

82  
24.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUÍMICA

GUIA GENERAL PARA LA SELECCION Y  
APLICACION DE TECNICAS DE EVALUACION  
DE RIESGOS INDUSTRIALES

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO QUÍMICO**

**P R E S E N T A N :**

**CARLOS ROBERTO JACOBO VARGAS**

**PEDRO BOLAÑOS DELGADO**



MEXICO, D. F.

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**

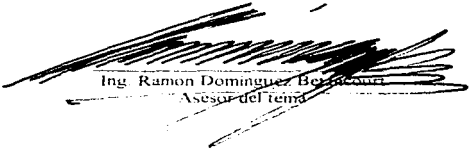
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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.

Jurado asignado:

Presidente	Prof. Ernesto Perez Santana
Vocal	Prof. Eduardo Marambio Dennett
Secretario	Ramón Dominguez Betancourt
1er. suplente	Jose Agustin Texta Mena
2do. suplente	Maria Eugenia Baz Ibarra

Sitio donde se desarrollo el tema  
Biblioteca del Instituto Nacional de Ecología e  
Instituto Mexicano del Petroleo



Ing. Ramon Dominguez Betancourt  
Asesor del tema

Sustentantes

  
Pedro Bolaños Delgado

  
Carlos Roberto Jacobo Vargas

## ÍNDICE

	pag.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>9</b>
<b>1. ASPECTOS GENERALES DE UN ESTUDIO DE RIESGOS</b>	<b>11</b>
1.1      Objetivos de una Evaluación de Riesgos	13
1.1.1    Aspectos de Planeación y Administración	15
1.1.2    Aspectos Económicos	16
1.1.3    Aspectos Humanos	17
1.1.4    Aspectos Sociales	17
1.1.5    Impacto Ambiental	18
1.1.6    Requerimientos Jurídicos	18
<b>2. MARCO JURÍDICO</b>	<b>19</b>
2.1      Sistema Jurídico Mexicano	19
2.2      Antecedentes de Legislación Ambiental	21
2.2.1    Bases Constitucionales	22
2.2.2    Las Leyes Ambientales	24
2.3      Legislación en Materia de Riesgo Ambiental	26
2.3.1    Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente	27
2.3.2    Artículos de la LGEEPA Aplicables en Materia de Riesgo Ambiental	27
2.4      Procedimiento para la Presentación de Estudios de Riesgo Ambiental	31
2.5      Modalidades del Estudio de Riesgo Ambiental	33
2.5.1    Criterios de Protección Utilizados por el INE en la Evaluación de Riesgos	34
2.6      Programas para la Prevención de Accidentes	35
<b>3. PRINCIPALES ESCENARIOS DE RIESGOS POTENCIALES</b>	<b>36</b>
3.1      Fuentes de Ignición	37
3.1.1    Tipos de Fuentes de Ignición	37
3.1.1.1  Ignición por Flamas	37
3.1.1.2  Ignición Espontánea	38
3.1.1.3  Fuentes Eléctricas	40
3.1.1.4  Fuentes Físicas	42
3.1.1.5  Reacciones Químicas	43
3.2      Peligros en Sistemas Eléctricos	43
3.2.1    Sistemas de Protección	45

	<i>pag.</i>	
<b>3.3</b>	<b>Incendios</b>	<b>46</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Sistemas de Protección contra Fuego</b>	<b>49</b>
<b>3.3.1.1</b>	<b>Sistemas de Protección contra Fuego Basados en Agua</b>	<b>54</b>
<b>3.3.1.2</b>	<b>Sistemas Químicos y Agentes Especiales de Extinción</b>	<b>55</b>
<b>3.3.1.3</b>	<b>Protección Pasiva contra Fuego</b>	<b>57</b>
<b>3.4</b>	<b>Explosiones</b>	<b>62</b>
<b>3.4.1</b>	<b>Deflagración y Detonación</b>	<b>63</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Detonaciones</b>	<b>64</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Sistemas de Control y Protección contra Explosiones</b>	<b>66</b>
<b>3.4.3.1</b>	<b>Control de la Flamabilidad</b>	<b>66</b>
<b>3.4.3.2</b>	<b>Mitigación de la Flama dentro del Equipo</b>	<b>67</b>
<b>3.4.3.3</b>	<b>Eliminación de Deflagraciones</b>	<b>69</b>
<b>3.5</b>	<b>Peligros por Alta Presión</b>	<b>70</b>
<b>3.5.1</b>	<b>Protección contra Sobrepresión</b>	<b>74</b>
<b>3.6</b>	<b>Escape de Sustancias Tóxicas</b>	<b>76</b>
<b>4.</b>	<b>TÉCNICAS DE EVALUACIÓN DE RIESGOS</b>	<b>78</b>
<b>4.1</b>	<b>Análisis Preliminar de Riesgos</b>	<b>79</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Propósito</b>	<b>80</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Aplicaciones</b>	<b>80</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Información Requerida</b>	<b>80</b>
<b>4.1.4</b>	<b>Procedimiento para la Ejecución</b>	<b>81</b>
<b>4.1.5</b>	<b>Resultados</b>	<b>81</b>
<b>4.1.6</b>	<b>Tiempos Estimados para la Ejecución</b>	<b>82</b>
<b>4.2</b>	<b>Revisión de Seguridad</b>	<b>82</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Propósito</b>	<b>82</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Aplicaciones</b>	<b>83</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Información Requerida</b>	<b>83</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Procedimiento para la Ejecución</b>	<b>83</b>
<b>4.2.5</b>	<b>Resultados</b>	<b>84</b>
<b>4.2.6</b>	<b>Tiempos Estimados para la Ejecución</b>	<b>84</b>
<b>4.3</b>	<b>Lista de Verificación</b>	<b>84</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Propósito</b>	<b>85</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Aplicaciones</b>	<b>85</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Información Requerida</b>	<b>85</b>
<b>4.3.4</b>	<b>Procedimiento para la Ejecución</b>	<b>85</b>
<b>4.3.5</b>	<b>Resultados</b>	<b>86</b>
<b>4.3.6</b>	<b>Tiempos Estimados para la Ejecución</b>	<b>86</b>
<b>4.4</b>	<b>Técnicas de Categorización Relativa</b>	<b>86</b>
<b>4.4.1</b>	<b>Propósito</b>	<b>87</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Aplicaciones</b>	<b>87</b>
<b>4.4.3</b>	<b>Información Requerida</b>	<b>87</b>

