar y reducir los efectos negativos detectados.

EFECTOS	CAUSAS	CONSECUENCIAS	ACCIONES REQUERIDAS
---------	--------	---------------	------------------------

V.2.- Evaluación de riesgo.

Descripción de los probables eventos de alto riesgo y las posibles fallas primarias que dan origen.

V.3.- Modelación del o los eventos máximo (s) probable (s) de riesgo.

VI.- AUDITORIAS DE SEGURIDAD.

VI.1.- Presentar anualmente reporte periódico del resultado de auditorias de seguridad practicadas a todas las instalaciones de la planta.

VI.2.- Describir las medidas de prevención abatimiento de los posibles riesgos del proceso.

VII.- TRANSPORTE.

VII.1.- Describir rutas de traslado de los productos involucrados que se consideren riesgosos.

VII.2.- Describir las normas de seguridad y operación para el traslado de los productos utilizados.

VII.3.- Descripción de los señalamientos utilizados en el transporte de acuerdos a las características de los productos involucrados.

VII.4.- Describir medidas inmediatas a ser tomadas en caso de accidente en el transporte.

VII.5.- Indicar los programas de plan de ayuda mutua.

VII.6.- Descripción del entrenamiento para la capacitación de los operarios de los transportes.

ANEXO 7

GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DE RIESGO, MODALIDAD ANÁLISIS DE RIESGO PARA DUCTOS

GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO DE RIESGO, MODALIDAD ANÁLISIS DE RIESGO PARA DUCTOS.

I.- DATOS GENERALES

(La presente guía no debe ser considerada como si fuera un simple cuestionario, sino como un resumen de los lineamientos fundamentales para elaborar un documento serio y formal, que reporte el empleo de la metodología más idónea sobre análisis de riesgo para la actividad proyectada).

- Nombre de la Empresa u Organismo.
- Registro Federal de Causantes.
- Objeto de la Empresa u Organismo.
- Instrumento jurídico mediante el cual se constituyó la empresa u organismo. (escritura pública, decreto de creación, etc.)
- Domicilio para oír y recibir notificaciones.

Estado: _____ Ciudad: _____

Municipio: _____ Localidad: _____

Código Postal: _____ Tel.: _____

- Nombre completo de la persona responsable y puesto.
- Instrumento jurídico mediante el cual se concede poder suficiente al responsable para suscribir el presente documento (mandato, nombramiento, etc.). Anexar comprobante.
- Firma del responsable bajo protesta de decir verdad.

II.- DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.

NOMBRE DEL PROYECTO O INSTALACIÓN.

- Naturaleza de la instalación o proyecto (descripción general, capacidad proyectada, inversión, vida útil).
- Número de líneas por corredor de ductos.
- Identificación de ductos.
- Origen, destino, longitud y diámetro de ducto (s)
- Servicio.

UBICACIÓN DE LA INSTALACIÓN O PROYECTO.

- Municipios por los que pasan los ductos.

- Centros de población y núcleos habitacionales que son o serán afectados por los ductos
- Derechos de vía requeridos para la protección de ductos e instalaciones.
- Dimensiones de las zonas de protección generadas por la presencia de instalaciones de los ductos tales como plantas de bombeo, cercamos, válvulas especiales, plantas de energía, etc.; así como su ubicación a lo largo del ducto.
- Descripción de las colindancias de los ductos, señalando el uso del suelo en una franja paralela a su derecho de vía de 100 metros, señalando cruces con carreteras, ríos, ferrocarriles, etc.
- Anexar planos de localización, marcando puntos importantes de interés cercanos al plan o proyecto, la escala de plano puede ser 1:20,000 ó 1:25,000 en la microregión y 1:100,000 en la región.

III.- ASPECTOS DEL MEDIO NATURAL Y SOCIOECONÓMICO:

Describe el sitio seleccionado para la realización del proyecto, especificando los elementos relevantes en su caso.

- Especificar sobre la cercanía del corredor de ducto (s) a zonas donde existan:
 - Asentamientos irregulares,
 - Centros residenciales, rurales, etc.
 - Atractivos turísticos, centros culturales, religiosos o históricos, parajes para fines educativos, etc.
 - Áreas de uso especial, (por ejemplo: escuelas, hospitales, etc.)
 - Actividades industriales, comerciales y de servicio.
 - Tierras cultivables.
 - Cualidades estéticas únicas o excepcionales.
 - Reservas para hábitat de fauna silvestre.
 - Ecosistemas excepcionales.
 - Recursos acuáticos (lagos, ríos, etc.)
 - Especies acuáticas de pesquerías comerciales:
 - Especies animales (terrestres y acuáticas) y vegetales en peligro de extinción o únicas, dentro del área del proyecto
- Citar si se están evaluando otros sitios donde sería posible establecer el proyecto, señalando cuáles son.
- 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).
- Especificar sobre el cruce por lugares ubicados en zonas susceptibles 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.
- Descripción topográfica de las zonas.
 - Profundidades y tipos de suelo.
 - Describir las características climatológicas por las zonas donde pasa el corredor del ducto (s) como son: Temperatura ambiente máxima y mínima; Vientos reinantes y dominantes; etc., (promedio por zonas).
 - Antecedentes de epidemias, contaminación del aire, de las aguas o por residuos sólidos debido a otras actividades en la zona del proyecto.
 - Afectación a los hábitats presentes.
 - Cortará o aislará sectores de núcleos urbanos, vecindarios (barrios o distritos) o zonas étnicas o creará barreras que obstaculicen la cohesión y continuidad cultural de vecindarios.

IV.- INTEGRACIÓN DEL PROYECTO A LAS POLÍTICAS MARCADAS EN EL PLAN NACIONAL DE DESARROLLO.

Este apartado se deberá desglosar de acuerdo con los distintos capítulos que conforman el plan nacional de desarrollo y que tengan vinculación directa con el proyecto propuesto.

ETAPA DE CONSTRUCCIÓN.

- Materiales requeridos por etapa del proyecto y requerimiento de mano de obra.
- Equipo requerido por etapa del proyecto (en cantidad, tiempo estimado de uso y descripción.)
- Requerimientos de agua, combustibles, (origen, fuente, suministro, cantidad y almacenamiento) y electricidad (origen, fuente de suministro, potencia y voltaje).

BASES DE DISEÑO:

- Características del ducto.
- Materiales de construcción en toda la longitud del ducto.
- Tolerancia a la corrosión.
- Códigos de diseño utilizados.
- Duración y cambio de servicios.

- Recubrimientos internos y externos.
- Memoria técnica de la infraestructura necesaria para la operación del proyecto, así como su número y ubicación a lo largo del ducto, tales como: estaciones de bombeo o compresión; estaciones de trampas de diablos; estaciones de regulación; puentes de cruce; sistemas de seguridad; venteos y otros.

V.- SUSTANCIAS INVOLUCRADAS.

V.1.- COMPONENTES RIESGOSOS.

- Porcentaje y nombre de componentes riesgosos.
- Número CAS o de Naciones Unidas.
- Nombre del fabricante o importador.
- En caso de emergencia comunicarse al teléfono o fax número: _____

V.2.- PRECAUCIONES ESPECIALES.

- Especificar cumplimiento de acuerdo a la reglamentación ecológica.
- Otras precauciones.

V.3.- PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.

- Nombre químico y comercial.
- Sinónimos.
- Fórmula química.
- Peso molecular: _____ (g/mol).
- Densidad: _____ (g/ml).
- Punto de ebullición: _____ (°C).
- Calor de vaporización a (T₂): _____ (cal/g).
- Calor de combustión (como líquido): _____ (BTU/lb).
- Calor de combustión (como gas): _____ (BTU/lb).
- Volumen a condiciones de operación: _____ (pie³).
- Presión de vapor: _____ (mmHg a 20°C).

- Densidad de vapor: _____ (aire=1).
- Velocidad de evaporación: _____ (butil-acetona=1).
- Temperatura de autoignición: _____ (°C).
- Temperatura de fusión: _____ (°C).
- Densidad relativa: _____.
- Solubilidad en agua: _____.
- Estado físico, color y olor.
- Punto de inflamación.
- Por ciento de volatilidad.
- Otros datos de interés.

V.4.- RIESGO PARA LA SALUD.

- Ingestión accidental.
- Contacto con los ojos.
- Contacto con la piel.
- Absorción.
- Inhalación.
- Toxicidad.

IDLH _____ (ppm o mg/m3)

TLV 8 horas _____ (ppm o mg/m3)

TLV 15 min _____ (ppm o mg/m3)

- Daño genético: Clasificación de las sustancias de acuerdo a las características carcinogénicas en humanos, por ejemplo: Instructivo n°. 10 de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social u otros. Especificar.

V.5.- RIESGO DE FUEGO O EXPLOSIÓN Y SU ATENCIÓN.

- Condiciones que conducen a un peligro de fuego y explosión no usuales.
- Productos de combustión.
- Medios de extinción.

- Equipo especial de protección, (general) para combate de incendio.
- Procedimiento especial de combate de incendio.
- **Flamabilidad:**

Límite Superior de flamabilidad (%): _____

Límite Inferior de flamabilidad (%): _____

V.6.- DATOS DE REACTIVIDAD.

- Clasificación de sustancias por su actividad química, reactividad con el agua y potencial de oxidación.
- Estabilidad de las sustancias.
- Condiciones a evitar.
- Incompatibilidad, (sustancias a evitar).
- Descomposición de componentes peligrosos.
- Polimerización peligrosa.

V.7.- CORROSIVIDAD.

- Clasificación de sustancias por su grado de corrosividad.

V.8.- RADIOACTIVIDAD.

- Clasificación de sustancias por radioactividad.

VI. CONDICIONES DE OPERACIÓN.

- Características de instrumentación y control (debiendo incluir diagrama lógico de control y diagramas de tuberías e instrumentación)
- Métodos usados y bases de diseño en el dimensionamiento y capacidad de los sistemas de relevo y venteo.
- Presiones de operación: máximas y mínimas.
- Temperatura de operación
- Flujo manejado

- Composición del flujo manejado.
- Fases presentes en el flujo manejado.
- Golpe de arietes:
 - Curvas de bombas.
 - Especificación de válvulas de retención.
 - Ubicación de las válvulas de retención.
 - Características y ubicación de los sistemas de seguridad para golpe de ariete.
 - Cambios súbitos de elevación.
 - Tiempo de cierre de válvulas de corte.

VII.- RIESGO AMBIENTAL.

- Antecedentes de riesgo de la actividad.
- Determinar los puntos de riesgo de todas la instalaciones, reportando la metodología empleada para su identificación, (lista de comprobación, etc.)
- Describir los riesgos potenciales de accidentes identificados.
- Modelación de el o los eventos probables máximos de riesgo.
- Jerarquizar los riesgos identificados.
- Descripción de medidas de seguridad y operación para abatir el riesgo.
- Describir los dispositivos y sistemas de seguridad con que se cuenta para el control de eventos extraordinarios.
- Respuesta a la lista de comprobaciones detallada de seguridad.
- Descripción de auditorías de seguridad previo al inicio de operación.
- Programas de mantenimiento internas y externas.
 - Pruebas de hermeticidad.
 - Corridas de diablo instrumentado.
 - Protección catódica.
 - Otras.
- Reporte de actividades realizadas en base a los resultados de la aplicación de los programas de mantenimiento.

VIII.- CONCLUSIONES.

- **Hacer un resumen de la situación general que presenta el proyecto en materia de riesgo ambiental, señalando las desviaciones encontradas con base en la metodología empleada.**
- **Recomendaciones para corregir, mitigar, eliminar o reducir los riesgos identificados.**

ANEXO 8

**HOJAS DE SEGURIDAD DE LOS MATERIALES INVOLUCRADOS EN EL
PROCESO**

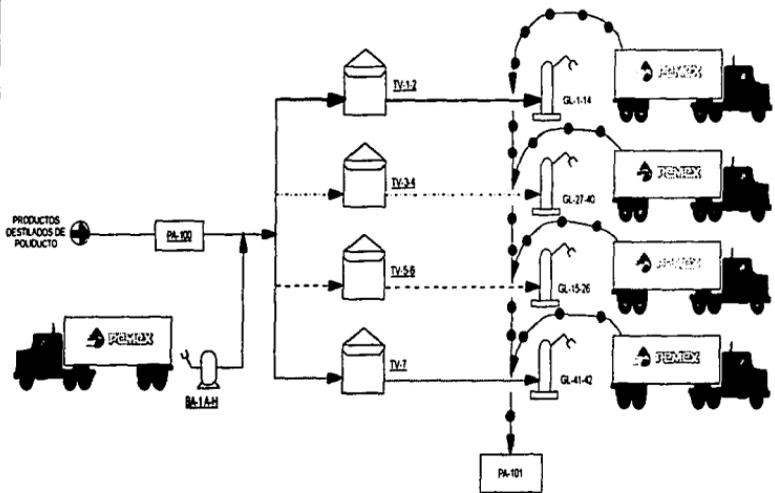
HOJAS DE SEGURIDAD DE LOS MATERIALES INVOLUCRADOS EN EL PROCESO.

DATOS GENERALES.			
* NOMBRE COMERCIAL:	Gasolina	Dieisel	Diáfono
* NOMBRE QUÍMICO:			
* SINÓNIMOS:	Gasolina	Fuel oil nº 1 - D Fuel oil nº 2 - D	Fuel oil, Jet fuel, Kerosina
* FORMULA QUÍMICA:	C ₇ H ₁₂ + C ₈ H ₂₀	No procede	No disponible
* NOMBRE Y PORCENTAJE DE COMPONENTES PELIGROSOS:			
* NUMERO CAS (CHEMICAL ABSTRACTS SERVICES):	No disponible	No disponible	8006-20-6
* NUMERO DE NACIONES UNIDAS:	3 1/1203	3 1/1270	3 3/1223
* NOMBRE DEL FABRICANTE O IMPORTADOR:	Petróleos Mexicanos	Petróleos Mexicanos	Petróleos Mexicanos
* EN CASO DE EMERGENCIA COMUNICARSE AL TELEFONO O FAX NUMERO:			
PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.			
* PESO MOLECULAR (g/g-mol)	107 - 114	236 - 533	173.85
* DENSIDAD A TEMP.INICIAL (g/ml)	0.72-0.73 Nova 0.75 Magna sin	0.834 - 0.852	0.800 - 0.819
* PUNTO DE EBULLICIÓN (°C)		266 - 355	150 - 300
* CALOR LATENTE DE VAPORIZACIÓN (cal/g):	65 - 225		
* CALOR DE COMBUSTIÓN (LIQ.) (BTU/lb):	18,720	18,400	18,540
* TEMPERATURA DEL LIQUIDO (°C):	30	30	30
* TEMPERATURA DE FUSIÓN (°C)	< -20	No procede	No procede.
* VOLUMEN A CONDICIONES NOR (ft ³):	382.69	Variable	5,1715
* PRESIÓN DE VAPOR (mmHg @ 20 °C):	3.4	No procede	
* DENSIDAD DE VAPOR (aire = 1):	0.72 - 0.73	0.834 - 0.852	0.800 - 0.850
* DENSIDAD RELATIVA:	No soluble	No soluble	No soluble
* SOLUBILIDAD EN AGUA:			
* PORCENTAJE DE VOLATILIDAD:			
* VELOCIDAD DE EVAP. (butil-cetona =1):	rápida		
DATOS DE REACTIVIDAD			
* CLASIFICACIÓN DE SUSTANCIAS POR SU ACTIVIDAD QUÍMICA, REACTIVIDAD CON EL AGUA Y POTENCIAL DE OXIDACIÓN:	0 (No reactivo)	0 (No reactivo)	0 (No reactivo)
* ESTABILIDAD DE LAS SUSTANCIAS:	Estable	Estable	Estable
* CONDICIONES A EVITAR:	Calentamiento y exposición a flamas	Calentamiento y exposición a flamas	Calentamiento y exposición a flamas
* INCOMPATIBILIDAD (SUSTANCIAS A EVITAR):	Acido nítrico.	Acido nítrico	Acido nítrico.
* DESCOMPOSICIÓN DE COMPONENTES PELIGROSOS:	No significativa	No significativa	Vapores tóxicos.
* POLIMERIZACIÓN PELIGROSA:	No procede	No procede	No procede
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS			
* ESTADO FÍSICO:	Líquido	Líquido	Líquido
* COLOR:	Verde claro -magna Rojo-nova	Café claro	Morado
* OLOR:	A gasolina	Semejante a kerosina	Característico a gasolina
RIESGO DE INCENDIO			
* PUNTO DE INFLAMACIÓN (°C)	-38	(1-D) 38, (2-D) 52	38 - 74