	pag.	
4.4.4	Procedimiento para la Ejecución	87
4.4.5	Resultados	88
4.4.6	Tiempos Estimados para la Ejecución	89
4.5	Análisis What-If? (¿Qué . Si?)	89
4.5.1	Propósito	89
4.5.2	Aplicaciones	90
4.5.3	Información Requerida	90
4.5.4	Procedimiento para la Ejecución	90
4.5.5	Resultados	91
4.5.6	Tiempos Estimados para la Ejecución	91
4.6	Análisis What-If? (¿Qué . Si?)/Lista de Verificación	91
4.6.1	Propósito	92
4.6.2	Aplicaciones	92
4.6.3	Información Requerida	92
4.6.4	Procedimiento para la Ejecución	92
4.6.5	Resultados	93
4.6.6	Tiempos Estimados para la Ejecución	93
4.7	Análisis de Riesgo y Operabilidad (HAZOP)	94
4.7.1	Propósito	94
4.7.2	Aplicaciones	94
4.7.3	Información Requerida	94
4.7.4	Procedimiento para la Ejecución	95
4.7.5	Resultados	96
4.7.6	Tiempos Estimados para la Ejecución	96
4.8	Análisis de los Modos de Falla y Efectos (FMEA)	97
4.8.1	Propósito	97
4.8.2	Aplicaciones	97
4.8.3	Información Requerida	97
4.8.4	Procedimiento para la Ejecución	97
4.8.5	Resultados	98
4.8.6	Tiempos Estimados para la Ejecución	98
4.9	Análisis Árbol de Fallas	99
4.9.1	Propósito	99
4.9.2	Aplicaciones	99
4.9.3	Información Requerida	99
4.9.4	Procedimiento para la Ejecución	99
4.9.5	Resultados	100
4.9.6	Tiempos Estimados para la Ejecución	100
4.10	Análisis Árbol de Eventos (ETA)	101
4.10.1	Propósito	101
4.10.2	Aplicaciones	101
4.10.3	Información Requerida	101
4.10.4	Procedimiento para la Ejecución	102
4.10.5	Resultados	103
4.10.6	Tiempos Estimados para la Ejecución	103
4.11	Análisis Causa-Consecuencia (CCA)	103
4.11.1	Procedimiento para la Ejecución	103
4.11.2	Tiempos Estimados para la Ejecución	104
4.12	Análisis de la Confiabilidad Humana	104

	<b>pag.</b>	
4.12.1	Propósito	105
4.12.2	Aplicaciones	105
4.12.3	Información Requerida	105
4.12.4	Procedimiento para la Ejecución	105
4.12.5	Resultados	106
4.12.6	Tiempos Estimados para la Ejecución	106
<b>5.</b>	<b>CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE TÉCNICAS DE EVALUACIÓN DE RIESGOS</b>	<b>108</b>
5.1	Factores que Influyen en la Selección de Técnicas de Evaluación de Riesgos	109
5.1.1	Definición del Sistema	110
5.1.1.1	Inspección Física	110
5.1.1.2	Aspectos Generales de la Compañía	110
5.1.1.3	Aspectos del Medio Natural y Socioeconómico de la Zona	110
5.1.1.4	Características de los Productos	111
5.1.1.5	Análisis Técnico del Proceso	111
5.1.1.6	Análisis del Sistema de Seguridad	111
5.1.2	Identificación de Riesgos	111
5.1.2.1	Motivo de un Estudio de evaluación de Riesgos	112
5.1.2.2	Tipo de Resultados Requeridos	113
5.1.2.3	Tipo de Información Requerida para Desarrollar el Análisis	114
5.1.2.4	Características del Análisis del Problema	114
5.1.2.5	Riesgos Percibidos del Proceso o Actividad	115
5.1.2.6	Recursos Disponibles y Preferencias	116
5.1.3	Modelización de los Eventos Probables de Riesgo	119
5.1.4	Evaluación de las Consecuencias Generadas por los Riesgos	122
5.1.4.1	Aceptabilidad del Riesgo	124
5.1.5	Toma de Decisiones	124
5.1.5.1	Implementación de Acciones Recomendadas	126
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>131</b>
<b>ANEXO I</b>	<b>Guías para la Elaboración de Informes de Riesgo en sus tres Modalidades</b>	<b>136</b>
<b>ANEXO II</b>	<b>Datos de Frecuencias de Falla de Algunos Componentes</b>	<b>159</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		<b>164</b>

## ACRÓNIMOS

AIT	Temperatura de Autoignición (Autoignition Temperature)
BLEVE	Explosión de un Líquido en Ebullición con desprendimiento de Vapores en Expansión (Boiling Liquid Expansion Vapor Explosion)
CAS	Chemical Abstracts Service
CCA	Análisis Causa-Consecuencia (Cause-Consequence Analysis)
CCT	Concentración de Corto Tiempo
COAAPPA	Comité de Análisis y Aprobación de los Programas de Prevención de Accidentes
CPT	Concentración Ponderada en el Tiempo
DDT	Transición de Deflagración a Detonación (Deflagration to Detonation Transition)
DFP	Diagrama de Flujo de Proceso
DGNA	Dirección General de Normatividad Ambiental
DTI	Diagrama de Tubería e Instrumentación
ETA	Análisis Árbol de Eventos (Event Tree Analysis)
FMEA	Estudio de los Modos de Falla y Efectos (Failure Modes & Effects Analysis)
FTA	Análisis Árbol de Fallas (Fault Tree Analysis)
HAZOP	Estudio de Riesgo y Operabilidad (Hazop & Operability Analysis)
HRA	Análisis de la Confiabilidad Humana (Human Reliability Analysis)
IDLH	Inmediatamente Peligroso a la Vida o la Salud (Immediately Dangerous to Life or Health)
INE	Instituto Nacional de Ecología
LFL	Límite Inferior de Flamabilidad (Low Flammability Limit)
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
LOC	Concentración Límite de Oxidante (Limit Concentration Oxidant)
PFPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
PHAST	Process Hazard Analysis Safety Tool
PLGE	Plano de Localización General de Equipo
PP	Presión de la Planta
PPA	Programa para la Prevención de Accidentes
SEMARNAP	Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
SIA	Secretaría de Impacto Ambiental
SIRIA	Sistema de Información Rápida de Impacto Ambiental
SIT	Temperatura de Ignición Espontánea (Spontaneous Ignition Temperature)
SJM	Sistema Jurídico Mexicano



**SRA**  
**TLV's**  
**UFL**  
**VCE**

**Secretaría de Riesgo Ambiental**  
**Threshold Limit Value**  
**Límite Superior de Flamabilidad (Upper Flammability Limit)**  
**Explosión de una Nube de Vapor (Vapor Cloud Explosion)**

## DEFINICIONES GENERALES

**ACCIDENTE.** Es una secuencia específica de eventos no planeados que resulta de una consecuencia indeseable y que puede causar daños a personas, propiedades o pérdida de proceso.

**CONSECUENCIA.** La dirección o el resultado no deseado de un accidente, el cual puede dar origen a la producción de fuego, explosión o la liberación de material tóxico.

**DAÑO.** Es el resultado del contacto de una sustancia o una fuente de energía por encima del límite crítico del cuerpo humano, equipo o estructura, sea en forma inmediata o a largo plazo.

**EVALUACIÓN DE RIESGO.** La evaluación de riesgos se puede definir como un grupo de metodologías que ayudan a identificar y analizar el significado de los peligros asociados a un proceso o actividad, a través de la detección de debilidades en el diseño y operación del sistema que tienen el potencial de causar una liberación accidental de sustancias tóxicas, fuego o explosiones. Además, proporcionan elementos útiles para la adecuada toma de decisiones de tipo preventivo y/o correctivo para mejorar las condiciones de seguridad y para tener un buen manejo de los riesgos asociados a cualquier operación.

**EVENTO.** Es un suceso referido al funcionamiento del equipo, a la acción humana o a un acontecimiento externo al sistema, el cual puede causar contratiempos en el mismo. Este suceso puede o no ser causa de un incidente y/o accidente.

**FACTORES HUMANOS.** Es una disciplina concerniente con el diseño de máquinas, operaciones y ambientes de trabajo para conjuntar las capacidades, limitaciones y necesidades del ser humano.

**FRECUENCIA.** Es el número esperado de eventos por unidad de tiempo.

**INCIDENTE.** Es un suceso no deseado que bajo ciertas circunstancias ligeramente distintas, podrían haber causado daños a personas, propiedades o pérdidas en el proceso.

**PELIGRO.** Es una condición inherente, física o química de un material, que tiene el potencial para causar daño al personal, propiedades o ambiente.

**PLUMA.** Es la trayectoria que siguen los gases y/o humos, en forma continua, a la salida de una chimenea industrial o fuente de emisión.

**PUFF O BOCANADA.** Un puff tridimensional o burbuja esta formado por la masa de una sustancia que es liberada a la atmósfera en unos cuantos segundos, tal como una nube de gas provocada por una explosión o ruptura de una esfera de almacenamiento.

**RIESGO.** Es el producto de la probabilidad de que ocurra un accidente y las consecuencias que éste ocasionaría.

**SISTEMA DE MITIGACIÓN.** Equipo y/o procedimientos diseñados para interferir con la propagación de un incidente y/o reducir las consecuencias de éste.

**SISTEMA DE PROTECCIÓN.** Son dispositivos que se utilizan para mitigar los efectos de un accidente.

**SUSTANCIA PELIGROSA.** Es todo aquél material que posee propiedades tóxicas, inflamables y/o explosivas.

**VULNERABILIDAD.** Grado en que puede recibir un daño o en que puede ser atacado un sistema. Grado de resistencia de un sistema a una situación adversa.

## INTRODUCCIÓN

Nos movemos en nuestro ambiente diario sin entender casi nada acerca del mundo. Dedicamos poco tiempo en pensar en el mecanismo que genera la luz solar para hacer posible la vida, y por consiguiente en aquellos mecanismos que hacen posible la alteración de esta existencia que inclusive abarca la muerte misma.

Un aspecto muy lamentable es que la humanidad tiene muy arraigada una actividad correctiva, es decir, que toma acciones después de que se presentan los acontecimientos, en lugar de tomar la iniciativa para prevenir dichos acontecimientos. Esto se ve claramente en la actividad industrial donde ha sido necesaria la ocurrencia de accidentes industriales de gran magnitud para que se llevara a cabo la legislación sobre la adopción de medidas de seguridad a las empresas que realicen actividades con posibilidades de ocasionar accidentes mayores. Esto actualmente, ha comprometido a las empresas a posicionarse en un nivel alto de seguridad con la finalidad de asumir la responsabilidad de generar productos de alta calidad y, de manera más importante, la de proteger la integridad de sus empleados, vecinos y medio ambiente que les rodea. Así, para lograr este objetivo, es necesario utilizar una serie de metodologías conocidas en su conjunto como Técnicas de Evaluación de Riesgos. Algunos se sienten incómodos con cuestiones de este tipo porque nos muestran vívidamente las limitaciones del entendimiento humano.

La industria química es una industria preocupada por la innovación, ya que en ella se desarrollan nuevos procesos y productos, lo que en ocasiones tienen como consecuencia operar a altas temperaturas, presiones y medios tóxicos. Dentro de ésta existe una creciente preocupación por aplicar métodos sistemáticos para minimizar los peligros potenciales en sus procesos químicos. La sociedad en general, reclama a la industria una mayor seguridad y protección del medio ambiente.

Cuando algo nuevo o distinto a lo usual se efectúa en la industria existe el riesgo de que alguna parte del proceso no se comporte conforme a lo esperado. Esta desviación podría tener efectos muy serios en alguna otra parte del proceso.

Por tanto, se hace necesaria la aplicación de una técnica de evaluación de riesgos capaz de lograr identificar aquellos peligros que puedan transformarse en riesgos para el personal, la planta y el medio ambiente.

El presente trabajo no tiene como finalidad convertir al lector en un experto en la selección y aplicación de metodologías para analizar los riesgos presentes en las plantas industriales. Más bien, se pretende que tenga el conocimiento básico de cada una de las metodologías de mayor uso dentro de la evaluación de riesgos, así como los criterios de selección recomendados para elegir la técnica más adecuada sin perder de vista que personal experimentado sea tomado en cuenta para conseguir los resultados deseados.

En este escrito el lector podrá introducirse en los aspectos generales, los objetivos y las limitaciones de un estudio de riesgos, para poder tener un panorama de las implicaciones de los riesgos y peligros dentro de un contexto social.

Posteriormente, se presentan los aspectos jurídicos aplicables en materia de riesgo incluyendo los procedimientos legales necesarios para presentar estudios.

Los escenarios de riesgo son parte fundamental para comprender de una manera más clara la importancia que tiene la aplicación de las metodologías para evaluar riesgos en instalaciones industriales. Es por ello que se describen de una manera general los escenarios principales que pueden conducir a situaciones de accidentes potenciales.