• TEMPERATURA DE IGNICIÓN (C):	280 - 456	(1-D) 176 - 329 (2-D) 254.4 - 285	210
RIESGOS PARA LA SALUD.			
• INGESTIÓN ACCIDENTAL	Causa irregularidades en el ritmo cardiaco. Si se ingieren grandes cantidades se recomienda no inducir al vómito y practicar lavado de estómago	ausa Náuseas, vómito, coma, irritación pulmonar dolor de cabeza y alteraciones del sistema nervioso central. No inducir el vómito y recibir atención médica	ausa irritación en el estómago, si penetra en los pulmones causa tos, dolor y desarrolla edema pulmonar. No inducir vómito y consultar al médico
• CONTACTO CON LOS OJOS	Lavar abundantemente con agua	avar con agua por 15 min	avar con agua
• CONTACTO CON LA PIEL	Lavar con agua y jabón	avar con agua y jabón.	avar con agua y jabón.
• ABSORCIÓN:			
• INHALACIÓN:	Causa vértigo, dolor de cabeza y falta de coordinación, en casos severos actúa como anestésico, ocasiona estado de coma y falta de respiración		os vapores causan irritación en la nariz. Se recomienda mantener reposo en cama, administrar oxígeno y consultar a un medico.
CORROSIVIDAD.			
• CLASIFICACIÓN DE SUSTANCIAS POR SU GRADO DE CORROSIVIDAD	Menor que 1/1000 por año para el aluminio		
TOXICIDAD.			
• IDLH (ppm o mg/m ³):	Dato no disponible.	Dato no disponible.	Dato no disponible.
• TLV 8 horas (ppm o mg/m ³)	300 ppm	No aplicable	200 ppm
• TLV 30 min (ppm o mg/m ³):	500 ppm	Dato no disponible	2,500 mg/m ³ (60 min.)
• DAÑO GENÉTICO (CLASIFICACIÓN DE SUSTANCIAS DE ACUERDO A LAS CARACTERÍSTICAS CARCINOGENICAS EN HUMANOS, POR EJEM. INSTRUCTIVO N° 10 DE LA SECRETARÍA DEL TRABAJO Y PREVISIÓN SOCIAL U OTROS) ESPECIFICAR:			
RIESGO DE FUEGO O EXPLOSIÓN			
• MEDIOS DE EXTINCIÓN:	Niebla de agua, espuma, CO ₂ , polvo químico seco, vapor de agua.	O ₂ , polvo químico seco y espuma	otro químico seco, CO ₂ y espuma.
• EQUIPO ESPECIAL DE PROTECCIÓN PARA COMBATE DE INCENDIOS:	Mangueras, boquillas, camiones, cascotes, pantallas, chaquetones, botas, llaves, martillo, hachas, palas, etc.	angueras, boquillas, camiones, cascotes, pantallas, chaquetones, botas, llaves, martillo, hachas, palas, etc.	angueras, boquillas, camiones, cascotes, pantallas, chaquetones, botas, llaves, martillo, hachas, palas, etc.
• PROCEDIMIENTO ESPECIAL DE COMBATE DE INCENDIOS.	Reglamento General Contra incendio	Reglamento General Contra incendio	Reglamento General Contra incendio
• CONDICIONES QUE CONDUCEN A UN PELIGRO DE FUEGO Y EXPLOSIÓN:	Derriames no controlados que alcanzan una flama. Los vapores de gasolina no controlados que alcanzan una fuente de ignición pueden conducir a explosión.	uando se expone a calor flama u oxidantes.	os vapores pueden formar una mezcla explosiva al contacto con el aire. Se pueden producir vapor es tóxicos
• PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN.	CO ₂ y H ₂ O	CO ₂ y H ₂ O	CO ₂ y H ₂ O
• LÍMITE SUPERIOR DE INFLAMABILIDAD (%)	7.4	6.0	5.0
• LÍMITE INFERIOR DE INFLAMABILIDAD(%)	1.4	1.3	0.7

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE LA PLANTA DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION DE PRODUCTOS DESTILADOS

PA-100 PATIN DE MEDICION DE FLUJO CAP. 70M3PO	BA-1AH BOMBA DE DESCARGA DE AUTOTANQUE Q = 500GPM	TV-12 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE NOVA CAP. 35 M3ELS	TV-34 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE MAGNA SN CAP. 35 M3ELS	TV-58 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE DIESEL CAP. 35 M3ELS	TV-7 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE DAFANO CAP. 10 M3ELS	PA-101 SISTEMA DE RECUPERACION DE VAPORES
--	--	---	---	---	--	---



SIMBOLOGIA

— (SOLID LINE)	- - - (DASHED LINE)
— (DASHED LINE)	— (DASHED LINE)
- - - (DOTTED LINE)	— (DOTTED LINE)

GL-1-14
GARZA DE LLENADO DE NOVA
Q = 500 GPM

GL-27-40
GARZA DE LLENADO DE MAGNA SN
Q = 500 GPM

GL-15-26
GARZA DE LLENADO DE DIESEL
Q = 500 GPM

GL-41-42
GARZA DE LLENADO DE DAFANO
Q = 500 GPM

ANEXO 9

**DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE LA PLANTA DE ALMACENAMIENTO
Y DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTOS DESTILADOS**

ANEXO 10

**LINEAMIENTOS PARA LA ELABORACIÓN DE LOS PROGRAMAS PARA LA
PREVENCIÓN DE ACCIDENTES**

LINEAMIENTOS PARA LA ELABORACIÓN DE LOS PROGRAMAS PARA LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES

1.- DATOS GENERALES DE LA EMPRESA.

Llenar el formato del anexo N°. 1 en forma clara y concreta de acuerdo a las preguntas siguientes:

- Nombre o razón social de la empresa.

En este punto se deberá anotar el nombre de acuerdo al Acta Constitutiva de la empresa.

- Rama industrial y giro o actividad de la empresa

En este punto se debe tomar en cuenta el artículo 123 Constitucional, Apartado A fracc. 31, donde se definen rama y empresas.

- Domicilio para oír y recibir notificaciones, indicando:

La calle, número, colonia, Código Postal, Localidad, Municipio o Delegación en el D.F., y Estado.

- Responsable de la empresa para oír y recibir notificaciones.

Se deberá anotar el nombre y/o razón social, cargo del responsable, domicilio y teléfono, para recibir notificaciones.

Así mismo se deberá anotar el nombre y cargo de un suplente.

- Personal que labora en la empresa.

Indicar el personal total, especificando turnos.

2.- DATOS GENERALES DEL SITIO

2.1.- Ubicación de la Planta /Instalaciones/Proyecto.

Indicar la ubicación donde se realicen la actividad de alto riesgo, considerando lo siguiente:

- Anexar plano de localización, indicando la escala.
- Especificar Coordenadas.
- Indicar calle, colonia, municipio o Delegación en el D.F., localidad y estado.

2.2.- Superficie.

- Total del predio.
Indicar su valor en m².
- Superficie Construida.
Indica su valor en m².

2.3.- Características físicas.

A.- Geológicas.

Indicar lo siguiente:

- Actividad erosiva
- Áreas susceptibles de sismicidad, deslizamientos, flujo de lodos, hundimientos, derrumbes y otros movimiento de tierra o roca.
- Posible actividad volcánica.

B.- Climatológicas.

Indicar lo siguientes:

- Tipo de Clima
- Temperaturas.
 - Promedio: diaria, mensual, anual.
 - Extremas: máximas y mínima mensuales.
- Humedad relativa: media mensual, máxima y mínima.
- Precipitación.
 - frecuencia
 - períodos de sequía.
 - precipitación anual y promedio mensual.
 - lluvia torrenciales.
- Interperismos severos.
- Indicar frecuencia de tormentas eléctricas, nevadas, heladas, mareas de tempestad, granizadas y huracán
- Datos extremos de radiación solar.
- Velocidad y Dirección del viento.
 - Rosas de vientos.
 - velocidad media en m/s
- Nubosidad.
- Estabilidad Atmosférica.

C.- Hidrológicas.

Describir lo siguiente:

- Avenidas máximas y extraordinarias.
- Ríos superficiales principales.
- Dirección de los ríos subterráneos
- Zonas con riesgo de inundación.

- **Localización de los cuerpos de agua.**
- **Drenaje subterráneo**
 - Profundidad
 - Caudal y dirección.

D.- Oceanográficas.

Describir lo siguiente:

- **Velocidad y Dirección de las corrientes marinas.**
- **Oleaje**
- **Mareas**
- **Frecuencia de maremotos. Alturas máximas extraordinarias.**

2.4.- Características Socioeconómicas.

Indicar la siguiente información para las áreas aledañas a la empresa.

A.- Urbanización del área

Aclarar si el predio y/o instalaciones se sitúan en una zona urbana, suburbana o rural.

B.- Actividades en los predios colindantes y áreas circunvecinas.

Indicar las actividades principales de la región.

C.- Demográficas.

Indicar los siguientes datos de población de los asentamientos humanos cercanos a la planta, de acuerdo al último censo:

- **Población Total.**
- **Tasa de crecimiento.**
- **Datos de población retrospectivos a 5 años.**

D.- Servicios

- **Medios de Comunicación.**
- **Medios de transporte**
- **Servicios Públicos**
- **Educación.**
- **Salud**
- **Vivienda.**

2.5.- Características Biológicas.

- **Vegetación Terrestre y Acuática.**

Describir el tipo de vegetación en el área circundante a la empresa.

- Fauna

Describir la diversidad de especies.

3.- EVALUACIÓN DEL RIESGO DE LA PLANTA.

3.1.- Resumen ejecutivo de las actividades de la Planta / instalaciones / proyecto.

Mencionar las actividades altamente riesgosas que se realizan en la planta.

3.2.- Descripción General de los procesos

En este punto será necesario describir todos los procesos que se llevan a cabo sin omitir operaciones.

3.3.- Descripción de las Sustancias Peligrosas.

Llenar el formato que se adjunta en el anexo 2, para cada una de las sustancias peligrosas.

3.4.- Ubicación de las Sustancias peligrosas en la planta.

- Anexar un plano de Ubicación (Lay -out) en el que se señalen las áreas donde se encuentran presentes las sustancias peligrosas y la cantidad de cada una de ellas.
- Indicar la operación y manejo de que están siendo objeto las sustancias (almacenamiento, Transporte, proceso, carga, descarga, etc.). Se podrá usar una simbología para desarrollar este apartado, aclarando su significado.

3.5.- Identificación y Jerarquización de los Riesgos en la Planta.

- Identificar los riesgos por fugas o derrames de sustancias y clasificarlos de mayor o menor grado de acuerdo a la magnitud del daño que provocarían en caso de ocurrencia y a la probabilidad con que se puedan presentar.
- Indicar las Técnicas de Evaluación de Riesgos utilizadas para desarrollar este punto, en el correspondiente Estudio de riesgo presentando previamente ante SEMANARP, como por ejemplo; Hazop (estudio de Riesgo Operatividad) y Check List. (listas de Verificación.)

3.6.- Determinación de las Zonas potencialmente afectables.

- Presentar los resultados de los modelos matemáticos o índices para determinar las zonas potencialmente afectables, para cada tipo de riesgo, especificando los criterios utilizados.
- Indicar el nombre y características del modelo de simulación utilizado.
- Trazar las distancias obtenidas, de acuerdo a la aplicación de dichos modelos o índices, en un plano cuya escala cubra las zonas potencialmente afectables, pudiendo ser usado el plano solicitado en el apartado 2.

ANEXO 1

PROGRAMA DE PREVENCIÓN DE ACCIDENTES

DATOS GENERALES DE LA EMPRESA

Nombre o razón social: _____

Giro o actividad de la empresa: _____

Domicilio

Calle: _____

No. ext. / int.: _____

Colonia: _____

Código postal: _____

Localidad: _____

Municipio o Delegación: _____

Entidad Federativa: _____

Teléfono: _____

Responsable Titular

Nombre: _____

Cargo: _____

Teléfono: _____

Responsable Suplente

Nombre: _____

Cargo: _____

Teléfono: _____

Personal que labora en la planta

1er. Turno

2do. Turno

3er. Turno

Operativos: _____ **Operativos:** _____ **Operativos:** _____

Administrativos: _____ **Administrativos:** _____ **Administrativos:** _____

ANEXO 2.- HOJAS DE SEGURIDAD DE LOS MATERIALES INVOLUCRADOS EN EL PROCESO.

DATOS GENERALES.			
• NOMBRE COMERCIAL.			
• NOMBRE QUÍMICO			
• SINÓNIMOS.			
• FORMULA QUIMICA			
• NOMBRE Y PORCENTAJE DE COMPONENTES RIESGOSOS			
• NUMERO CAS (CHEMICAL ABSTRACTS SERVICES)			
• NUMERO DE NACIONES UNIDAS			
• NOMBRE DEL FABRICANTE O IMPORTADOR			
• EN CASO DE EMERGENCIA COMUNICARSE AL TELÉFONO O FAX NÚMERO.			
PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.			
• PESO MOLECULAR (g/g-mol)			
• DENSIDAD A TEMP.INICIAL (g/ml)			
• PUNTO DE EBULLICIÓN (°C)			
• CALOR LATENTE DE VAPORIZACIÓN (cal/g):			
• CALOR DE COMBUSTIÓN (LIQ) (BTU/lb).			
• TEMPERATURA DEL LIQUIDO (°C)			
• TEMPERATURA DE FUSIÓN (°C)			
• VOLUMEN A CONDICIONES NOR (m³)			
• PRESION DE VAPOR (mmHg @ 20 °C).			
• DENSIDAD DE VAPOR (aire = 1):			
• DENSIDAD RELATIVA:			
• SOLUBILIDAD EN AGUA:			
• PORCENTAJE DE VOLATILIDAD:			
• VELOCIDAD DE EVAP. (butil-cetona = 1):			
DATOS DE REACTIVIDAD			
• CLASIFICACIÓN DE SUSTANCIAS POR SU ACTIVIDAD QUIMICA, REACTIVIDAD CON EL AGUA Y POTENCIAL DE OXIDACIÓN			
• ESTABILIDAD DE LAS SUSTANCIAS:			
• CONDICIONES A EVITAR:			
• INCOMPATIBILIDAD (SUSTANCIAS A EVITAR):			
• DESCOMPOSICIÓN DE COMPONENTES PELIGROSOS			
• POLIMERIZACIÓN PELIGROSA			
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS			
• ESTADO FÍSICO			
• COLOR:			
• OLOR:			
RIESGO DE INCENDIO			
• PUNTO DE INFLAMACIÓN (°C)			
• TEMPERATURA DE IGNICIÓN (C)			

RIESGOS PARA LA SALUD.			
• INGESTIÓN ACCIDENTAL:			
• CONTACTO CON LOS OJOS:			
• CONTACTO CON LA PIEL:			
• ABSORCIÓN:			
• INHALACIÓN:			
CORROSIVIDAD.			
• CLASIFICACIÓN DE SUSTANCIAS POR SU GRADO DE CORROSIVIDAD			
TOXICIDAD.			
• IDLH (ppm o mg/m ³):			
• TLV 8 horas (ppm o mg/m ³):			
• TLV 30 min. (ppm o mg/m ³):			
• DAÑO GENÉTICO (CLASIFICACIÓN DE SUSTANCIAS DE ACUERDO A LAS CARACTERÍSTICAS CARCINOGENICAS EN HUMANOS, POR EJEM. INSTRUCTIVO N° 10 DE LA SECRETARIA DEL TRABAJO Y PREVISION SOCIAL U OTROS) ESPECIFICAR:			
RIESGO DE FUEGO O EXPLOSIÓN			
• MEDIOS DE EXTINCIÓN:			
• EQUIPO ESPECIAL DE PROTECCIÓN PARA COMBATE DE INCENDIOS:			
• PROCEDIMIENTO ESPECIAL DE COMBATE DE INCENDIOS:			
• CONDICIONES QUE CONDUCEN A UN PELIGRO DE FUEGO Y EXPLOSIÓN:			
• PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN:			
• LIMITE SUPERIOR DE INFLAMABILIDAD (%):			
• LIMITE INFERIOR DE INFLAMABILIDAD(%):			

ANEXO 11

LISTA DE VERIFICACIÓN PARA LA SEGURIDAD DEL PROCESO

LISTA DE VERIFICACIÓN PARA LA SEGURIDAD DEL PROCESO

Nota: se debe considerar esta lista no solamente para una operación normal sino también para la puesta en marcha, paro y cualquier clase de contratiempo concebible.

A.- MATERIALES

- 1.- ¿Qué materiales de proceso son inestables y espontáneamente inflamables?
 - a) ¿Qué evaluaciones se hicieron sobre la sensibilidad a los impactos?
 - b) ¿Qué evaluaciones se hicieron sobre la posibilidad de reacciones y descomposiciones incontrolables?
 - c) ¿Se manejarán materiales pirofóricos?
- 2.- ¿Qué datos hay disponibles sobre la cantidad y el índice de generación de calor durante la descomposición de cualquier material que están en proceso?
- 3.- ¿Qué precauciones son necesarias para los materiales inflamables, incluyendo el almacenamiento y los sistemas de tubería?
- 4.- ¿Qué peligros de polvos inflamables existen?
¿Qué precauciones son requeridas?
- 5.- ¿Qué materiales son altamente tóxicos?
- 6.- ¿Qué se hizo para asegurar que los materiales de construcción sean compatibles con los materiales de los procesos químicos con que están relacionados?
- 7.- ¿Qué control de mantenimiento se necesita para asegurarse que los reemplazos de materiales no producirán corrosión excesiva ni compuestos peligrosos con los reactivos?
- 8.- ¿Qué cambios se han producido en la composición de las materias primas y qué cambios ha producido esto sobre el proceso?
- 9.- ¿Qué se hace para asegurar un control eficiente sobre la identificación y la calidad de la materia prima?
¿Se definieron y establecieron procedimientos de revisión?
- 10.- ¿Qué peligros podrían surgir por la falta de suministro de una materia prima o de más de una?
- 11.- ¿Qué seguridad hay de que pueda lograrse un suministro adecuado de materia prima?