En los capítulos finales se presentan resúmenes de las técnicas de evaluación más comunes que se emplean para detectar situaciones riesgosas. En estas se intenta dar un panorama básico de la manera en que se utilizan, así como el tipo de resultados que generan teniendo como objetivo que el lector conozca en forma general su aplicación. Una vez que se tiene conocimiento de cada una de las técnicas es importante saber cual es la más adecuada para los objetivos que se persiguen en el estudio, por esta razón se pretende que el lector conozca los criterios más relevantes que se toman en consideración para seleccionar sistemáticamente aquella o aquellas técnicas que cubran las necesidades para las cuales se implementó el estudio de riesgos, recalcando que la persona más indicada para efectuar la selección definitiva es un especialista en la aplicación de dichas técnicas.

También se mencionan algunos aspectos generales sobre la modelación de los eventos de riesgo más probables, la evaluación de las consecuencias generadas por los riesgos así, como algunos criterios para la toma de decisiones.

# CAPITULO 1

## ASPECTOS GENERALES DE UN ESTUDIO DE RIESGOS

La evolución de la industria en México no ha sido sustentada en una política claramente definida, a pesar de ser un rasgo característico importante para el desarrollo económico y la creación de empleos de un país (el líder es el reflejo de su pueblo). Esto se ve reflejado en los diferentes ritmos de expansión, tanto entre países como entre las mismas industrias de un solo país. No se debe únicamente al desarrollo de una política, sino que destacan otros rasgos como:

- Una concentración territorial elevada.
- Una desarticulación entre ramas y sectores con una insuficiencia en la producción de bienes de capital e insumos intermedios que se expresa como una dependencia externa para su abasto.
- Un retraso tecnológico por la débil generación e incorporación de innovaciones que se traduce, en problemas de productividad y competitividad.
- Una amplia corrupción de las autoridades en cada uno de los sectores involucrados en el desarrollo de la economía del país.
- Poca preparación de los responsables de la creación de planes y programas que beneficien a toda la sociedad en los aspectos económicos y sociales.
- Un altísimo crecimiento de la economía informal, lo cual ha ocasionado un grave deterioro en el crecimiento económico y social en relación al esquema del primer mundo.
- Descuido de los mercados de consumo por parte de los empresarios, ya que están en el negocio sin tener conocimiento o creatividad o ambos.

Aún cuando los índices de industrialización ya no se estén incrementando y el papel que desempeñan los servicios es cada vez más importante, la industria en

general sigue siendo determinante en el crecimiento económico de cualquier nación.

Ser libre es una de las metas universales que ha sido común desde el instante que el hombre existe. El deseo de sentirse seguro siempre ha sido parte íntima de la naturaleza humana. Sin embargo, esto no es lo único para cubrir todas las necesidades. El ser humano continuamente busca la forma de satisfacer sus deseos sin importar que tanto se afecta al medio ambiente, y sin darse cuenta que el satisfacer estas necesidades lo lleva a olvidarse de aquellos aspectos que involucran su seguridad personal.

Los ecosistemas por sí solos son un medio seguro para cualquier integrante de él (refiriéndose al equilibrio natural) ya que estos se mantienen estables y productivos cuando no existe una actividad distinta a su funcionamiento específico. Debido a que el hombre ha abusado de todas las ventajas que esto representa, ha propiciado un desequilibrio ecológico llegando a poner en riesgo su propia existencia.

La energía es parte importante para el mantenimiento de las relaciones que se dan en un sistema ecológico. El ser humano por tanto, ha tratado de crear y ha creado medios energéticos para poder cumplir con esta ley natural. Sin embargo, las relaciones de producción, la distribución de la población (cada vez más creciente y demandante), la relación permanente del hombre con la naturaleza, la implementación de recursos energéticos de mala calidad (para la rápida satisfacción de las necesidades del ecosistema), inciden en forma primordial en el medio ambiente, modificándolo en función de las necesidades que surgen de la organización social, las decisiones políticas, los sistemas de producción, la explotación de recursos, etc., lo cual se ha convertido en una gran amenaza para el planeta reflejándose en la destrucción de la capa de ozono.

En otras palabras, se debe mantener un equilibrio dinámico, esto es, la cantidad de producción o de productores debe ser mayor que la cantidad de consumo o de consumidores, siguiendo una filosofía de creación y conservación. Cuando se rompen estas proporciones se da un desequilibrio. Debido a que la producción está íntimamente ligada al entorno del hombre, se genera una gran cantidad de intereses económicos. Esto lleva a la explotación intensiva e irracional con el único fin de obtener un alto rendimiento económico ocasionando, como ya se ha mencionado, la destrucción de una gran cantidad de los recursos naturales.

Como consecuencia de la industrialización, el requerimiento de energía y el alto crecimiento de la población se ha generado un riesgo visible a la biosfera. Las posibilidades potenciales de que se produzca un accidente importante debido al aumento de la producción, el almacenamiento y el empleo de sustancias

peligrosas, implican la necesidad de un enfoque bien determinado y sistemático, si se quieren evitar grandes catástrofes

Las situaciones altamente peligrosas junto con los cambios normativos han generado que las empresas comenzaran a desarrollar esfuerzos propios de control por medios directos o con el apoyo de empresas consultoras, sobre todo en lo que se refiere a las evaluaciones de impacto ambiental, a las auditorías y a la evaluación de riesgos; lo cual se ha intensificado con la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio (TLC) en 1994, en forma consecuente con el nuevo contexto de exigencias de calidad ambiental para la industria (y que conlleva a la generación de calidad en todos los aspectos)

### **1.1 OBJETIVOS DE UNA EVALUACIÓN DE RIESGOS**

La constante evolución de la tecnología para el mejor aprovechamiento de los medios energéticos ha traído como consecuencia la generación de escenarios riesgosos que pueden conducir a desastres potenciales. Como una necesidad generada por el rápido desarrollo de la competencia industrial y también como una manera de evitar los desastres potenciales se ha buscado la vía de identificar y, de ser necesario cuantificar los riesgos y sus alcances en plantas industriales. En base a esto la evaluación de riesgos se puede definir como un grupo de metodologías que ayudan a identificar y analizar el significado de los peligros asociados a un proceso o actividad, a través de la detección de debilidades en el diseño y operación del sistema que tienen el potencial de causar una liberación accidental de sustancias tóxicas, fuego o explosiones. Además, proporcionan elementos útiles para la adecuada toma de decisiones de tipo preventivo y/o correctivo para mejorar las condiciones de seguridad y para tener un buen manejo de los riesgos asociados a cualquier operación.

La evaluación de riesgos, debe ser parte importante de la política ambiental de un país, ya que ésta de alguna manera ocasiona que la industria o el desarrollo industrial mejore y aproveche más eficientemente los recursos e incluso ayude a eliminar los elementos que afectan al medio ambiente. Desde el punto de vista de seguridad se debe contemplar que cada persona viva y trabaje bajo condiciones en que los riesgos sean conocidos y controlados en un nivel aceptable

Debido a que ha sido muy acelerado el cambio de la industria, tecnológicamente hablando, se ha incrementado el número de individuos que pueden estar expuestos a incidentes riesgosos, esto ha establecido la necesidad de tener un contacto continuo con los problemas de seguridad para que las experiencias previas puedan servir como guía. Es a partir de esto que se derivan los objetivos generales que se persiguen en un análisis de riesgos. Estos son:



1. Conocer el estado de seguridad que guarda la empresa y los peligros latentes que amenazan su capacidad productiva.
2. Proteger a la empresa de pérdidas intangibles a consecuencia de una situación de emergencia o la ocurrencia de un siniestro.
3. Evitar hasta donde sea posible la interrupción de la capacidad productiva de la empresa.
4. Modelizar los eventos de riesgo lo más cercano a la realidad.
5. Evaluar las consecuencias generadas por los riesgos.
6. Establecer un marco comprensivo para la toma de decisiones y de esta manera incrementar la confiabilidad de las instalaciones.
7. Cumplir con los requerimientos legales.

Sin embargo, se debe estar consciente de que, incluso en un estudio de evaluación de riesgos de la más alta calidad y eficiencia se tienen ciertas limitaciones:

- Nunca se puede estar completamente seguro de que se han identificado todos los riesgos y peligros, situaciones de accidentes potenciales, causas y efectos.
- La mayoría de las veces los resultados y beneficios de la ejecución de un estudio de riesgos no se puede verificar directamente. Los beneficios económicos que se pueden obtener de accidentes que han sido prevenidos no pueden ser estimados realmente.
- Estos estudios se basan en conocimientos existentes de operaciones y procesos. Si los procesos químicos no se conocen adecuadamente, si los diagramas relevantes o los procedimientos no son adecuados, o si los conocimientos disponibles del proceso no reflejan el comportamiento actual de la operación, los resultados del estudio pueden ser invalidados. Esto podría conducir a los dirigentes a tomar malas decisiones en el manejo de riesgos.
- La evaluación de riesgos depende en gran medida del juicio subjetivo, consideraciones y experiencia del analista. Esto da como resultado que cuando se estudia un proceso por diferentes analistas se pueden generar resultados diferentes.
- La realización de evaluaciones de riesgos de alta calidad a través de la vida de un proceso no puede garantizar que no ocurrirán accidentes. Sin embargo, cuando son usadas como parte de un programa de seguridad efectivo, las técnicas de evaluación de riesgos pueden proporcionar datos valiosos a los dirigentes que están decidiendo como reducir el riesgo de las operaciones químicas. Con tales programas, las organizaciones pueden estar bien posicionadas en su esfuerzo por mejorar continuamente la seguridad de sus procesos.
- La naturaleza inherente de algunas técnicas de evaluación de riesgos hace que los resultados sean difíciles de comprender y de poder usarlos.

Para poder establecer de una manera más adecuada los objetivos de un estudio de evaluación de riesgos se deben considerar los aspectos de:

- Planeación y administración del riesgo
- Económicos
- Humanos
- Sociales
- Impacto ambiental y,
- Jurídicos

### 1.1.1 ASPECTOS DE PLANEACIÓN Y ADMINISTRACIÓN

El análisis de riesgos debe estar perfectamente planeado, organizado y sistematizado, lo cual debe ser establecido por el dirigente de una empresa consciente de la necesidad de aplicar medidas para proteger el patrimonio humano, moral y físico de su empresa, también debe reconocer que la conservación es un problema de organización, control, comunicación y motivación a todos los niveles.

En este sentido, la dirección desempeña el papel esencial en la organización y aplicación de un sistema de control contra los riesgos de accidentes potenciales.

En particular, incumbe a la dirección:

1. Proporcionar información necesaria para determinar aquellas instalaciones que presenten peligros potenciales.
2. Llevar a cabo la evaluación del riesgo.
3. Informar a las autoridades de los resultados de la evaluación del riesgo.
4. Establecer un plan de emergencia y,
5. Adoptar medidas para mejorar la seguridad de la planta.

Para llevar a la práctica los puntos anteriores se deben ejecutar los siguientes principios administrativos:

**Definición de Políticas.** Considerando que el estudio de riesgos surge a iniciativa del dirigente de una empresa, el primer paso consistirá en formular una política que se adapte a las necesidades de cada organización, en la cual se establezcan los objetivos y las metas que se desean lograr con el desarrollo del estudio. Esta política debe establecerse y comunicarse por escrito, de tal modo que su significado sea comprendido por todos los niveles de la empresa, haciendo un especial énfasis de los beneficios que se derivan de la implementación de una evaluación de riesgos, tanto para la empresa como para las personas que colaboran en ella.

**Asignación de responsabilidades.** Requiere de una persona responsable ante la dirección de la empresa que se encargue de implementar y poner en práctica dicha política.

**Planeación.** En este punto se debe hacer la investigación y análisis de procesos, equipo y maquinaria, recursos humanos, sistemas preventivos y de seguridad, programas de mantenimiento y características operativas de la empresa, todo ello con la finalidad de poder detectar los peligros latentes que puedan causar perjuicios o daños a las personas o interrumpir la capacidad productiva.

Posteriormente, se debe trazar un plan de acción en el que intervengan administradores, personal técnico, encargados de seguridad, etc., para estar seguros de que están consideradas todas las medidas preventivas para el mantenimiento y operación normal de la planta, así como las necesarias para los nuevos procesos e instalaciones.

**Participación, Capacitación y Entrenamiento.** Una vez formulado el plan de acción y asignadas las responsabilidades se debe proceder al entrenamiento y capacitación de la organización, así como a la participación y motivación de todo el personal para que tome parte activa en la prevención de riesgos.

**Continuidad.** Es necesario contar con un sistema de prevención y vigilancia de tal forma que se asegure la continuidad y el buen funcionamiento del plan de acción. También debe establecerse una comunicación abierta entre los diferentes departamentos, efectuando periódicamente juntas y reuniones del personal, así como un sistema de control que mantenga informados a todos los ejecutivos de los avances y desarrollos logrados.