- 12.- ¿Qué peligros pueden presentarse por la falta de gas para la purga, el mantenimiento o para inertizar? ¿Cuán seguro es el suministro de gas?
- 13.- ¿Qué precauciones son necesarias considerar para lograr la estabilidad de todos los materiales que están almacenados?
- 14.- ¿Qué agentes extintores son compatibles con los materiales del proceso?
- 15.- a) ¿Se cuenta con un suministro confiable de gas inerte para purgar, inhibir o desactivar? (Referencia NFPA # 69)
- b) ¿Qué medidas existen para rectificar el barrido mediante la purga en paro y arranque?
- 16.- ¿Qué equipos y procedimientos de emergencia hay disponibles?

B.- REACCIONES

- 1.- a) ¿Se definen las reacciones potencialmente peligrosas?
- b) ¿Cómo se aíslan?
- c) ¿Cómo son prevenidas?
- 2.- a) ¿Qué variables del proceso se podrían aproximar, o se aproximan, a las condiciones límite para crear un peligro?
- b) ¿Qué medidas de seguridad son proporcionadas para controlar tales variables?
- 3.- ¿Qué reacciones indeseables y peligrosas pueden producirse debido a un flujo o a una condición de proceso anormal o a una contaminación?
- 4.- ¿Qué mezclas combustibles pueden producirse dentro de los equipos?
- 5.- ¿Qué precauciones se toman para los procesos que se realizan dentro o cerca de los límites de inflamabilidad?
- 6.- a) ¿Cuáles son los márgenes de seguridad en el proceso de todos los productos reactivos o intermedios?
- b) ¿Qué consecuencias podría producir la pérdida de ingredientes o una proporción incorrecta de reactivos?
- 7.- ¿Qué datos sobre la velocidad de la reacción hay disponibles ante posibles reacciones normales o anormales?
- 8.- ¿Qué cantidad de calor debe eliminarse de las posibles reacciones exotérmicas normales o anormales?

- 9.- ¿Cuánto se sabe acerca de la química de los procesos incluyendo las reacciones deseables e indeseables? (Ver NFPA # 491 M, "Manual de las Reacciones Químicas Peligrosas").
- 10.- ¿Qué materias extrañas pueden contaminar el proceso y crear peligros?
- 11.- ¿Qué medidas de seguridad se han tomado para la eliminación rápida de reactivos si esto fuese necesario debido a una emergencia en la planta?
- 12.- ¿Qué precauciones se han tomado para controlar una reacción en cadena (o fuera de cauce) que se avecina o para detener una que ya ha empezado?
- 13.- ¿Qué reacciones peligrosas pueden presentarse como resultado de la falla mecánica de un equipo (bomba, agitador, etc.)?
- 14.- ¿Qué condiciones peligrosas del proceso pueden resultar de la obstrucción gradual o repentina de un equipo, incluyendo líneas?
- 15.- ¿Existen medidas para la remoción o prevención de obstrucciones?
- 16.- ¿Qué materias primas o materiales del proceso pueden ser afectados debido a condiciones extremas del tiempo?
- 17.- ¿Qué cambios se han hecho en el proceso desde que se hizo la última revisión de seguridad?

C.- EQUIPOS

- 1.- ¿Cómo fueron adecuadas las medidas de seguridad de los equipos en vista de los cambios en el proceso realizados desde la última revisión de seguridad?
- 2.- ¿Qué procedimientos hay para asegurar un nivel adecuado de líquido en los obturadores de los líquidos?
- 3.- ¿Cuáles son los peligros potenciales de incendios externos que podrían crear condiciones peligrosas en el proceso interno?
- 4.- ¿Es necesario un mecanismo supresor de explosiones para detener una explosión después de que se ha iniciado?
- 5.- ¿En qué lugares se necesitan arretasflamas y dispositivos para contener detonaciones?
- 6.- ¿Cómo se protegen contra los derrames los equipos que trabajan con fuegos abiertos en sectores restringidos?
- 7.- ¿Qué control de seguridad se mantiene en las zonas de almacenamiento?

- 8.- ¿Puede usarse un material más durable en caso de que haya equipos de vidrio o de otro material frágil?
Si no es así, ¿Está adecuadamente protegido el material frágil para reducir los peligros de rupturas?
¿Qué peligro podría producir su ruptura?
¿Qué medidas se han previsto para manejar esta situación?
- 9.- ¿Se usan visores o mirillas de vidrio en los reactores sólo en caso que sean absolutamente necesarios?
¿Se usan mirillas de vidrio capaces de resistir una presión elevada en reactores que tienen presión o materiales tóxicos?
- 10.- ¿Qué válvulas e interruptores de emergencia no pueden alcanzarse con facilidad?
- 11.- ¿Cuándo se verificó por última vez el régimen de presión, especialmente de los equipos que trabajan bajo presión?
- 12.- ¿Qué peligros podrían producir la falla de los agitadores?
- 13.- ¿Qué taponamientos en las tuberías podrían ocurrir y cuáles serían los peligros?
- 14.- ¿Qué precauciones se tomaron para drenar totalmente los equipos a fin de que los trabajos de mantenimiento puedan efectuarse con seguridad?
- 15.- ¿Están diversificados los sistemas de ventilación y de ser así puede esto crear algún peligro?
- 16.- ¿Cómo se estableció que la ventilación es adecuada?
- 17.- ¿Qué medidas se tomaron para disipar la electricidad estática a fin de evitar chispas?
- 18.- ¿Qué necesidad hay de instalar resguardos o barreras de concreto para aislar a los equipos altamente susceptibles y proteger las instalaciones adyacentes contra la desorganización de las operaciones?
- 19.- ¿Qué medidas se han tomado para aliviar las fuerzas explosivas dentro de los edificios, equipos o en zonas operativas?
- 20.- ¿Cumplen los equipos a presión con los requerimientos locales y nacionales?
- 21.- ¿Están registrados todos los equipos de acuerdo a los requerimientos locales y nacionales?
- 22.- ¿Cuándo fueron inspeccionados visualmente, calibrados, radiografiados, probados de una manera hidrostática, etc., los equipos?

23.- ¿Se ha revisado completamente el historial de todos los equipos?

D.- CONTROL DE LA INSTRUMENTACIÓN

1.- ¿Qué peligros se presentarían si todas las fuentes de fuerza motriz que hacen funcionar los instrumentos fallaran casi simultáneamente?

2.- ¿Habría un margen de seguridad suficiente para toda la operación, si todos los instrumentos fallasen simultáneamente?

3.- ¿Qué medidas se han tomado para la seguridad del proceso cuando un instrumento que funciona tanto en la seguridad como en el control del proceso es retirado de servicio a fin de efectuarle tareas de mantenimiento?

¿Qué medidas se tomarán cuando tal instrumento pase por un periodo de inactividad por calibración o cuando, por otra razón, la lectura del instrumento no está disponible? Deberán hacerse previsiones para mantener la seguridad operacional.

4.- ¿Qué hizo para minimizar el tiempo que tardan en reaccionar los instrumentos que son directa o indirectamente significativos para la seguridad del proceso?

¿Se encuentran todos los instrumentos que son directa o indirectamente significativos o mecanismos de control apoyados por un instrumento independiente o por un método de control que funciona de una manera totalmente distinta?

¿Están estos dos métodos de control de un proceso crítico apoyados por un tercer dispositivo final de paro?

5.- ¿Se ha considerado integralmente la función de seguridad de los instrumentos con la función de los mecanismos de control del proceso en el diseño de la planta?

6.- ¿Cuáles son los efectos de las condiciones extremas de humedad y temperatura atmosférica sobre los instrumentos?

7.- a) ¿Qué manómetros, medidores y registradores no pueden leerse fácilmente?

b) ¿Qué modificaciones se están efectuando para solucionar este problema?

8.- ¿Está el sistema totalmente exento de visores de vidrio, vidrio de lectura directa o de otros dispositivos que al romperse puedan permitir el escape de los materiales del sistema?

9.- a) ¿Qué se está haciendo para verificar que los sellos de los instrumentos están correctamente instalados?

b) ¿Están los instrumentos conectados a tierra?

- c) ¿Están debidamente diseñados para el ambiente?
- 10.- a) ¿Qué procedimientos se han establecido para probar el funcionamiento de los instrumentos?
- b) ¿Con qué frecuencia?
- 11.- ¿Qué pruebas periódicas se programaron para controlar el buen funcionamiento de los instrumentos?
- 12.- ¿Están protegidas las reacciones altamente exotérmicas por un sistema de instrumentos doble e independiente, el cual incluya alarmas y dispositivos de paro?

E.- OPERACIONES

- 1.- ¿Cuándo fue la última vez que se revisaron y actualizaron los procedimientos escritos de operación?
- 2.- ¿Cómo se entrena al personal nuevo y se mantiene actualizado al personal experimentado sobre los procedimientos operativos, especialmente para las puestas en marcha y paros de plantas, así como para casos de imprevistos y emergencias?
- 3.- ¿Qué modificaciones se efectuaron en la planta desde la última revisión de seguridad del proceso?
- 4.- ¿Qué necesidades especiales de limpieza existen antes de la puesta en marcha y cómo se les controla?
- 5.- ¿Qué válvulas e interruptores de emergencia no pueden alcanzarse fácilmente?
¿Que medidas existen para solucionar estas situaciones?
- 6.- ¿Qué medidas de seguridad se necesitan para cargar líquidos en los tanques o para descargarlos de ellos?
¿Se han tomado las medidas necesarias para evitar la generación de electricidad estática?
- 7.- ¿Qué peligros introducen en el proceso los procedimientos rutinarios de mantenimiento? Revisar los procedimientos para eliminar estos peligros.
- 8.- ¿Qué evaluación se ha efectuado sobre los peligros de los materiales que van a las alcantarillas o drenajes, durante las operaciones normales y anormales?
- 9.- ¿Cuán confiables son los suministros de gas inerte y con cuánta facilidad estos pueden interrumpirse hacia las unidades individuales?

- 10.- ¿Qué márgenes de seguridad se han reducido debido a revisiones del diseño o la construcción en un esfuerzo por eliminar "cuellos de botella" en las operaciones, reducir costos, aumentar la capacidad o mejorar la calidad?
- 11.- ¿Qué medidas contiene el manual de operaciones para las puestas en marcha, paros, imprevistos y emergencias?
- 12.- ¿Qué evaluación económica ha influenciado en la elección entre un proceso discontinuo y uno continuo?

F.- MAL FUNCIONAMIENTO

- 1.- ¿Qué peligros podría crear la pérdida de una alimentación y la pérdida simultánea de dos o varias alimentaciones?
- 2.- ¿Qué peligros podría causar la pérdida de un servicio auxiliar (agua, vapor, aire, gas inerte) y la pérdida simultánea de dos o más de estos servicios?
- 3.- ¿Cuál sería el incidente probable más grave, por ejemplo, la peor combinación imaginable de trastornos razonables que podrían ocurrir?
- 4.- ¿Cuáles son los riesgos de derrames y que peligros pueden derivarse de ellos?

G.- DISPOSITIVOS PARA ALIVIO DE PRESIONES

- 1.- ¿Existen arretasflamas en la descarga de las válvulas de alivio o de los discos de ruptura de recipientes presurizados? Normalmente NO deben ser instaladas en la descarga estos dispositivos.
- 2.- a) ¿Qué medidas existen para retirar, inspeccionar y reemplazar las válvulas de seguridad y los discos de ruptura?
b) ¿Existe un procedimiento programado?
- 3.- a) ¿Qué necesidad hay de instalar mecanismos de alivio para emergencia como son: líneas de venteo o respiraderos, válvulas de seguridad, discos de ruptura y sellos de líquidos?
b) ¿Sobre que base se establecen las medidas?
- 4.- ¿Cómo se establecen las medidas con respecto a la capacidad y al diseño del tanque donde se usan los discos de ruptura para evitar daños por explosiones?
- 5.- ¿Qué se está haciendo para asegurarse de que la medida es adecuada con respecto a la dinámica del alivio donde los discos de ruptura tienen líneas de entrega hacia el disco y desde este? Que se hace para evitar "latigazos" en el extremo de la línea?

- 6.- ¿Están las descargas de los venteos, válvulas de seguridad, discos de ruptura y chimeneas ubicadas de forma tal que no constituyen un peligro para los equipos y el personal?
- 7.- ¿Qué equipo u operación a presión propensa desarrollar presiones internas por imprevistos del proceso, no esta protegido por un dispositivo de alivio y cuál es el motivo?
- 8.- ¿Están las tuberías de descarga y las válvulas de seguridad apoyadas independientemente? Las tuberías deben ser lo más cortas posible y tener el menor cambio posible de dirección, soportadas adecuadamente para prevenir el doblamiento y los fatigazos en los desfogues de alivio.
- 9.- ¿Se han instalado conexiones de drenaje para la tubería de descarga de las válvulas de seguridad donde podría acumularse condensado?
- 10.- ¿Se han instalado válvulas de seguridad: en la descarga de las bombas de desplazamiento positivo; entre los compresores de desplazamiento positivo y las válvulas de bloqueo; entre las bridas de escape de las turbinas de contra-presión y las válvulas de bloqueo, y en cualquier equipo en donde el líquido pueda estar detenido o estancado y calentado posteriormente?
- 11.- ¿Dónde los discos de ruptura están en serie con las válvulas de seguridad. Para evitar la corrosión de la válvula o fugas de materiales tóxicos deberá instalarse discos de ruptura después del recipiente y el monitor de la sección de la tubería que esta entre el disco y la válvula de seguridad; además deberá existir un manómetro y una línea de purga.

¿Hay algún disco de ruptura instalada en la descarga de la válvula de seguridad?

H.- UBICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN GENERAL

- 1.- ¿Están los equipos adecuadamente espaciados y ubicados de manera tal que permitan un mantenimiento adecuado durante las operaciones sin peligro para el proceso?
- 2.- ¿Qué daños podrían haber para la comunidad en caso que ocurra un derrame previsible?
- 3.- ¿Qué peligros hay para las zonas vecinas debido a los materiales que se derraman en las alcantarillas y drenajes?
- 4.- ¿Qué riesgos públicos existen por la generación de nieblas, humos y ruidos? y ¿Cómo han sido controlados y reducidos?

ANEXO 12

TABLAS Y FIGURAS

LA INDUSTRIA QUÍMICA

Chemical Name	HS	Value	Quantity	Value	Quantity	Value	Quantity	Value	Quantity	Value	Quantity
Acetaldehyde	24	868	10	6	2	2	34	-	-	70	-
Acetic Acid	10	634	5.6	3	2	0	109	245	109	245	-
Acetic Anhydride	24	793	7.1	4	2	2	129	284	129	284	-
Acetone	18	774	12.3	3	1	3	0	134	0	134	-
Acetonitrile	24	975	12.6	3	3	2	42	178	42	178	-
Acetyl Chloride	18	741	2.5	3	3	0	40	124	40	124	-
Acetyl Peroxide	40	983	6.4	1	2	4	-	-	-	-	-
Acetyl Salicylic Acid (P)	-	775	9.9	1	0	0	-	-	-	-	-
Acetylene	40	2898	20.7	1	4	4	Gas	-118	20.7	118	-
Acrolein	24	947	11.8	4	3	2	-15	125	4	125	-
Acrylic Acid	14	787	7.6	5	2	1	130	287	5	287	-
Acrylamide	14	752	9.5	2	1	1	-	-	9.5	28.4	-
Acrylonitrile	40	1553	13.7	4	3	4	32	171	4	171	-
Allyl Alcohol	16	828	13.7	4	3	1	70	206	4	206	-
Allylamine	16	838	15.4	3	3	1	-20	128	3	128	-
Allyl Chloride	29	912	9.7	4	3	3	25	113	4	113	-
Allyl Ether	24	994	16.0	4	3	2	20	203	4	203	-
Ammonia	14	Endo	8.0	3	1	0	Gas	-26	8.0	26	-
n-Amylacetate	18	705	14.4	1	1	1	77	300	1	160	-
Aniline	14	821	15.0	4	1	1	158	364	4	364	-
Aluminum Chloride	24	-	-2-	3	0	2	-	-3-	3	-3-	-
Allyl Bromide	16	958	5.9	3	3	1	30	160	3	160	-
Acetyl Tributyl Citrate	4	693	10.9	-	1	0	400	343 <1*	-	-	-
Acetyl Ethanolamine	14	770	9.4	1	1	1	355	-	9.4	355	-
Acetone Cyanohydrin	24	853	11.2	4	1	2	165	248	4	248	-
Amyl Acetate	18	659	14.6	1	3	0	59	249	1	249	-
Amyl Nitrate	24	1128	11.5	1	2	2	125	305	1	305	-
Ammonium Nitrate	29	3248	0.6	2	0	3	-	410	2	410	-
Banum Stearate	4	374	8.9	0	0	1	0	-	8.9	374	-
Benzaldehyde	24	908	13.7	2	1	2	148	355	2	355	-
Benzene	18	867	17.3	2	3	1	12	178	2	178	-
Benzoyl Acid	4	763	11.0	2	1	0	250	482	2	482	-
Benzyl Chloride	14	886	12.6	3	1	1	153	354	3	354	-
Benzyl Peroxide	40	971	12.0	1	3	4	-	-	12.0	48	-
Bisphenol A	14	795	14.1	2	1	1	175	428	2	428	-
Bromobenzene	14	918	11.1	2	2	1	124	313	2	313	-
Butane	21	633	19.7	1	4	0	Gas	31	19.7	31	-
1,3-Butadiene	29	991	19.2	2	4	3	Gas	24	2	24	-
Butanol (n-butyl Alcohol)	18	700	14.3	2	3	0	54	243	2	243	-
n-Butene	21	825	19.5	1	4	1	Gas	21	19.5	21	-
n-Butyl Acetate	18	715	12.2	1	3	0	72	270	1	270	-
n-Butylamine	16	648	16.3	2	3	0	170	382	2	382	-
Butyl Bromide	16	668	7.6	2	2	0	55	215	2	215	-
Butyl Ether	18	686	16.3	2	3	0	77	288	2	288	-
n-Butyl Hydroperoxide	24	918	11.9	1	3	2	80	-	11.9	80	-
Butyl Nitrate	29	408	11.1	1	3	3	97	277	1	277	-
n-Butyl Peroxide	29	850	14.5	1	3	3	64	178	1	178	-
Butylene Oxide	24	863	14.3	3	3	2	5	149	3	149	-
Benzyl Acetate	4	817	12.3	1	1	0	216	417	1	417	-
Benzyl Alcohol	4	828	13.8	2	2	0	213	463	2	463	-
Bromotoluene	14	865	8.5	2	1	1	174	359	2	359	-
Butyl Acrylate	24	775	14.2	2	2	2	120	293	2	293	-
n-Butyl Peroxide	40	875	10.6	2	3	4	<80	<5*	2	2	-
Barium Chloride	-	24	-	-	1	2	-	-	-	-	-
Bromine	14	300	0.0	4	1	1	-	-	0.0	4	-
n-Butyl Perbenzoate	40	905	12.2	1	2	4	>190	<5*	1	1	-
Calcium Carbide	24	302	3.1	1	1	2	-	-	3.1	11	-
Carbon Disulfide	16	755	6.1	2	3	0	-22	115	2	115	-
Carbon Monoxide	16	1038	4.7	3	3	1	Gas	-314	4.7	314	-
Chlorine Dioxide	40	1768	0.7	3	1	4	-	-	0.7	4	-
1-Chlorobutane	16	701	11.4	2	3	0	15	170	2	170	-
Chloroform	1	683	1.5	2	0	0	-	-	1.5	142	-
Chloro Methyl Ethyl Ether	14	860	5.7	2	1	1	-	-	5.7	147	-
Chloro Phenol	14	881	9.2	3	1	1	147	347	3	347	-
Chloropercin	29	1827	0.7	4	0	3	-	-	0.7	234	-
Chloropropane	21	699	10.1	2	4	0	-26	95	2	95	-
Chlorostyrene	24	886	12.5	2	1	2	-	-	12.5	41	-