### 1.1.2 ASPECTOS ECONÓMICOS

El estudio de riesgos brinda muchas ventajas desde el punto de vista económico, tanto al personal que labora en una empresa como a esta misma. Entre las principales pueden considerarse:

1. Contribuye a una mayor estabilidad de las empresas, lo que redundará en el desarrollo mismo de la empresa y creación de nuevas fuentes de trabajo.
2. Es un medio para reducir primas y cuotas, cumpliendo con requisitos de las compañías aseguradoras del Instituto Mexicano del Seguro Social, de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, de la Secretaría de Salud, etc.
3. Evita o reduce al mínimo las pérdidas de la empresa en sus activos fijos a consecuencia de falta de programas adecuados de conservación y mantenimiento o a causa de temblor, incendio, explosión, interrupción de energía eléctrica, inundaciones, etc.
4. Evita pérdidas intangibles que en ocasiones pueden ser tan grandes que de ellas dependa la continuidad de la producción y hasta la supervivencia.

misma de la empresa. Estas pérdidas son muy difíciles de cuantificar y entre las más importantes se pueden considerar:

- La imagen de la empresa.
- La pérdida del mercado
- Los perjuicios ocasionados a clientes y consumidores, al no cumplir con los compromisos contraídos
- La posición y el prestigio de la empresa ante sus proveedores.
- La situación financiera de la empresa.

### 1.1.3 ASPECTOS HUMANOS

Se reconoce que las fallas en el elemento humano son el factor más importante que debe considerarse para tener éxito en la conservación y protección del mismo, como un problema de personas, organización, control y motivación, por lo que deben existir medios para la difusión, instrucción y capacitación, de todo el personal en general, en materia de prevención de riesgos

### 1.1.4 ASPECTOS SOCIALES

La paralización de las actividades o la interrupción de la producción no solo afecta a la empresa y trabajadores que laboran en ella, sino que repercute con gran impacto en la comunidad, dado que uno de los objetivos principales de la empresa es llenar una necesidad social.

El rápido aumento del empleo de sustancias químicas peligrosas en la industria y el comercio ha producido un considerable incremento en el número de personas, tanto trabajadores como ciudadanos en general, cuya vida podría estar en peligro en cualquier momento debido a un accidente ocasionado por estas sustancias. El rápido ritmo de avance de la tecnología moderna da menos posibilidades de aprender por medio de pruebas sucesivas, lo que hace cada día más necesario que el diseño de los procedimientos de explotación sean correctos desde el principio. Sin embargo, en la industria química, las salvaguardas no se limitan a los talleres de la fábrica. La preocupación pública por las múltiples lesiones y muertes que causan los accidentes potenciales como una gran explosión, invariablemente dan origen a peticiones de una mayor prevención y regulación en materia de riesgos en los planos nacional e internacional.

Por consiguiente, en particular con respecto a proyectos que entrañan el almacenamiento y uso de sustancias peligrosas, conviene abordar el problema de la seguridad en el lugar mismo y fuera del lugar al decidir qué medidas de seguridad se han de aplicar.

### **1.1.5 IMPACTO AMBIENTAL**

Los riesgos industriales graves están relacionados con la posibilidad de incendio, explosión o dispersión de sustancias químicas tóxicas, que por lo general entrañan el escape de material de un recipiente seguido, en el caso de sustancias volátiles, de una evaporación y dispersión. Entre los accidentes relacionados con los riesgos potenciales cabe mencionar los siguientes:

- Escape de material inflamable, mezcla del material con el aire, formación de una nube de vapor inflamable y arrastre de la nube hasta una fuente de ignición, lo que provocará un incendio o una explosión y esto afectará el lugar y zonas pobladas
- Escape de material tóxico, formación de una nube de vapor tóxico y arrastre de la nube, lo que afectará directamente al lugar y posiblemente a los poblados

Este tipo de accidentes potenciales generan como consecuencia final incendios y explosiones los cuales conducen a un aumento significativo de niveles de contaminación del aire, agua y suelo, conduciendo a una variación de las condiciones de equilibrio de los ecosistemas marítimos o terrestres, incluso llegando hasta la muerte misma de las especies, entre ellas el ser humano, que ahí habitan. De aquí surge la necesidad de tomar las máximas precauciones en materia de riesgos y seguridad, para evitar dichas catástrofes ecológicas y ambientales.

De hecho, la normatividad nacional e internacional que se ha generado, hace énfasis particular en las implicaciones ecológicas que podrían generar un accidente potencial. Y debido a que uno de los objetivos de un estudio de riesgos es la preservación y conservación de los medios de producción, el entorno ambiental es el principal medio de producción, por lo tanto debe ser uno de los aspectos más determinantes a considerar en el análisis.

### **1.1.6 REQUERIMIENTOS JURÍDICOS**

Además de tener presentes todos los demás aspectos, se debe considerar el cumplimiento de la normatividad en materia de riesgo ambiental. En México las cuestiones de seguridad están enmarcadas en la Constitución Política y legisladas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.

El marco jurídico y los procedimientos legales para la presentación de estudios de riesgo ambiental se detallan en el siguiente capítulo.

## CAPITULO 2

### MARCO JURÍDICO

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos establece las bases sobre las que se estructura el sistema jurídico de gestión (prevención, respuesta, remediación) de los accidentes tecnológicos que involucran sustancias químicas peligrosas. Estas disposiciones se encuentran dispersas en toda la Constitución y son referidas a aspectos ambientales a determinadas actividades que puedan generar efectos negativos en el ambiente, los recursos naturales, la salud humana y al patrimonio cultural, entre otros.

A partir de estos preceptos ( y otros más) se han emitido un conjunto de leyes, las cuales son reglamentarias de la Constitución, en ella se encuentra el sustento para la regulación en materia de prevención, control y atención de accidentes químicos.

En el universo del derecho, la Constitución es la Ley fundamental en un país, porque contiene las decisiones políticas, económicas y sociales que un pueblo ha tomado a través de su historia, la forma en que ha resuelto organizarse, funcionar y defender sus libertades esenciales, tanto individuales como, en el caso de México, sociales.

Es la Ley fundamental porque de ella emanan todas las demás leyes y no puede haber ninguna otra por encima de ella.

#### 2.1 SISTEMA JURÍDICO MEXICANO

La base del Sistema Jurídico Mexicano (SJM) se encuentra en la Constitución Política, de donde derivan las normas jurídicas específicas, siguiendo una

jerarquización de tal forma que una valida y fundamenta a otra, y esta a su vez da origen a otra u otras

De los diversos artículos, fracciones e incisos que la conforman, emanan los siguientes ordenamientos

- A. Leyes reglamentarias de la Constitución
  - I. Leyes reglamentarias de artículos constitucionales
  - II. Leyes que emanan de conceptos constitucionales
- B Reglamentos
  - I. Expedidos por el Ejecutivo
  - II. Reglamentos autónomos

**Las Leyes.** Colocadas en un nivel jerárquico en nuestro Sistema Jurídico, las leyes son normas generales y permanentes derivadas de la Carta Magna, con la que deben guardar congruencia y no contradecirla, contrariarla, rebasarla o modificarla. Al ser aplicables a toda persona o situación que quede incluida dentro de lo que disponen, las leyes son generales ya que no se refieren a ninguna persona o caso particular. Los destinatarios están señalados por circunstancias abstractas. A quien realice el supuesto, se le aplica la Ley.