CAS LISTED	No	TWC	No. of			PUNTO DE	PUNTO DE	
			Clasificación	Clasificación	Clasificación			Flamabilidad
Coumarn	24	997	12	0	2	1	2	554
Cumene	10	759	18	0	2	2	0	308
Cumene Hydroperoxide	29	989	13	7	1	2	3	175
Cyclohexane	18	677	18	7	1	3	0	178
Cyclohexanol	4	584	15	0	1	1	0	154
Cyclopropane	21	936	21	3	1	4	1	Gas
Cyclobutane	21	865	19	1	1	4	1	Gas
Chloroethyl Chloride	14	948	75	3	0	3	1	222
Chlorine	14	301	0	0	3	1	1	-
1-Chloro-1-Nitroethane	40	1165	35	1	2	4	4	344
Chlorobenzene	24	936	10	9	2	3	2	278
Cyanamide	29	1102	7	0	4	1	3	286
Diesel Fuel	10	683	18	0	0	2	0	100/130
Dichlorobenzene	29	1145	8	1	2	1	3	150
1,2-Dichloroethylene	40	1765	6	2	2	3	4	141
1,3-Dichloropropane	24	1225	6	3	2	3	2	95
3,5-Dichloro Salicylic Acid	24	942	53	0	0	1	2	-
Dicumyl Peroxide	29	1040	15	4	0	1	3	-
Dicyclopentadiene	24	990	17	9	1	3	2	90
Diethyl Amine	18	693	16	5	2	3	0	134
Diethyl Benzene	10	738	18	0	2	2	0	133
Diethyl Carbonate	16	753	9	1	2	3	1	77
Diethyl Peroxide	40	968	12	2	0	4	4	<5>
Diethanolamine	14	707	10	0	1	1	1	305
Diethylene Glycol	4	770	8	7	1	1	0	265
Diethyl Ether	21	761	14	5	2	4	0	49
Diisobutylene	18	734	18	0	1	3	0	23
Dioxopropylbenzene	4	713	17	9	0	1	0	170
Dimethyl Amine	21	792	15	2	3	4	0	Gas
2,2-Dimethyl Propanol	18	725	14	6	2	3	0	98
Dinitrobenzene	40	1851	7	2	3	1	4	302
2,4-Dinitro Phenol	40	1476	6	1	3	1	4	27
P-Dioxane	16	813	10	5	2	3	0	54
Dioxolane	24	911	9	1	2	3	2	35
Diphenyl Oxide	14	906	14	9	1	1	1	239
Dipropylene Glycol	4	746	8	0	0	3	0	280
Dk-Tert-Butyl Peroxide	29	950	14	5	1	3	3	70
Orvinyl Benzene	24	1038	17	4	1	1	2	189
Downy Ether	24	1060	14	5	2	3	2	27
Downtherm A	14	912	14	0	1	1	1	255
Downtherm G	14	916	15	4	1	1	1	305
Downtherm J	4	739	17	8	1	1	0	145
Downtherm 30 LF	14	684	16	0	1	1	1	260
Dichlorostyrene	24	1143	9	3	2	1	2	225
Orvinyl Acetylene	29	1690	16	2	1	3	3	-4
Dunsban	14	825	19	8	1	2	-	81-110
Downal 75	29	808	7	0	-	3	-	-
Downal 200	29	911	9	3	-	1	3	-
1,1-Dichloroethane	18	847	4	5	2	3	1	122
Epichlorohydrin	24	974	7	2	3	3	0	109
Ethane	21	597	20	4	1	4	0	Gas
Ethanolamine	4	660	9	5	2	1	0	185
Ethyl Acetate	18	735	10	1	1	1	1	24
Ethyl Acrylate	16	835	11	0	2	3	1	60
Ethyl Alcohol	18	622	11	5	0	3	0	55
Ethyl Benzene	18	830	17	8	2	3	0	59
Ethyl Bromide	21	670	3	6	2	2	0	277
Ethyl Chloride	21	701	8	2	2	4	0	Gas
Ethylene	24	1005	20	B	1	4	2	58
Ethylene Carbonate	14	769	10	3	2	1	1	293
Ethylene Diamine	14	708	12	4	3	2	0	110
Ethylene Dichloride	18	724	4	6	2	3	0	56
Ethylene Glycol	4	693	7	3	1	1	0	232
Ethylene Oxide	29	1062	11	7	2	3	1	<0
Ethyleneimine	29	1092	13	0	3	3	1	132
Ethyl Nitrate	40	2094	6	4	2	3	4	50
Ethylamine	21	740	16	3	3	4	0	62

Chemical Name	CAS #	MW	Density (g/ml)	Boiling Point (°C)	Flash Point (°C)	CLASSIFICATION				PUNTO DE FLAMA		PUNTO DE EMBALAJE	
						Explosive	Flammable	Corrosive	Toxic	Flammable	Flammable	Flammable	Flammable
Ethyl Benzoate	14	800	1.2	172	1	1	0	0	204	0	41	-	
Ethyl Butyl Carbonate	14	645	10.6	2	2	1	1	122	275	-	-		
Ethyl Formate	16	788	8.7	2	3	0	-	4	130	-	-		
P. Ethyl Hexanal	14	891	16.2	2	1	1	1	185	359	-	-		
Ethyl Mercaptan	21	523	12.7	2	4	0	0	80	95	-	-		
Ethyl Ether	21	761	14.4	2	4	0	-	49	95	-	-		
Ethylbutylamine	16	860	17.0	3	3	1	64	232	-	-			
Ethyl Butyrate	16	746	12.2	0	3	0	78	248	-	-			
Ethyl Chloroformate	16	842	5.2	2	3	1	61	201	-	-			
Ethylene G Dimethyl Ether	10	674	11.6	2	0	0	104	174	-	-			
E. C. Monoacetate	4	668	8.0	0	1	0	215	357	-	-			
Ethyl Propyl Ether	16	748	15.2	1	3	0	74	147	-	-			
Formaldehyde	24	987	8.0	2	4	2	Gas	-3	-	-			
Formic Acid	4	999	3.0	3	1	0	156	213	-	-			
Fluorobenzene	24	992	13.4	2	3	2	5	185	-	-			
Fuel Oil #1 to #6	10	<4>	16.7	0	2	0	100 / 150	340 / 420	-	-			
Furan	21	838	12.6	1	4	1	32	68	-	-			
Fluorine	29	184	-	4	0	3	-	510	-	-			
Glycine	4	684	6.8	1	1	0	320	320	-	-			
Glycolonitrile	14	882	7.6	1	1	1	-	-	-	-			
Gasoline	16	891	16.8	1	3	0	<45	100 / 400	-	-			
Heptane	16	587	19.2	1	3	0	32	184	-	-			
Hexane	16	581	19.2	1	3	0	7	156	-	-			
Hexanal	16	620	15.5	2	3	0	90	268	-	-			
Hydrazine	40	1336	7.2	3	3	4	100	236	-	-			
Hydrogen	21	301	<51.6>	0	4	0	Gas	<422	-	-			
Hydrogen Sulfide	21	305	6.5	3	4	0	Gas	-76	-	-			
Hydrogen Peroxide (35%)	24	1144	<2>	2	0	2	-	-	-	-			
Hydrazine	24	1338	7.7	3	3	2	100	238	-	-			
Hydrogen Cyanide	29	2524	10.3	4	4	3	0	79	-	-			
Hydraxylamine	29	2000	3.2	1	3	3	<5>	158	-	-			
Hexachloro Diphenyl Oxide	29	1028	5.5	2	1	2	-	446	-	-			
Hexachlorobutadiene	14	626	2.0	2	1	1	-	410	-	-			
Isobutane	21	608	19.4	1	4	0	Gas	11	-	-			
Isobutyl Alcohol	16	602	14.2	2	3	0	62	225	-	-			
Isopentane	21	628	21.028	1	4	0	<60	82	-	-			
Isopropanol	16	564	13.1	1	3	0	53	181	-	-			
Isopropyl Acetate	16	696	11.2	1	3	1	40	184	-	-			
Isopropyl Chloride	21	545	10.0	2	4	0	<28	95	-	-			
Isopropyl Ether	16	712	13.8	2	3	1	<18	156	-	-			
Isobutylamine	16	565	10.2	2	3	0	15	150	-	-			
Isobutylchloride	16	592	11.4	2	3	0	70	158	-	-			
Isopropene	21	885	18.9	2	4	1	<65	83	-	-			
Isopropenyl Acetylene	-	24	-	-	4	2	-	19	92	-	-		
Isopropyl Amine	21	549	19.5	3	4	0	<35	89	-	-			
Jet Fuel A & JP- 5/8	10	-	21.7	0	2	0	105	-	-	-			
Jet Fuel B & JP- 4	16	-	21.7	0	3	0	10	-	-	-			
Lauryl Peroxide	40	1613	15.0	0	1	4	-	-	-	-			
Lauryl Bromide	4	830	12.9	1	1	0	291	358	-	-			
Lauryl Mercaptan	4	671	18.8	2	1	0	265	268	-	-			
Lube Oil	4	<4>	19.0	0	1	0	350 / 400	-	-	-			
Maleic Anhydride	14	899	5.9	3	1	1	215	398	-	-			
Magnesium	14	290	10.6	0	1	4	0	Gas	<259	-			
Methane	21	298	21.5	1	4	0	Gas	52	147	-			
Methanol	16	691	8.6	1	3	0	14	140	-	-			
Methyl Acetate	16	704	8.5	1	2	0	0	14	140	-			
Methyl Acetylene	40	1616	20.6	2	4	4	Gas	<10	-	-			
Methyl Amine	21	761	13.2	3	4	0	Gas	21	-	-			
Methylcellulose (bag storage)	10	789	6.5	0	1	0	-	-	-	-			
Methyl Chloride	21	744	5.5	2	4	0	Gas	<11	-	-			
Methyl Chloroacetate	14	768	5.1	2	2	1	127	266	-	-			
Methyl Cyclohexane	16	660	19.0	2	3	0	25	214	-	-			
Methylene Chloride (3)	14	1072	2.3	2	1	1	80	104	-	-			
Methyl Ether	21	644	12.4	2	3	1	Gas	<11	-	-			
AA E K	16	688	13.5	1	3	0	21	178	-	-			
Methyl Hydrazine	24	1022	10.9	3	3	2	80	190	-	-			
Methyl Isobutyl Ketone	16	506	16.6	2	3	0	73	244	-	-			

COMPUESTO	FM	T (°C)	Presión (kg/cm ²)	CLASIFICACIÓN	PPA	PUNTO DE FLAMA (°C)	PUNTO DE ERECCIÓN (°C)
				MI	IV	Nr	
Methyl Mercaptan	21	650	10.0	2	4	0	-42
Methyl Styrene	4	855	17.5	2	1	1	134
Mineral Oil	4	17.0	0	1	0	0	380
Monochlorobenzene	16	838	11.3	2	3	1	84
Monothalamine	4	660	9.6	2	1	0	200
Mop Gas	21	1044	19.4	1	4	3	Gas
Methacrylic Acid	24	706	9.3	3	1	2	171
Methyl Acrylate	24	859	18.7	2	3	2	27
Methyl Borate	16	16	2	3	0	0	80
Methyl Carbonate	16	746	6.2	2	3	1	66
Methyl Cyclopentadiene	14	919	17.4	1	2	1	120
Methyl Formalde	21	814	8.4	2	4	1	-2
Methyl Methacrylate	24	824	11.9	2	3	2	50
2-Methylpropanal	24	1118	15.4	3	3	2	-40
Methyl Vinyl Ketone	24	808	13.4	2	3	2	20
Naphta	16	44	18.0	3	3	0	287.85
Naphtalene	14	660	16.7	2	1	1	174
Nitroethane	24	1161	7.7	1	3	2	82
Nitroglycerine	40	2895	7.8	2	1	4	<9>
Nitromethane	40	2821	3.0	1	3	4	95
Nitropropane	29	1046	9.7	1	2	3	103
2-Nitrotoluene	29	1112	11.2	1	1	3	223
N-Serv	14	1264	4.7	1	2	1	82-200
Nitrobenzene	24	1341	10.4	3	1	2	180
Nitrophenyl	14	1037	12.7	2	1	1	290
Nitrochlorobenzene	29	1764	7.8	3	1	3	261
Octane	16	593	20.5	0	3	0	56
Octyl Mercaptan	10	672	18.5	2	2	0	115
Oleic Acid	4	634	16.8	0	1	0	372
Oleane	21	645	19.4	1	4	0	-40
Pentamethylene Oxide	16	742	13.7	2	3	1	-4
Peracetic Acid	40	1076	4.8	3	2	4	105
Phenol	4	622	13.4	3	1	0	175
Potassium Perchlorate	24	357	0.0	1	0	2	-
Propane	21	628	18.9	1	4	0	Gas
Propargyl Alcohol	24	1112	12.6	3	3	2	97
Propargyl Bromide	40	2220	5.9	4	3	0	64
Propionitrile	16	803	15.0	4	3	1	38
Propylene	21	866	18.7	1	4	0	Gas
Propylene Dichloride	16	642	6.3	2	3	0	60
Propylene Glycol	4	618	9.3	0	1	1	210
Propylene Oxide	21	948	13.2	2	4	1	-35
Pyridine	24	978	5.9	2	3	2	68
2-Picoline	14	860	15.0	0	2	1	102
Petroleum Crude	16	-	21.3	1	3	0	207.90
Propanal	16	766	12.5	2	3	1	15
1,3-Propanediamine	16	778	13.6	2	3	0	79
Propyl Acetate	16	825	11.2	3	3	0	98
Propyl Alcohol	16	615	12.4	1	3	0	77
Propylamine	16	651	15.8	3	3	0	-35
Propylbenzene	16	762	17.3	2	3	0	88
Propylchloride	16	613	10.0	2	3	0	*0
Propyl Ether	10	699	15.7	1	3	0	70
Propyl Nitrate	29	1079	7.4	2	3	3	68
Perchloric Acid	29	1003	<2>	3	0	3	-
Potassium Chlorate	29	-	<2>	2	0	3	-
Potassium Nitrate	29	-	<2>	1	0	3	-
Potassium Perchlorate	24	-	<2>	1	0	2	-
Potassium Peroxide	24	-	<2>	3	0	2	-
Potassium	24	-	-	3	1	2	-
Sodium	24	-	-	3	0	2	-
Sodium Chlorate	24	-	-	1	0	2	-
Sodium Perchlorate	24	-	-	2	0	2	-
Sodium Peroxide	24	-	-	3	0	2	-
Sodium Dichromate	14	-	-	1	1	1	-
Sodium Hydride	24	-	-	3	3	2	-
Sodium Hydrosulfite	4	-	-	3	1	2	-

Searic Acid	4	528	15.9	1	1	0	385	726
Styrene	24	993	17.4	2	3	0	90	295
Sulfur	4	302	4.0	2	0	0	-	-
Sulfur Dioxide	1	302	0.0	2	0	0	Gas	12
Sulfur Chloride	14	302	1.8	2	1	1	245	780
Tetrachlorobenzene	4	789	4.7	0	1	0	311	475
Toluene	16	458	17.4	2	3	0	40	231
Tributylamine	4	645	17.8	2	1	0	187	417
Trichlorobenzene	29	1400	6.2	2	1	3	210	413
Trichloroethylene	14	849	2.7	2	1	1	-	189
1,1,1-Trichloroethane	24	1126	3.1	2	1	2	-	165
Triethylamine	16	702	17.8	2	3	0	20	193
Triethanolamine	14	752	10.1	1	1	1	355	650
Trimethyl Amine	21	292	16.2	3	4	0	Gas	38
Tripropyl Amine	10	685	17.8	2	2	0	105	313
Triethylene Glycol	4	797	9.3	1	1	0	350	550
Triethylaluminum	29	661	18.9	2	3	3	63	381
Triisobutylaluminum	29	563	18.9	2	3	3	32	238
Trimethylaluminum	29	525	16.5	2	3	3	32	259
Triisopropyl Benzene	16	685	18.1	2	3	1	-	-
Toluene	24	1225	6.0	-	3	2	88	-
Vinyl Acetate	16	643	9.7	2	3	1	18	161
Vinyl Acetylene	40	2317	19.5	1	4	4	-	41
Vinyl Allyl Ether	24	959	15.5	2	3	2	66	153
Vinyl Butyl Ether	24	907	15.4	2	3	2	15	202
Vinyl Chloride	21	1448	8.0	2	4	1	Gas	7
Vinyl Cyclohexane	16	876	19.0	2	3	1	61	266
Vinyl Ethyl Ether	21	680	14.0	2	4	1	-50	96
Vinylidene Chloride	24	1808	4.2	2	4	2	0	99
Vinyltoluene	14	915	17.5	2	2	1	127	349
Xylene	16	817	17.8	2	3	0	81	292
Zinc Stearate	4	538	10.1	0	1	0	-	-
Zinc Chloride	24	-	<2>	2	1	2	-	-

(1) El calor neto de combustión es el valor obtenido cuando el agua formada en la combustión es considerada en su estado de vapor. Cuando el ΔH_c está dado en Kcal/gr. mol, se puede convertir a BTU/lb multiplicándolo por 1800 y dividiéndolo por su peso molecular.

- (2) <1> Destilación al vacío.
 <2> Material solidado a muy altos niveles.
 <3> Sublimado
 <4> No se puede especificar ΔH_c sin calcular Td.
 <5> Explosión
 <6> Descompuesto.

(3) El rango de flammabilidad del Cloruro de Metileno a temperatura de cuarto es de 12.8% para el límite inferior, y de 34.6% para el límite superior. Estos límites se definen cuando la flama se mueve o se propaga en un tubo.

El Cloruro de Metileno es difícil de encender a condiciones normales, sin embargo en presencia de una chapa, de un alambre caliente o un ignitor, es probable que se encienda y se propague en un tubo.

TABLA 12B.- GUÍA PARA DETERMINAR EL FACTOR MATERIAL DEL ÍNDICE DOW

	Td (*K) (2,3,4)	<830	830 a 935	935 a 1010	1010 a 1080	>1080
	DTA / DSC (*C)	>400	305 a 400	215 a 305	125 a 215	<125
	NFPA 325 M	Nr = 0	Nr = 1	Nr = 2	Nr = 3	Nr = 4
No. Combustible (1)	Ni = 0	1	14	24	29	40
PF > 140° F	Ni = 1	4	14	24	29	40
140° F > PE > 100° F	Ni = 2	10	14	24	29	40
PF < 100° F PE > 100° F	Ni = 3	16	16	24	29	40
PF < 100° F PE < 100° F	Ni = 4	21	21	24	29	40
POLVOS O NIEBLAS COMBUSTIBLES						
ST 1		16	16	24	29	40
ST 2		21	21	24	29	40
ST 3		24	24	24	29	40
SÓLIDOS COMBUSTIBLES						
Denso 40 mm. grueso (5)		4	14	24	29	40
Aberto 40 mm. grueso (6)		10	14	24	29	40
Celda de espuma cerrada (7)		16				
Celda de espuma abierta		21				

(1) No enciende en aire cuando se expone a 1500° F durante 5 min.

(2) Suma 100° F a Td para peróxidos antes de entrar a la tabla.

(3) Se recomienda datos ARC para Td a 1000° K.

(4) Los datos ARC deben obtenerse y analizarse con el propósito de determinar la naturaleza del peligro y la mejor forma de manejarlo, además de determinar el Nr. Para propósito de solo asignar el Nr, los datos de ARC se pueden traducir a una tasa máxima de incremento de temperatura adiabática, para una gran cantidad de mezcla (masa de contenedor despreciable).

(5) Los rangos de Td para cada zona de Nr se asignaron arbitrariamente. Se compararon 80 compuestos comunes en la industria, utilizando datos termodinámicos y valores del NFPA para Nr y se obtuvo una exactitud de +/- 5%.

(6) Incluye madera, lingotes de magnesio y pilas densas de sólidos.

(7) Incluye material de partícula grande como pellets, plásticos, almacenamiento en racks, material fino como Methocel en sacos o silos, rollos de papel.

(8) Incluye artículos de hule (lantias, botas, etc.).

TABLA 12C.- TABLA COMPARATIVA DE VENTAJAS, DESVENTAJAS Y APLICABILIDAD DE LOS MÉTODOS DE IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS.

METODOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICACIÓN
<p>Investigación de accidentes/incidentes</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Evita la repetición de eventos por la misma causa • Evidencia y refleja preocupación por los trabajadores • Se basa en información objetiva • Puede ser utilizada por todos los niveles de supervisión. • Mantiene el nivel de conciencia de seguridad de todo el personal. • Aplicación sencilla. 	<ul style="list-style-type: none"> • No permite la identificación de todos los riesgos. • Requiere un alto compromiso de todo el personal para reportar todos los eventos ocurridos 	<ul style="list-style-type: none"> • Constantes durante las actividades operativas • Retroalimentación hacia códigos y estándares • Comparación de resultados de los programas de seguridad
<p>Publicaciones de Seguridad.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • No permite la repetición de accidentes similares. • Aprovechamiento de las experiencias sin pérdidas directas • Se basa en información objetiva • No requiere capacitación. 	<ul style="list-style-type: none"> • No permite la identificación de todos los riesgos • Requiere adaptaciones para las características de nuestros procesos 	<ul style="list-style-type: none"> • Continúa en diseño y operación • Retroalimentación hacia códigos y estándares
<p>Lista de Verificación</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de riesgos reales y potenciales conocidos. • Fácil aplicación • Medidas correctivas implícitas • Orientación hacia riesgos específicos • Costo mínimo y no requiere capacitación formal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere del establecimiento previo de códigos y estándares y su aceptación. • Dificultad de aplicación en instalaciones existentes o construidas con estándares distintos • Su aplicación puede volverse tediosa y mecánica 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño y operación de plantas • Útil como primer análisis para riesgos conocidos

METODOLOGIA	VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICACION
¿Qué pasa si...?	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de riesgos potenciales • Permite la identificación de riesgos no contemplados por los diseñadores • Requiere de un entrenamiento mínimo • Aplicación simple 	<ul style="list-style-type: none"> • En procesos muy complejos y novedosos no permite un pleno entendimiento de todos los riesgos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Etapa de diseño final y operación normal de instalaciones
Árbol de fallas	<ul style="list-style-type: none"> • Muestra la relación lógica entre los eventos primarios que pueden dar como resultado un riesgo mayor 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de un alto grado de experiencia • Requiere mucho tiempo de ejecución • Es compleja la identificación de riesgos cuando es el único método utilizado. • Difícil de mantener actualizado. • Capacitación formal para su aplicación. • Requerimiento de bancos estadísticos de frecuencia de falla 	<ul style="list-style-type: none"> • Comparación de alternativas de control de riesgos • Diseño y operación de plantas
Árbol de eventos	<ul style="list-style-type: none"> • Muestra la relación lógica entre los eventos primarios que pueden dar como resultado un riesgo mayor. • Relativa facilidad para cuantificar la probabilidad de ocurrencia de un riesgo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de un alto grado de experiencia. • Requiere mucho tiempo de ejecución. • Es compleja la identificación de riesgo cuando es el único método utilizado. • Difícil de mantener actualizado. • Capacitación formal para su aplicación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Comparación de alternativas de control de riesgos • Diseño y operación de plantas.

METODOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICACION
Tormenta de Ideas	<ul style="list-style-type: none"> • Rápido de aplicar. • Puede generar conceptos novedosos • Costo mínimo • No requiere capacitación formal. 	<ul style="list-style-type: none"> • No permite la identificación de todos los riesgos 	<ul style="list-style-type: none"> • Como un complemento de otras metodologías • En la búsqueda de alternativas de control
HAZOP	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de todos los riesgos existentes. • Identificación de riesgos operativos potenciales • Actualización sencilla del estudio • Favorece el reentrenamiento de los miembros del equipo en el proceso. • Costo alto justificable. • Mínima capacitación para el grupo de trabajo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Consume mucho tiempo • Capacitación formal para el líder del grupo • La información básica requerida es abundante y necesita estar actualizada. 	<ul style="list-style-type: none"> • En el diseño y operación de plantas en casi cualquier etapa
Índice Dow	<ul style="list-style-type: none"> • Sencillo de aplicar. • Relativamente rápido. • Proporciona cuantificación relativa de los riesgos 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de riesgos de incendios y explosión únicamente • Evolución cualitativa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Durante el diseño y operación de la planta • Evaluación cualitativa de riesgos en plantas existentes
Índice Mond	<ul style="list-style-type: none"> • Sencillo de aplicar. • Relativamente rápido • Proporciona cuantificación relativa de los riesgos 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de riesgos de incendios, explosión y toxicidad • Evolución cualitativa 	<ul style="list-style-type: none"> • Durante el diseño y operación de la planta • Evaluación cualitativa de riesgos en plantas existentes

TABLA 12D.- TIEMPO DE EXPOSICIÓN PARA LLEGAR AL UMBRAL DE DOLOR.

Intensidad de radiación (BTU/hr pie²)	(kW/m²)	Tiempo para llegar al umbral de dolor (s)
500	1.58	60
740	2.33	40
920	2.90	30
1500	4.73	16
2200	6.94	9
3000	9.46	6
3700	11.67	4
6300	19.87	2

TABLA 12E.- EFECTOS DE LA RADIACIÓN TÉRMICA

Intensidad de radiación (kW/m²)	Efecto observado
37.5	Suficiente para causar daño al equipo de proceso. Enciende madera si la exposición es larga.
12.5	Energía mínima para encender madera o plástico.
9.5	Umbral de dolor después de 8 seg.; quemaduras de 2° grado después de 20 s.
4.0	Suficiente para causar dolor después de 20 s.; puede provocar ampollamiento; 0% de letalidad.
1.6	Puede causar inconformidades si la exposición es larga.

TABLA 12F.- PROBABILIDAD DE FATALIDAD POR QUEMADURAS

Probabilidad de fatalidad (%)	Duración (s)	Intensidad de radiación (kW/m ²)	Dosis (s(kW/m ²)) ⁴⁰²
1	1.43	146.0	1099
1	10.1	33.1	1073
1	45.2	10.2	1000
50	1.43	263.6	2417
50	10.1	57.9	2264
50	45.2	18.5	2210
99	1.43	586.0	7008
99	10.1	128.0	6546
99	45.2	39.8	6149

TABLA 12G.- EFECTOS DE NUBES EXPLOSIVAS EN REFINERÍAS Y COMPONENTES VULNERABLES DE PLANTAS

SOBREPRESIÓN (PSI)	EFECTOS EN REFINERÍAS	EFECTOS EN PLANTAS
0.3	<ul style="list-style-type: none"> • Edificio de mantenimiento: caída de techos de asbesto corrugado. • Torre de enfriamiento de agua: caída de lumberras de asbesto corrugado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Torre de enfriamiento: falla de mamparas
0.5	<ul style="list-style-type: none"> • Cuarto de control (construcción de concreto y estructura de hierro): rotura de ventanas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cuarto de control (techo metálico): rotura de ventanas y medidores. • Cuarto de control (techo de concreto): rotura de ventanas y medidores. • Torre de enfriamiento: falla de mamparas.
1.0	<ul style="list-style-type: none"> • Cuarto de control (construcción de concreto y estructura de hierro): deformación de la estructura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cuarto de control (techo metálico): conectores dañados por colapso del techo. • Cuarto de control (techo de concreto): conectores dañados por colapso del techo. • Tanque de almacenamiento (techo cónico): colapso del techo.
1.5	<ul style="list-style-type: none"> • Cuarto de control (construcción de concreto y estructura de hierro): derrumbe del techo. • Horno de tubos fijos: ligero desplazamiento de su posición original. • Tanques de almacenamiento (techo cónico y techo flotante): levantamiento de tanques vacíos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cuarto de control (techo metálico): colapso del techo. • Cuarto de control (techo de concreto): colapso del techo. • Torre de enfriamiento: partes internas dañadas. • Cubículo de instrumentos: rotura de ventanas y medidores.
2.0		<ul style="list-style-type: none"> • Calentador: fracturas de ladrillos. • Reactor químico: rotura de instrumentos.
2.5		<ul style="list-style-type: none"> • Calentador: el equipo se mueve y la tubería se rompe.

SOBREPRESIÓN (PSI)	EFECTOS EN REFINERÍAS	EFECTOS EN PLANTAS
3.0	<ul style="list-style-type: none"> • Edificio de mantenimiento: deformación de la estructura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tanque de almacenamiento (techo cónico): el equipo se levanta (50% lleno). • Cubículo de instrumentos: líneas de fuerza dañadas, controles dañados. • Regenerador: el equipo se mueve y las tuberías se rompen. • Tanque de almacenamiento (techo flotante): el equipo se levanta (50% lleno).
3.5	<ul style="list-style-type: none"> • Cuarto de control (construcción de concreto y estructura de fierro): derrumbe de muros de concreto. • Torre de enfriamiento de agua: derrumbe de la torre. • Tuberías (soportadas por estructura de acero): deformación de la estructura. • Tuberías (soportadas por estructuras de concreto): fractura de la estructura. • Tanques de almacenamiento (techo cónico y techo flotante): levantamiento de tanques llenos o medio llenos, dependiendo de su capacidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cuarto de control (techo metálico): falla de paredes de concreto. • Cuarto de control (techo de concreto): falla de paredes de concreto. • Torre de enfriamiento: falla de paredes de concreto. • Reactor catalítico: el equipo se mueve y la tubería se rompe. • Soportes de tuberías: marcos deformados.
4.0	<ul style="list-style-type: none"> • Tanque de almacenamiento (techo cónico y techo flotante): levantamiento de tanques llenos o medio llenos, dependiendo de su capacidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reactor químico: partes internas dañadas.
4.5	<ul style="list-style-type: none"> • Torre fraccionadora (montaje sobre pedestal de concreto): alojamiento de tuercas de anclaje. • Tanques de almacenamiento (techo cónico y techo flotante): levantamiento de tanques llenos o medio llenos, dependiendo de su capacidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Filtros: partes internas dañadas. • Medidor de gas: carcasa y caja deformadas. • Transformador eléctrico: daño por proyección de partículas.

SOBREPRESIÓN (PSI)	EFECTOS EN REFINERÍAS	EFECTOS EN PLANTAS
5.0	<ul style="list-style-type: none"> • Torre de regeneración: deformación de la columna. • Edificio de mantenimiento: derrumbe de muros de tabique, deformación de la estructura. • Tuberías: derrumbe de la estructura y rompimiento de líneas. • Tanques de almacenamiento (techo cónico y techo flotante): levantamiento de tanques llenos o medio llenos, dependiendo de su capacidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Calentador: unidad destruida. • Regenerador: marcos colapsados. • Motor eléctrico: daño por proyección de partículas. • Ventilador: carcaza y cajas dañadas.
5.5	<ul style="list-style-type: none"> • Torre rectangular (estructura de concreto): fractura de la estructura de concreto. • Tanques de almacenamiento (techo cónico y techo flotante): levantamiento de tanques llenos o medio llenos, dependiendo de su capacidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Soportes de tuberías: marcos colapsados y tuberías rotas. • Columna fraccionadora: marcos rotos.
6.0	<ul style="list-style-type: none"> • Unidad de recuperación de vapor (con estructura rectangular de acero): derrumbe de la estructura. • Hornos de tubos fijos: caída de la chimenea. • Edificio de mantenimiento: derrumbe de la estructura. • Tuberías (soportadas por estructura de acero): derrumbe de la estructura y rompimiento de la tubería. • Tanques de almacenamiento (techo cónico y techo flotante): levantamiento de tanques llenos o medio llenos, dependiendo de su capacidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cubículo de instrumentos: unidad destruida. • Recipiente horizontal a presión: marcos deformados, el equipo se mueve y la tubería se rompe. • Regulador de gas: el equipo se mueve y la tubería se rompe.
6.5	<ul style="list-style-type: none"> • Hornos de tubos fijos: derrumbe del horno. • Tanques de almacenamiento (techo cónico y techo flotante): levantamiento de tanques llenos o medio llenos, dependiendo de su capacidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tanques de almacenamiento (techo cónico): equipo levantado (90% lleno). • Reactor químico: marcos colapsados. • Tanques de almacenamiento (techo flotante): equipo levantado (90% lleno). • Columna de extracción: el equipo se mueve y la tubería se rompe.