En nuestro Sistema Jurídico, la Ley es fuente autónoma, creadora de obligaciones en aquellos casos en que se considera un hecho material, independiente de toda voluntad del ser humano, y hace que se generen consecuencias de derecho.

**Los Reglamentos.** En segundo nivel dentro de la escala jerárquica del SJM están los reglamentos. Estos comprenden las disposiciones legislativas expedidas por el poder ejecutivo para el desarrollo e instrumentación de las disposiciones legales. Es decir, por lo general el reglamento deriva de una ley a la cual complementa y amplía en sus principios.

Por otro lado, existen reglamentos que no necesariamente tienen una referencia legal directa, y que son denominados reglamentos autónomos, como en el caso de los expedidos para la jurisdicción del Distrito Federal en el que no existe congreso local.

Los titulares de la Administración Pública de las áreas reguladas son los directamente responsables de la forma y contenido de los reglamentos correspondientes. A propuesta de estos, el Ejecutivo promulga los reglamentos y decretos, mismos que pueden ser modificados mediante decreto, tanto por los titulares de la Administración Pública como por el propio Ejecutivo.

**Las Normas** El tercer nivel de esta jerarquización está ocupado por las normas. En esencia son resoluciones de control ejercidas específicamente en el ámbito administrativo, al provenir de decisiones emitidas por una o varias autoridades de la Administración Pública, en algunos casos son producto de un estudio particular de normalización, aprobado por una autoridad reconocida (SECOFI), con objeto de evitar conflictos que pudieran surgir en casos concretos.

A partir de la entrada en vigor de la Ley General sobre Metrología y Normalización (16 de julio de 1992) se hizo necesario replantear todas las normas técnicas obligatorias publicadas previamente. Con este replanteamiento se advierte que la expedición de Normas Oficiales Mexicanas de carácter obligatorio requiere una fundamentación científico-técnica y/o de protección al consumidor. Del mismo modo, se hace necesario especificar los beneficios potenciales de cada norma, que incluyen los intangibles y no cuantificables monetariamente, identificar a los beneficiarios, especificar los costos potenciales y explicar por qué se considera que esa norma constituye la mejor opción para alcanzar el objetivo específico que se persigue.

## **2.2 ANTECEDENTES DE LEGISLACIÓN AMBIENTAL**

El análisis histórico de la legislación ambiental debe ser consecuente con el desarrollo de la legislación sanitaria tomando en cuenta que comparten el mismo objetivo: la salud pública (debido a que a partir de esta iniciativa surgen los reglamentos en materia de riesgos, es que se mencionan). El desequilibrio de los ecosistemas, la pérdida de la biodiversidad, la contaminación ambiental, aparte de sus consecuencias económicas, sociales y culturales, impactan a corto plazo la capacidad de sobrevivencia, el potencial productivo, la calidad de vida y la salud misma de la población.

El concepto de salubridad general fue incorporado a nuestra Constitución Política desde 1908 y se refiere precisamente a las condiciones sanitarias del medio ambiente.

En 1881 el Consejo Superior de Salubridad elaboró el proyecto de reglamento de las fábricas, industrias, depósitos y demás establecimientos peligrosos, insalubres e incómodos del Distrito Federal. En este primer esfuerzo de higiene industrial el Consejo adopta una política de prevención de riesgos en lugar de sistemas represivos.

El primer Código Sanitario se genera en 1891 sustentado en acciones de salubridad general para la prevención de enfermedades provocadas por agentes ambientales.



### **2.2.1 BASES CONSTITUCIONALES**

En la sesión del 9 de enero de 1917, ante el Congreso de Querétaro, se presentó una adición a la fracción XVI del artículo 73, que sin reforma alguna posterior, conserva en la actualidad la referida fracción XVI.

La primera disposición incorporada a nuestra Constitución con relación a la actividad del estado en materia de conservación del ambiente se encuentra en el tercer párrafo del artículo 27- "el aprovechamiento de los elementos naturales de apropiación con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana." Aunque orientado al fomento de la actividad productiva, otorga un amplio sustento legal a la protección de los recursos naturales al disponer que la nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público así como el de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los recursos naturales susceptibles de apropiación, con objeto de contribuir a una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidando su conservación y buscando el desarrollo equilibrado del país y mejorando la calidad de vida de la población

Con base en este proyecto constitucional y en el modelo de crecimiento económico adoptado por México a partir de esa época, se expidieron diversos ordenamientos jurídicos como las Leyes Federal de Agua, Pesca, Caza y de Conservación del Suelo y Agua, así como la Ley Forestal en los que cada uno de los recursos naturales es objeto de una protección jurídica específica

En 1983 fue agregado el párrafo 6 del artículo 25 constitucional que se refiere al uso, en beneficio general, de los recursos productivos cuidando su conservación y el medio ambiente, como condición para apoyar e impulsar a las empresas de los sectores social y privado de la economía.

En el artículo 4º - "Toda persona tiene derecho a la protección de la salud"- el derecho a un medio ambiente adecuado está en cierto modo comprendido en el llamado Derecho a la Protección de la Salud, que fue incorporado a la Constitución Política como parte de las modificaciones que entraron en vigor en 1983. El derecho a la protección de la salud comprende de manera parcial, el derecho a un medio ambiente sano, en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.