SOBREPRESIÓN (PSI)	EFECTOS EN REFINERÍAS	EFECTOS EN PLANTAS
7.0	<ul style="list-style-type: none"> • Torre rectangular (estructura de concreto): derrumbe de la estructura y la torre. • Torre de vacío octagonal (estructura de concreto): fractura de la estructura. • Torre fraccionadora (montada sobre pedestal de concreto): caída de la torre. • Torre de regeneración (estructura de acero): caída de la torre. • Tanque de almacenamiento esférico: deformación de la estructura de tanques llenos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reactor catalítico: partes internas dañadas. • Columna fraccionadora: unidad destruida.
7.5	<ul style="list-style-type: none"> • Torre de vacío octagonal (estructura de concreto): ruptura del anclaje de la torre y caída de la misma. • Tanque de almacenamiento esférico: deformación de la estructura en tanques vacíos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Regenerador: unidad destruida. • Transformador eléctrico: líneas de fuerza dañadas. • Turbina de vapor: el equipo se mueve y la tubería se rompe. • Cambiador de calor: el equipo se mueve y la tubería se rompe.
8.0	<ul style="list-style-type: none"> • Reactor rectangular de craking catalítico (estructura de concreto): fractura de la estructura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tanque de almacenamiento (esférico): el equipo se mueve y la tubería se rompe.
8.5	<ul style="list-style-type: none"> • Torre de regeneración (estructura de concreto): fractura de la estructura. 	
9.0	<ul style="list-style-type: none"> • Tanque de almacenamiento esférico: derrumbe de los tanques llenos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reactor químico: unidad destruida. • Motor eléctrico: líneas de fuerza dañadas. • Recipiente horizontal a presión: unidad destruida. • Cambiador de calor: unidad destruida.
9.5	<ul style="list-style-type: none"> • Desisobutanizador (montado sobre pedestal y zapatas): caída del reactor. • Tanque de almacenamiento esférico: derrumbe de tanques vacíos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Filtro: la unidad se mueve de sus cimientos.

SOBREPRESIÓN (PSI)	EFECTOS EN REFINERÍAS	EFECTOS EN PLANTAS
10.0	<ul style="list-style-type: none"> • Cuarto de control (construcción de concreto y estructura de fierro): derrumbe de la estructura de fierro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cuarto de control (techo de concreto): unidad destruida. • Transformador eléctrico: unidad destruida. • Ventilador: unidad destruida. • Regulador de gas: controles dañados, carcaza y cajas dañadas. • Columna de extracción: la unidad se mueve en sus cimientos.
12.0	<ul style="list-style-type: none"> • Reactor rectangular de craking catalítico (estructura de concreto): derrumbe de la estructura y la torre. 	<ul style="list-style-type: none"> • Filtro: unidad destruida. • Reactor catalítico: unidad destruida. • Columna de extracción: unidad destruida. • Turbina de vapor: controles dañados. • Recipiente vertical a presión: el equipo se mueve y la tubería se rompe. • Bomba: líneas de fuerza dañadas.
14.0		<ul style="list-style-type: none"> • Turbina de vapor: tubería rota. • Tanque de almacenamiento (esférico): falla de abrazaderas y soportes. • Recipiente vertical a presión: unidad destruida.
16.0	<ul style="list-style-type: none"> • Torre de regeneración (estructura de concreto): derrumbe de la estructura y la torre. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tanque de almacenamiento (esférico): unidad destruida. • Bomba: la unidad se mueve de sus cimientos.
20.0		<ul style="list-style-type: none"> • Tanque de almacenamiento (techo flotante): colapso del techo.
> 20.0		<ul style="list-style-type: none"> • Motor eléctrico: la unidad se mueve de sus cimientos. • Turbina de vapor: la unidad se mueve de sus cimientos.

TABLA 12H.- INDICE MOND PARA UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GASOLINAS

INDICE MOND PARA FUEGO EXPLOSION Y FORJEDAD						
LOCALIDAD		UNIDAD: AREA DE ALMACENAMIENTO			DEPTO. / FECHA:	
PLANTA TEMA DE ALM Y DET DE PRODUCTOS DESTILADOS		MATERIALES Y PROCESOS				
MATERIALES GASOLINAS		SOLVENTES NO DESTILADOS				
CATALEFADORES NO UTILIZADO		PRODUCTOS DESTILADOS				
PURIFICADORES NO UTILIZADO		PRODUCTOS DESTILADOS				
DESCRIPCION NO. ST. OBTEN. REACCIONES EN EL PROCESO		OBSERVACIONES				
1 FACTOR DEL MATERIAL MATERIAL O COMBUSTION		GASOLINAS		EFICION DE ALMACENAMIENTO DE GASOLINAS		
FACTOR DETERMINADO POR COMBUSTION DE COMPOSICION REACCION EXPLOSION						
COMBUSTION						
FACTOR DADO EN		18				
2. RIESGOS ESPECIALES DEL MATERIAL		% FACTOR VERGADO	% FACTOR RIGORIZADO	VALOR REDUCIDO	DESARROLLO REQUERIDO	
A MATERIALES OXIDANTES		0 - 20				
B MATERIALES QUE REACCIONAN CON AGUA PARA PRODUCIR GAS Y COMBUSTIBLE		0 - 30				
C CARACTERISTICAS DE MEZCLAS Y DISPERSION		0 - 60 A 90				
D BUEYOS A CALENTAM. ESPONTANEO		30	30 A 290			
E POLIMERIZACION ESPONTANEA		25 A 75				
F SENSIBILIDAD A LA FORMACION		25	75 A 150			
G BUEYOS A DESCOMPOSICION EXPLOSION			125			
H BUEYOS A DETONACION GASEOSA		0	150			
I PROPIEDADES EXPLOSION DE LA FASE COMBUSTIBLE			200 A 1800			
J OTRO COMPORTAMIENTO EXTRAÑO			0 A 150			
SUMAR PORCENTAJES A-J POR (W.E.M.) TOTAL		55				
3. RIESGOS GENERALES DEL PROCESO						
A MANEJO Y CAMBIO FIECRO		10				
B REACCIONES CONTINUAS SIMPLES						
C REACCIONES "BATCH" SIMPLES						
D MULTIPLICIDAD DE REACCIONES						
E TRANSFERENCIA DE MATERIALES		0				
F RECIPIENTES TRANSPORTABLES		0				
SUMAR PORCENTAJES A-F POR (G.P.) TOTAL		10				
4. RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO				VALOR REDUCIDO	DESARROLLO REQUERIDO	
A BAJA PRESION (BAJAO DE 15 PSIA)		100	0 A 150			
B ALTA PRESION		0	0 A 150			
C BAJA TEMPERATURA		1. AEREO AL CARBON				
		1000 A 1000				
		2. AEREO AL CARBON				
		BAJAO DE 1000				
		3. OTROS MATERIALES				
		0 A 100				
D ALTA TEMPERATURA		1. FLAMABILIDAD				
		30				
		2. MATERIAL DE CONSTRUCCION				
		0				
E RIESGOS DE CORROSION Y EROSION		0				
		0 A 150				
F RIESGOS DE JUNTAS Y EMPUJOS		10				
		0 A 60				

B=	15.72	M=	55	P=	19	VALOR REQUERIDO	DESARROLLO REQUERIDO
O. RIESGO DE VIBRACION Y DE FATIGA POR MALOS CIMENTOS						0	0 A 50
H. PROCESO O REACCIONES DIFICILES DE CONTROLAR						_____	20 A 300
I. OPERACION EN O CERCA DEL RANGO FLAMABLE						_____	0 A 150
J. RIESGO DE EXPLOSION MAYOR QUE EL PROMEDIO						_____	40 A 100
K. RIESGO DE EXPLOSION POR POLVO O NEBLA						_____	30 A 70
L. PROCESO QUE USAN HIDRANTES GASEOSOS MUY FUERTES						_____	0 A 300
M. SENSIBILIDAD A LA IGNICION DEL PROCESO						_____	0 A 75
N. RIESGOS ELECTROSTATICOS						40	0 A 200
SUMAR PORCENTAJES A.E. TOTAL						170	+ 5
TEMPERATURA DE PROCESO EN °F						290	+ 1
B. RIESGO POR CANTIDAD							
MATERIAL TOTAL =						34973	M
(DENSIDAD = 340 Kg/m ³)						26230	TON = K
% FACTOR USADO						_____	% FACTOR REQUERIDO
FACTOR POR CANTIDAD						900	A 1000 = Q
B. RIESGOS POR EL ARREGLO DEL EQUIPO							
AREA NORMAL DE TRABAJO =						5	H (EN METROS) / H (EN METROS CUAD.)
ALTURA =						5000	
% FACTOR USADO						_____	% FACTOR REQUERIDO
A. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA						15	
B. EFECTO DE DISEÑO						_____	
C. AREAS BOND TRIMPA						_____	
D. DIFERENCIAL SUPERFICIAL						100	
E. OTROS DEFECTOS						100	
SUMAR PORCENTAJES A.E. TOTAL						215	+1
C. RIESGOS DE TOXICIDAD							
A. VALORES TLV						10	
B. FORMA DE MATERIAL						30	
C. RIESGO DE EXPOSICION CORTA						_____	
D. ABSORCION POR LA PIEL						30	
E. FACTORES FISICOS						_____	
SUMAR PORCENTAJES A.E. TOTAL						80	+7
B. COMPUTO DE INDICES							
A. CALCULO DEL INDICE GLOBAL DOWNEY							
$D = B \times (1 + M/100) \times (1 + P/100) \times (1 + (S-O) \times 1/100 - (T/400)) \times$						375	
GRADO TOTAL DE RIESGO =						_____	MUY CATASTROFICO
B. CALCULO DE POTENCIAL DE FUEGO							
$F = (B \times H \times W) + 20,500 \text{ BTU/PIE CUAD.} =$						788781	
CATEGORIA DE POTENCIAL DE FUEGO =						_____	ALTO
C. CALCULO INDICE UNITARIO DE TOXICIDAD							
$U = T/100 \times (1 + M + P) \times 100 =$						5.8	
CATEGORIA DEL INDICE UNITARIO DE TOXICIDAD =						_____	MODERADO
D. CALCULO DEL INDICE DE MAXIMO INCIDENTE TOXICO							
$C = Q \times U =$						1860	
CATEGORIA DEL INDICE MAXIMO INCIDENTE TOXICO =						_____	MUY ALTO
E. CALCULO DEL INDICE DE EXPLOSION							
$E = 1 + (M+P) \times 100 =$						3.35	
CATEGORIA DEL INDICE DE EXPLOSION =						_____	MODERADO
F. CALCULO DEL INDICE DE EXPLOSION AEREA							
$A = B \times (1 + M/100) \times (1 + P/100) \times (T/300) \times 1 + P/1000 =$						822	
CATEGORIA DEL INDICE DE EXPLOSION AEREA =						_____	MUY ALTO
G. CALCULO DEL FACTOR GLOBAL DE RIESGO							
$R = D \times 1 + ((F \times U \times E \times A)^{1/4} / 1000) \times$						15440	
CATEGORIA DEL RIESGO GLOBAL =						_____	EXTREMO

19. INDICE DE FACTORES DE REDUCCION DE SEGURIDAD Y MEDIDAS DE PREVENCIÓN		
A. CONTENCIÓN		FACTOR USADO
1. REQUERIMIENTOS A DISEÑO	-----	-----
2. TANQUE ATMOSFERICOS VERTICALES	-----	-----
3. TUBERIAS DE TRANSFER	a) DISEÑO DE ESPUES	0.90
	b) JUNTAS Y EMPAQUES	0.95
4. CONTENCIÓN ADICIONAL, CHACQUETA PARA REQUERIMIENTOS	-----	0.95
5. SIST. DE DETECCIÓN DE FUGAS Y RELEVISTA	-----	-----
6. MANEJO DE MAT. RELLEVADO VENTILADO O DESECHADO	-----	0.95
PRODUCTO TOTAL DEL FACTOR DE CONTENCIÓN K1 =		0.91
B. CONTROL DEL PROCESO		
1. SISTEMA DE ALARMA	-----	0.9
2. SUMINISTRO DE ENERGIA DE EMERGENCIA	-----	0.9
3. SISTEMA DE ESTABILIZADO DE PROCESO	-----	-----
4. SISTEMA DE GAS INERTE	-----	-----
5. SISTEMAS DE RESERVOIS	-----	0.85
6. SISTEMAS DE PAPO DE SEGURIDAD	-----	0.85
7. CONTROL DE COMPUTADORA	-----	0.95
8. PROTECCION VS. EXPLOSIONES Y REACC. INCORR	-----	0.9
9. PROCEDIMIENTOS DE OPERACION	-----	0.95
10. SUPERVISION DE PLANTA	-----	0.95
PRODUCTO TOTAL DEL FACTOR DE CONTROL DE PROCESO K2 =		0.804
C. ACTITUD CON RESPECTO A LA SEGURIDAD		
1. ACTITUD DE LA GERENCIA	-----	0.95
2. ENTRENAMIENTO SOBRE SEGURIDAD	-----	0.95
3. PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD	-----	0.95
PRODUCTO TOTAL DEL FACTOR DE ACTITUD DE SEGURIDAD K3 =		0.95
D. PROTECCION CONTRA INCENDIO		
1. PROTECCION CONTRA FUEGO	-----	0.9
2. PAREDES, BARRERAS EQUIVALENTES VS. FUEGO	-----	0.9
3. PROTECCION CONTRA FUEGO PARA EQUIPOS	-----	0.95
PRODUCTO TOTAL DEL FACTOR DE PROTECCION CONTRA INCENDIO K4 =		0.88
E. AISLAMIENTO DE MATERIAL		
1. SISTEMA DE VALVULAS	-----	0.85
2. VENTILACION	-----	-----
PRODUCTO TOTAL DEL FACTOR DE AISLAMIENTO DE MATERIAL K5 =		0.85
F. COMBATE DE INCENDIOS		
1. ALARMA DE EMERGENCIA	-----	0.9
2. EXTINTORES DE MANO	-----	0.95
3. SUMINISTRO DE AGUA	-----	0.9
4. INCLADORES DE AGUA O MONITORES	-----	0.95
5. INSTALACION DE ESPUMA E INERTES	-----	0.9
6. INCLADORES CONTRA INCENDIO	-----	0.95
7. COOPERACION EN SITIO VS. INCENDIO	-----	0.9
8. VENTILADORES PARA HUMO	-----	-----
PRODUCTO TOTAL DEL FACTOR DE COMBATE DE INCENDIOS K6 =		0.96
11. CALCULO DE EFECTO GLOBAL DE LOS FACTORES DE REDUCCION		
CARGA DE INCENDIO REDUCIDO F2 = F1xK1K2K3K4K5	-----	136.340
INDICE DE EXPLOSION REDUCIDO E2 = E1xK2K3	-----	1.38
INDICE DE EXPLOSION AEREA REDUCIDO A2 = A1xK1K5K6K7	-----	317
INDICE DE RIESGO GLOBAL REDUCIDO R2 = R1x1.1xK2K3K4K5K6K7	-----	1244
CATEGORIA =	ALTO (GRUPO 3)	

TABLA 121.- INDICE MOND PARA LLENADERAS DE AUTOTANQUES

INDICE MOND PARA FUEGO EXPLOSION Y VELOCIDAD					
LOCALIDAD:				DIFER:	
PLANTA: TIPO DE ALM Y DIST DE PRODUCTOS DESTILADOS			UNIDAD: AREA DE DISTRIBUCION		FECHA:
MATERIALES Y PROCESOS					
MATERIALES: GRADUACION		SOLVENTES: NO. DE UTILIZAN		OBSERVACIONES	
CATEGORIAS: NO. DE UTILIZA		PRODUCTOS: NO. APLICACION			
REACCION: NO. DE GENERAR REACCIONES EN EL PROCESO					
1 FACTOR DEL MATERIAL MATERIAL O COMBINACION				GASOLINAS	
FACTOR DETERMINADO POR COMBUSTION EN SU COMPOSICION REACCION VELOCIDAD EXPLOSION				SECCION DE LLENADERAS DE AUTOTANQUES	
COMBUSTION					
2.- RIESGOS ESPECIALES DEL MATERIAL		FACTOR DADO BY:		10	
		% FACTOR USADO	% FACTOR DESARROLLO	VALOR REDUCIDO	DESARROLLO SEGURO
A. MATERIALES OXIDANTES		-----	0 - 20	**	
B. MATERIALES QUE REACCIONAN CON AGUA PARA PRODUCIR GAS COMBUSTIBLE		-----	0 - 30		
C. CARACTERISTICAS DE MEZCLAS Y DISPERSION		-----	10 - 80 A 80		
D. BURETOS O CALENTAM ESPONTANEO		-----	30 A 250		
E. POLIMERIZACION ESPONTANEA		-----	25 A 75		
F. SENSIBILIDAD A LA IGNICION		-----	75 A 150		
G. BURETOS A DECOMPOSICION EXPLOSIVA		-----	125		
H. BURETOS A DETONACION GASEOSA		-----	150		
I. PROPIEDADES EXPLOSIVAS DE LA FASE CONDENSADA		-----	200 A 1000		
J. OTRO COMPORTAMIENTO EXTRAÑO		-----	0 A 150		
RANGO PORCENTAJALES A-J POR (R E M) TOTAL		-----	10	**	
3.- RIESGOS GENERALES DEL PROCESO					
A. MANEJO Y CAMBIO FISICO		-----	10	**	
B. REACCIONES CONTINUAS SIMPLES		-----	-----		
C. REACCIONES "BATCH" SIMPLES		-----	-----		
D. MULTIPLICIDAD DE REACCIONES		-----	-----		
E. TRANSFERENCIA DE MATERIALES		-----	50		
F. RECIPIENTES TRANSPORTABLES		-----	100		
RANGO PORCENTAJALES A-F POR (R E P) TOTAL		-----	100		
4.- RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO					
A. BAJA PRESION (BAJO DE TI PRES)		-----	100	0 A 100	**
B. ALTA PRESION		-----	20	0 A 150	
C. BAJA TEMPERATURA		1 ACERO AL CARBON	-----	15	
		2 TIPO A 150C	-----	30 A 100	
		3 ACERO AL CARBON	-----	50 A 100	
		4 MANGA DE 100C	-----	0 A 100	
		5 OTROS MATERIALES	-----	0 A 100	
D. ALTA TEMPERATURA		1 FLAMABILIDAD	-----	0 A 40	
		2 MATERIAL DE CONSTRUCCION	-----	0 A 75	
E. RIESGOS DE CORROSION Y EROSION		-----	-----	0 A 150	
F. RIESGOS DE JUNTAS Y EMPAQUES		-----	30	0 A 80	

B= 18.72 M= 55 P= 10				VALOR REDUCIDO	DESARROLLO REQUERIDO
G RIESGOS DE VIBRACION Y DE FATIGA POR MALOS CIMENTOS	30	0 A 90			
H PROCESO O REACCIONES DIFICILES DE CONTROLAR	-----	20 A 300			
I OPERACION EN O CERCA DEL RANGO FLAMABLE	50	0 A 150			
J RIESGO DE EXPLOSION MAYOR QUE EL PROMEDIO	-----	40 A 100			
K RIESGO DE EXPLOSION POR POLVO O NEBLA	-----	30 A 70			
L PROCESO QUE USAN OXIDANTES GASEOSOS MUY FUERTES	-----	0 A 300			
M SENSIBILIDAD A LA IGNICION DEL PROCESO	-----	0 A 75			
N RIESGOS ELECTROSTATICOS	-----	0 A 200			
SUMAR PORCENTAJES A: N TOTAL	230	+ 9			
TEMPERATURA DE PROCESO EN °C	-----	5-66			
B. RIESGO POR CANTIDAD					
MATERIAL TOTAL =	48 S	M'			
(DENSIDAD = 540 kg/m ³)	37 S	TON = K			
	% FACTOR USADO	% FACTOR SUGERIDO			
FACTOR POR CANTIDAD	81	1 A 1000			
B. RIESGOS POR EL ARREGLO DEL EQUIPO					
ALTIMETRIA	1 S	= H (EN METROS)			
AREA NORMAL DE TRABAJO =	0 S	= N (EN METROS CUAD)			
	% FACTOR USADO	% FACTOR SUGERIDO			
A. RIESGO DE LA ESTRUCTURA	25				
B. EFECTO DE DOMINIO	0				
C. AREAS BAJO TENSION	0				
D. DIFUSION SUPERFICIAL	0				
E. OTROS ASPECTOS	0				
SUMAR PORCENTAJES A: E TOTAL	25	+1			
C. RIESGOS DE TOXICIDAD					
A. VALORES TLV	30				
B. FORMA DE MATERIA	0				
C. RIESGO DE EXPOSICION CORTA	0				
D. ABSORCION POR LA PIEL	30				
E. FACTORES FISICOS	0				
SUMAR PORCENTAJES A: E TOTAL	110	+T			
B. COMPUTO DE INDICES					
A. CALCULO DEL INDICE GLOBAL DOWICI					
	$D = B \times (1 + M/100) \times (P/100) \times (1 + (B-Q)/100 + (T+400)) =$				259
GRADO TOTAL DE RIESGO =	MUY CATASTROFICO				
B. CALCULO DE POTENCIAL DE FUEGO					
	$F = N \times (B + K) \times 25.500 \text{ BTU/PE CUAD} =$				109119
CATEGORIA DE POTENCIAL DE FUEGO =	MODERADO				
C. CALCULO INDICE UNITARIO DE TOXICIDAD					
	$U = T/100 \times (1 + (M + P + S)/100) =$				6 S
CATEGORIA DEL INDICE UNITARIO DE TOXICIDAD =	MODERADO				
D. CALCULO DEL INDICE DE MAXIMO INCIDENTE TOXICO					
	$C = O + U =$				338
CATEGORIA DEL INDICE MAXIMO INCIDENTE TOXICO =	ALTO				
E. CALCULO DEL INDICE DE EXPLOSION					
	$E = 1 + (M+N)/500 =$				5
CATEGORIA DEL INDICE DE EXPLOSION =	ALTO				
F. CALCULO DEL INDICE DE EXPLOSION AEREA					
	$A = B \times (1 + M/100) \times (P/100) \times (T/100) \times (1 + P/100) =$				676
CATEGORIA DEL RIESGO AEREO =	ALTO				
G. CALCULO DEL FACTOR GLOBAL DE RIESGO					
	$R = D \times (1 + (F + U + E + A)^2 / 1000) \times$				7828
CATEGORIA DEL RIESGO GLOBAL =	EXTREMO				

18. INDICE DE FACTORES DE REDUCCION DE SEGURIDAD Y MEDIDAS DE PREVENCIÓN	
A. CONTENCIÓN	
	FACTOR USADO
1. RECIPIENTES A PRESION	1
2. TANQUE ATMOSFERICOS VERTICALES	1
3. TUBERIAS DE TRANSFER	0.9
	DISEÑO DE ESFUERZ
	JUNTA Y EMPAQUES
4. CONTENCIÓN ADICIONAL CHAQUETA PARA RECIPIENTES	1
5. SIST. DE DETECCIÓN DE FUGAS Y RESERVA	0.9
6. MANEJO DE MAT. RELLEVADO VENTILADO O RECHAZADO	0.9
PRODUCTO TOTAL DEL FACTOR DE CONTENCIÓN K1 =	
	0.88
B. CONTROL DEL PROCESO	
1. SISTEMA DE ALARMA	0.95
2. SUMINISTRO DE ENERGIA DE EMERGENCIA	0.9
3. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE PROCESO	1
4. SISTEMA DE GAS INERTE	1
5. ESTUDIOS DE RIESGOS	1
6. SISTEMAS DE PAGO DE SEGURIDAD	0.95
7. CONTROL DE COMPUTADORA	0.95
8. PROTECCION VS. EMBOSIONES Y REACC. INCOER	0.95
9. PROCEDIMIENTOS DE OPERACION	0.92
10. SUPERVISION DE PLANTA	0.97
PRODUCTO TOTAL DEL FACTOR DE CONTROL DE PROCESO K2=	
	0.88
C. ACTIVO CON RESPECTO A LA SEGURIDAD	
1. ACTIVO DE LA GERENCIA	0.95
2. ENTRENAMIENTO SOBRE SEGURIDAD	0.95
3. PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD	0.96
PRODUCTO TOTAL DEL FACTOR DE ACTIVO DE SEGURIDAD K3 =	
	0.89
D. PROTECCION CONTRA INCENDIO	
1. PROTECCION CONTRA FUEGO	1
2. PAREDES, BARRERAS EQUIVALENTES VS. FUEGO	0.9
3. PROTECCION CONTRA FUEGO PARA EQUIPO	1
PRODUCTO TOTAL DEL FACTOR DE PROTECCION CONTRA INCENDIO K4=	
	0.9
E. AISLAMIENTO DE MATERIAL	
1. SISTEMA DE VALVULAS	0.64
2. VENTILACION	1
PRODUCTO TOTAL DEL FACTOR DE AISLAMIENTO DE MATERIAL K5 =	
	0.64
F. COMBATE DE INCENDIOS	
1. ALARMA DE EMERGENCIA	0.9
2. EXTINTORES DE MANO	0.95
3. SUMINISTRO DE AGUA	0.9
4. DISPOSITIVOS DE AGUA O MONITORES	0.95
5. INSTALACION DE ESPUMA E INERTES	1
6. BRIGADAS CONTRA INCENDIO	0.95
7. COOPERACION EN SITIO VS. INCENDIO	0.9
8. VENTILADORES PARA FUEGO	1
PRODUCTO TOTAL DEL FACTOR DE COMBATE DE INCENDIOS K6 =	
	0.83
11. CALCULO DE EFECTO GLOBAL DE LOS FACTORES DE REDUCCION	
CARGA DE INCENDIO REDUCIDO $F2 = F1 \times K1 \times K2 \times K3 =$	26.432
INDICE DE EXPLOSION REDUCIDO $E2 = E1 \times K2 \times K3 =$	0.9
INDICE DE EXPLOSION AEREA REDUCIDO $A2 = A1 \times K1 \times K2 \times K3 =$	111
INDICE DE RIESGO GLOBAL REDUCIDO $R2 = R1 \times K1 \times K2 \times K3 \times K4 \times K5 \times K6 =$	858
CATEGORIA =	
	ALTO (GRUPO 1)

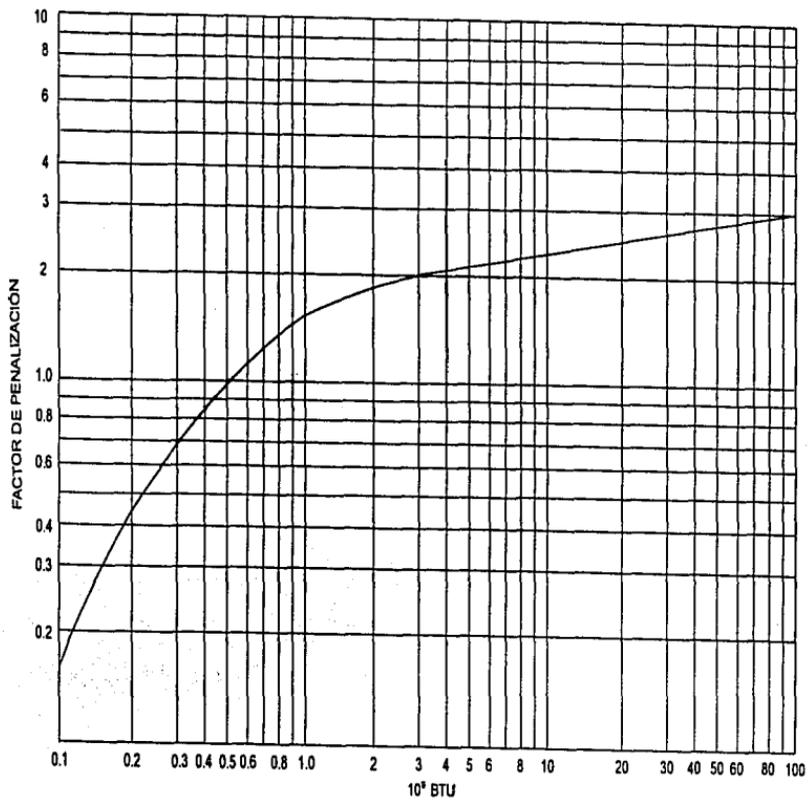


FIGURA 12A.- FACTOR DE PENALIZACIÓN POR ALMACENAMIENTO DE GASES Y LÍQUIDOS

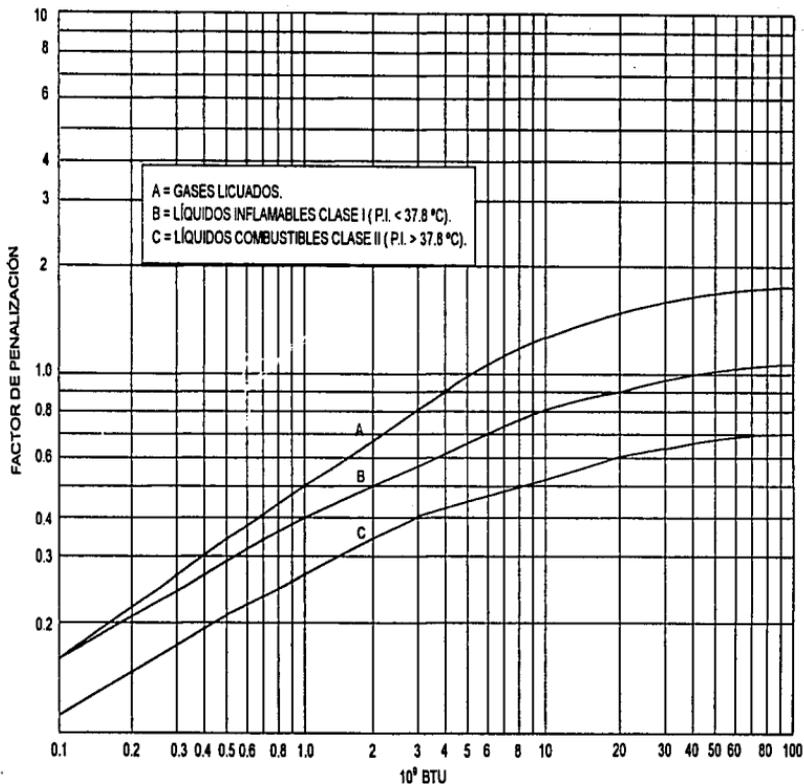


FIGURA 12B.- FACTOR DE PENALIZACIÓN POR ALMACENAMIENTO DE GASES Y LÍQUIDOS

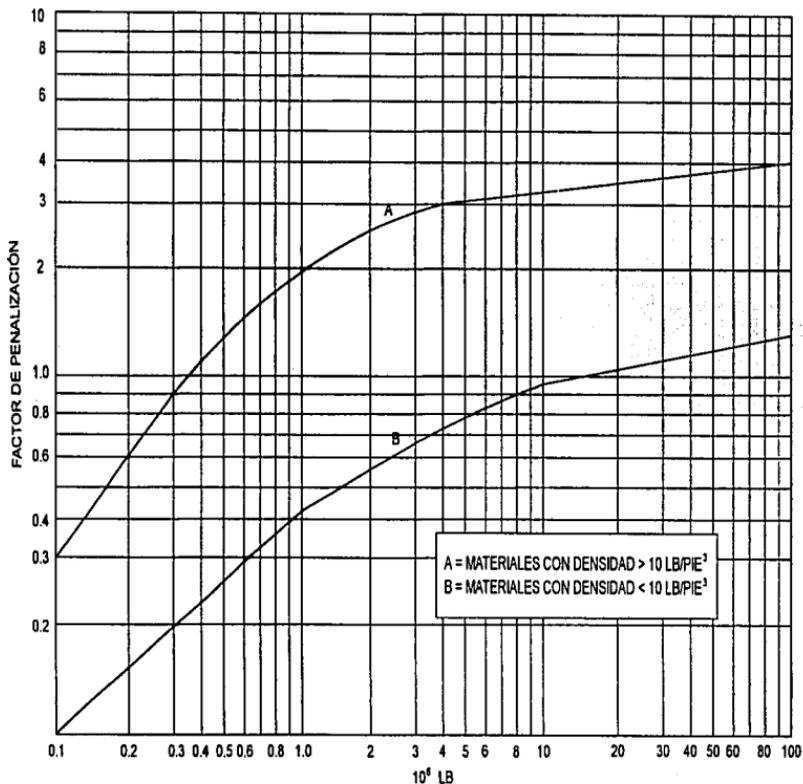


FIGURA 12C.- FACTOR DE PENALIZACIÓN POR ALMACENAMIENTO DE SÓLIDOS COMBUSTIBLES

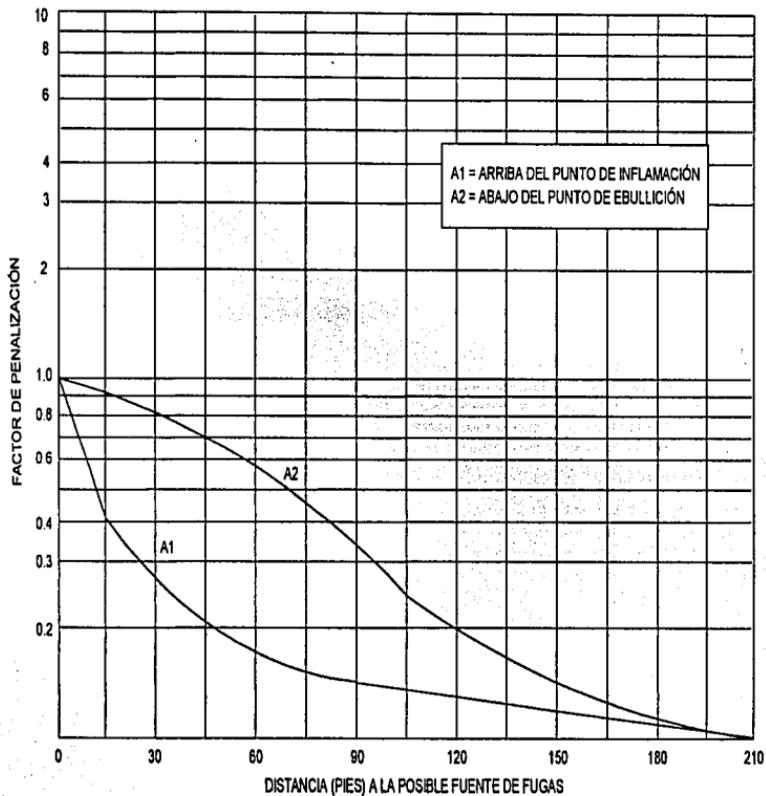


FIGURA 12D. - FACTOR DE PENALIZACIÓN POR EQUIPO CALIENTE

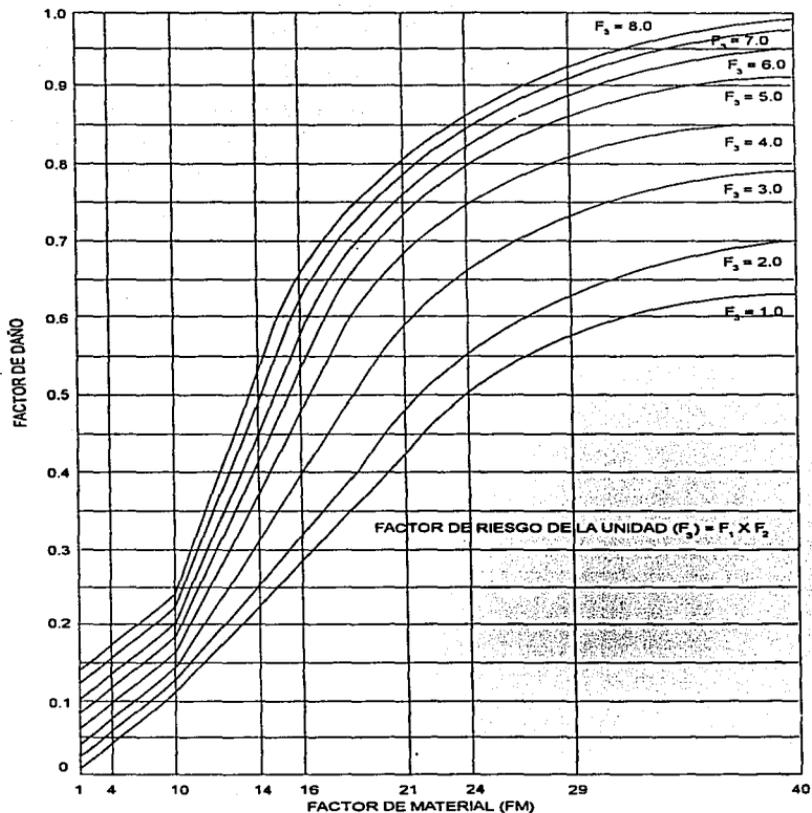


FIGURA 12E.- FACTOR DE RIESGO DE LA UNIDAD (F_3)

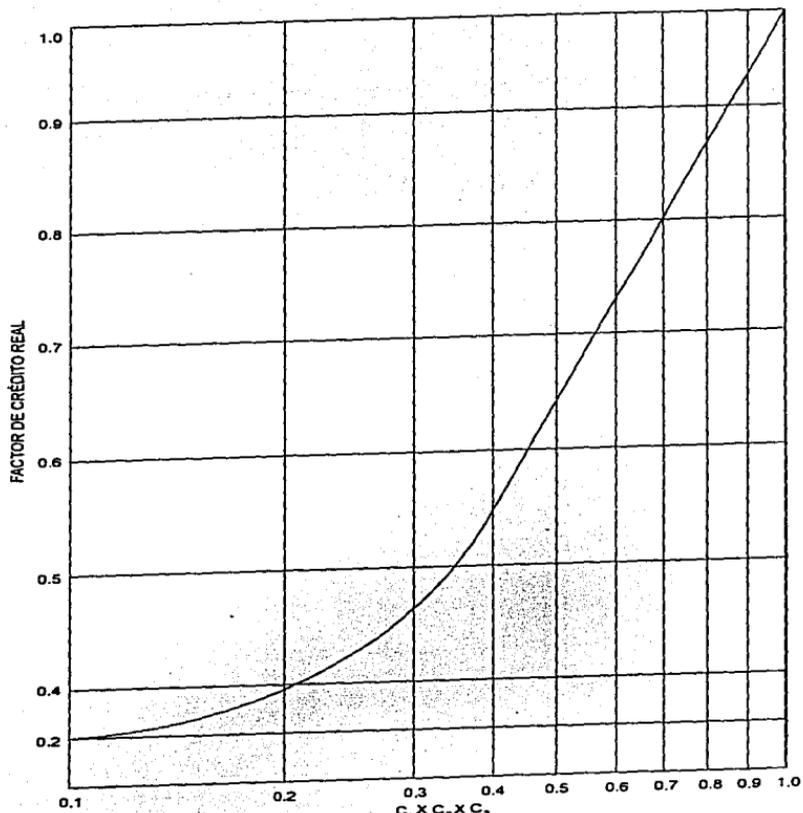


FIGURA 12F.- FACTOR DE CRÉDITO

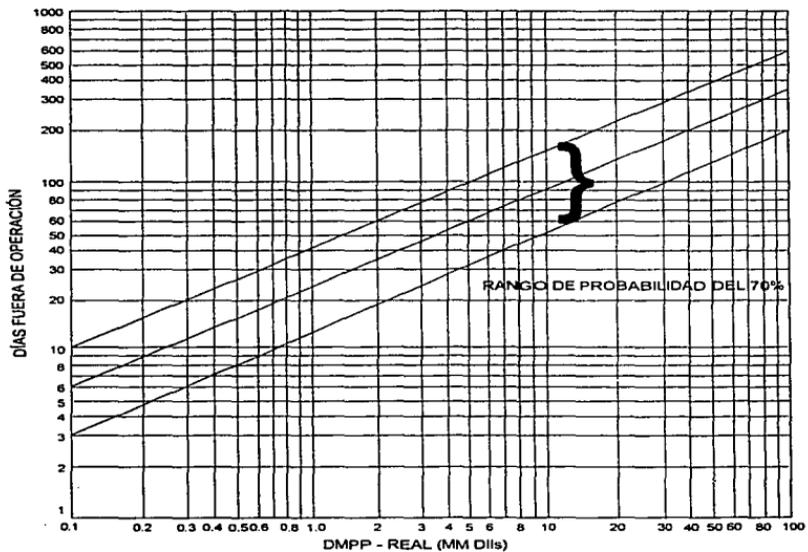


FIGURA 12G.- DÍAS MÁXIMOS PROBABLES FUERA DE OPERACIÓN (DMPFO)

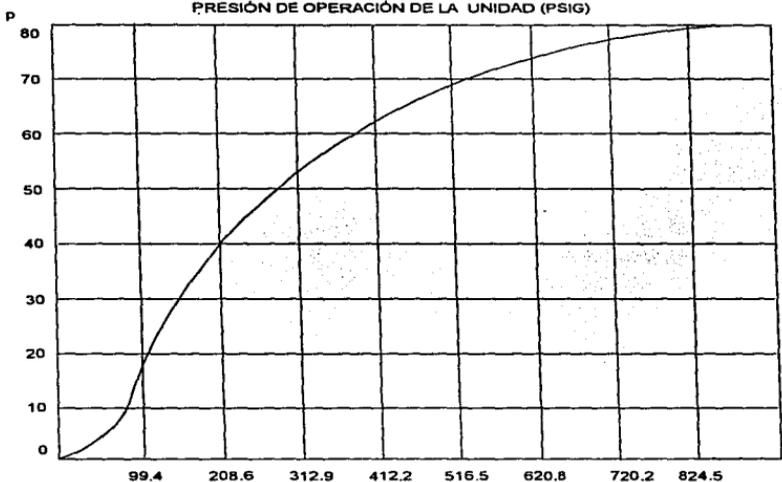
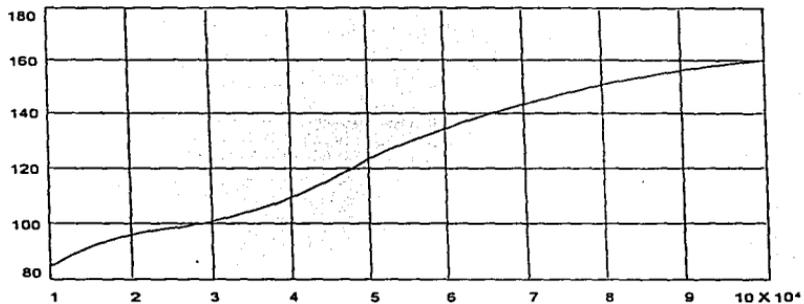


FIGURA 12H.- FACTOR DE RIESGO POR PRESIÓN

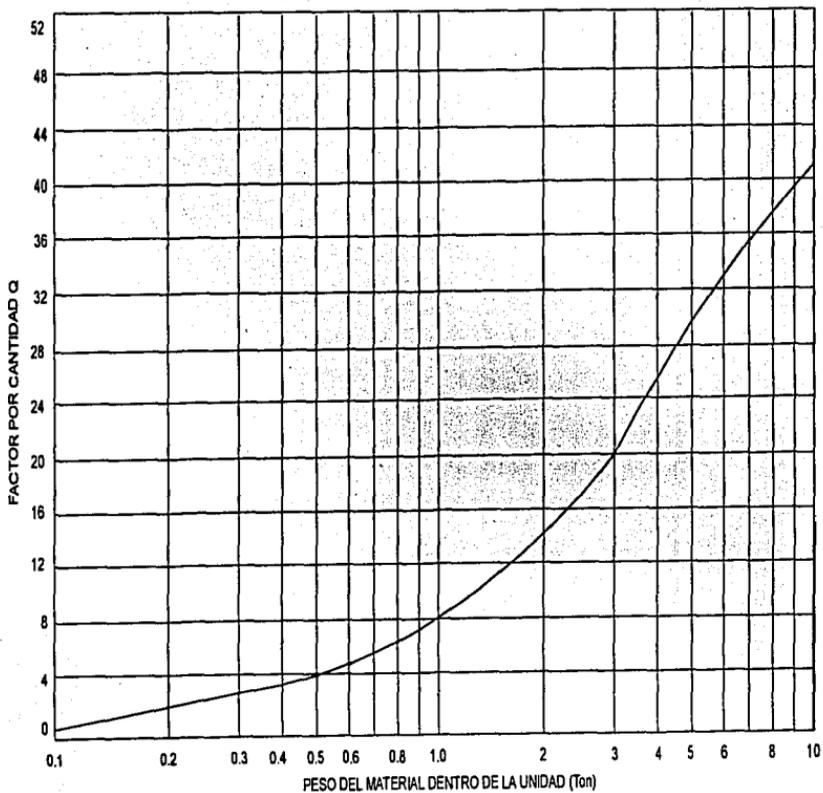


FIGURA 12I.- FACTOR POR CANTIDAD

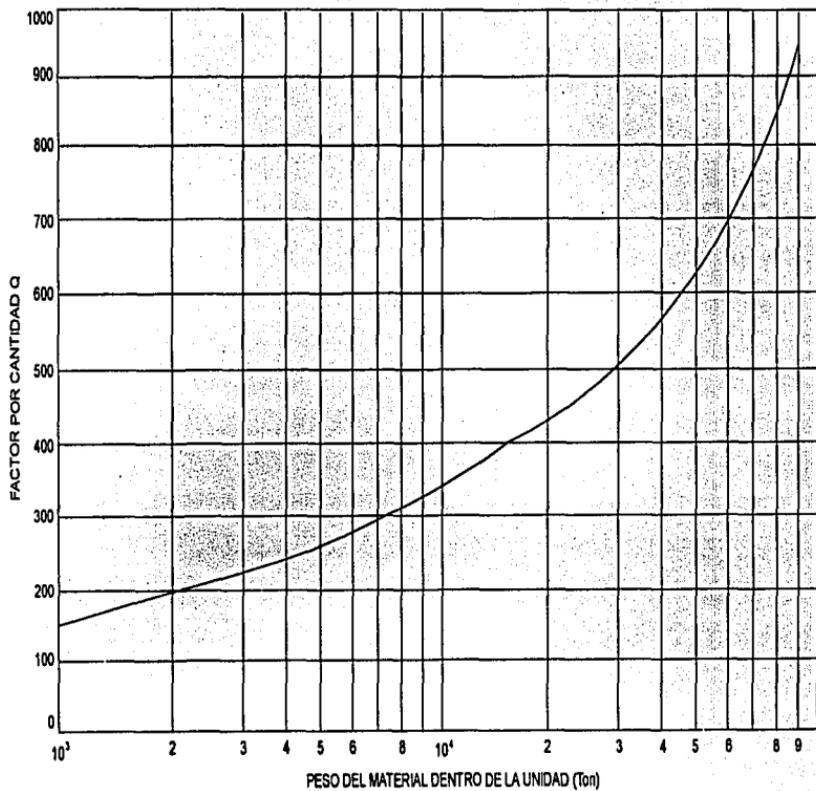


FIGURA 12.- FACTOR POR CANTIDAD (CONTINUACIÓN)

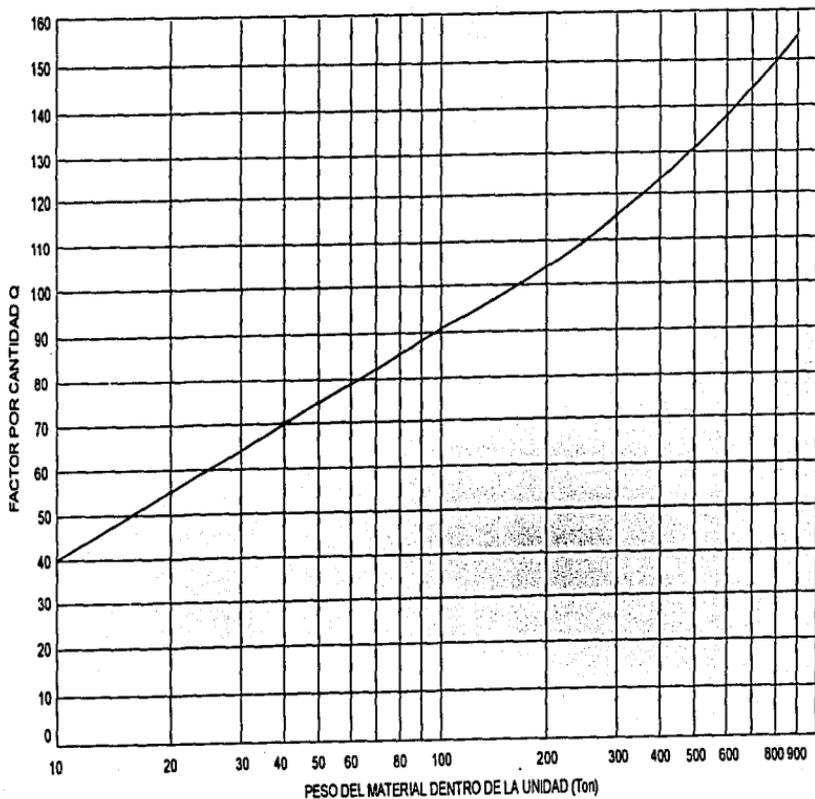


FIGURA 12L-FACTOR POR CANTIDAD (CONTINUACIÓN)

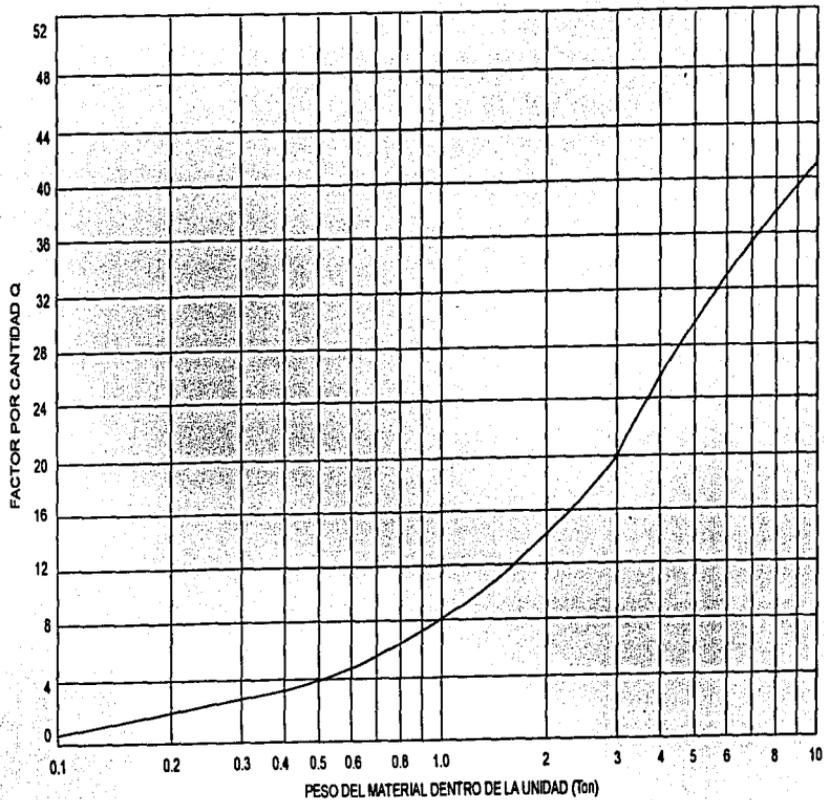


FIGURA 12.- FACTOR POR CANTIDAD