En la tabla 2 1 se mencionan los artículos Constitucionales que aplican en materia de riesgo ambiental

**Tabla 2.1. Artículos de la Constitución que enmarcan la gestión de los accidentes químicos**

**Art. 4.** " Toda persona tiene derecho a la protección de la salud "

**Art. 25.** " Bajo criterios de equidad social y productividad, se apoyará e impulsará a las empresas de los sectores social y privado de la economía, sujetándolas a las modalidades que dicte el interés público y al uso en beneficio general de los recursos productivos, cuidando su conservación y el medio ambiente "

**Art. 27. Párrafo Tercero**

" el aprovechamiento de los elementos naturales de apropiación con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana...  
" y regular la fundación, conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población para preservar y restaurar el equilibrio ecológico. "

**Art. 73. Fracción XXIXG**

" Para expedir leyes que establezcan la concurrencia del Gobierno Federal, de los gobiernos de los Estados y de los Municipios, en el ámbito de sus respectivas competencias, en materia de protección al ambiente y de preservación y restauración del equilibrio ecológico "

Fracción XVI

" para dictar leyes sobre salubridad general de la República "

**Art. 123. Fracción XIII**

" Las empresas, cualquiera que sea su actividad, estarán obligadas a proporcionar a sus trabajadores capacitación o adiestramiento para el trabajo. "

Fracción XV

" El patrón estará obligado a observar, de acuerdo con la naturaleza de su negociación, los preceptos legales sobre higiene y seguridad en las instalaciones de su establecimiento, y adoptar medidas adecuadas para prevenir accidentes en el uso de las máquinas, instrumentos y materiales de trabajo "

## 2.2.2 LAS LEYES AMBIENTALES

En 1971 se expide el primer Ordenamiento Jurídico Mexicano de naturaleza ambiental con disposiciones en materia de aire, aguas y suelos y con énfasis en la contaminación de dichos elementos, todo esto quedando plasmado en la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental. Dirige sus regulaciones hacia el control de los contaminantes y sus causas, cualesquiera que sea su procedencia u origen, que en forma directa o indirecta sean capaces de producir contaminación o degradación de sistemas ecológicos. Su aplicación estaba conferida a la entonces Secretaría de Salubridad y Asistencia y al Consejo de Salubridad General.

Con el propósito de reforzar las acciones de mejoramiento ambiental a cargo de la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente, creada el 30 de enero de 1972, se promovieron dos ordenamientos legales: la Ley General de Población a efecto de regular la planeación demográfica y contribuir a las tareas de mejoramiento ambiental, y la Ley General de Asentamientos Humanos con el objeto de normar la planeación de los recursos naturales y las condiciones ecológicas.

Se emitieron, también, los primeros reglamentos relativos a la prevención y control de la contaminación:

- Reglamento para el control y prevención de la contaminación de las aguas.
- Reglamento para el control y prevención de la contaminación atmosférica originada por humos y polvos.
- Reglamento para prevenir y controlar la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias.

El 24 de agosto de 1978 fue creada la Comisión Intersecretarial de Saneamiento Ambiental. Esta comisión elaboró el primer programa para mejorar la calidad del aire en el Valle de México.

En 1982 se promulgó la Ley Federal de Protección al Ambiente, donde ya se incluyen artículos específicos de protección a la fauna, la flora y los ecosistemas marinos. El objetivo de esta ley es descrito por su artículo 1° que de acuerdo a la reforma de 1984 se refiere por su parte, a la conservación, protección, preservación, mejoramiento y restauración del ambiente, así como de los recursos que lo integran y, por otra parte, a la prevención y control de los contaminantes y las causas que los originan.

Dos situaciones impidieron la aplicación de esta ley, en primer término, su endeble fundamento constitucional y en segundo término, su falta de reglamentación.

Con el propósito de fortalecer la gestión ambiental, el Gobierno Federal promovió en 1983 la transferencia de la administración de los problemas ambientales del sector salud a la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, constituyendo así el sector ambiental.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), publicada en el Diario Oficial del 28 de enero de 1988, a diferencia de la ley anterior determina los criterios para la descentralización de la gestión ambiental al definir los mecanismos de concurrencia de los tres niveles de gobierno. Además se caracteriza y difiere de las legislaciones ambientales de otros países por requerir la realización de estudios de impacto ambiental a proyectos públicos o privados, así como de riesgo ambiental para cierto tipo de instalaciones y actividades. Asimismo, hace explícito que el principio de desarrollo sustentable debe guiar la política ambiental.

La integración del marco jurídico en la materia parte de que toda actividad humana conlleva a riesgos sobre el ambiente, los recursos bióticos y abióticos y la salud humana, es por ello necesario estudiar y evaluar las actividades en función de los riesgos y del costo-beneficio que implican, para permitir las o limitarlas, así como para determinar cuáles impactos y riesgos es preciso prevenir y controlar mediante las medidas regulatorias.

Este nuevo ordenamiento da facultades a los estados y municipios para prevenir y controlar la contaminación ambiental, para participar en la prevención y control de la contaminación de las aguas, en la creación de zonas de reserva de interés estatal o municipal y en el establecimiento de sistemas de evaluación de impacto ambiental en las materias que no sean de su jurisdicción federal.

A partir del 25 de mayo de 1992 la estructura gubernamental para la gestión ambiental fue modificada: la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología se transforma en la Secretaría de Desarrollo Social y su competencia en materia ambiental se distribuye por una parte, en el Instituto Nacional de Ecología con atribuciones de planeación, de normatividad y de investigación, y por otra, en la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente con atribuciones de naturaleza coercitiva a efecto de vigilar el cumplimiento de la ley, a través de sus reglamentos y normas técnicas ecológicas.

El Plan Nacional de Desarrollo para el periodo de 1995-2000 establece que "...la estrategia nacional de desarrollo busca un equilibrio entre los objetivos económicos, sociales y ambientales, de forma tal que se logre contener los procesos de deterioro ambiental, inducir un ordenamiento ambiental del territorio nacional considerando que el desarrollo sea compatible con las aptitudes y capacidades ambientales de cada región; aprovechar de manera plena y sustentable los recursos naturales a partir de una reorientación de los patrones de consumo y un cumplimiento efectivo de las leyes.

En conjunto con estas acciones se realizarán programas específicos para sanear el ambiente en las ciudades más contaminadas, restaurar los sitios más afectados por el inadecuado manejo de los residuos peligrosos entre otras acciones.

En materia de regulación ambiental, la estrategia se centrará en consolidar e integrar la normatividad y en garantizar su cumplimiento. En particular se fortalecerá la aplicación de estudios de impacto ambiental y la aplicación de evaluaciones de riesgo y el mejoramiento de la normatividad para residuos peligrosos.

### **2.3 LEGISLACIÓN EN MATERIA DE RIESGO AMBIENTAL**

Como se ha explicado anteriormente, la Constitución prevé y define los órganos administrativos encargados de ejercer y vigilar el cumplimiento de las disposiciones legales que de ella emanen, la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal establece las responsabilidades de los organismos del Ejecutivo Federal que, desde su particular competencia, regulan y actúan en las diferentes fases y aspectos de los accidentes químicos, incluyendo los relativos a la prevención y la preparación de la respuesta a emergencias.

El significativo desarrollo industrial y el creciente aumento demográfico han contribuido a que tanto la producción de sustancias químicas y materiales peligrosos como el uso masivo de ellos incrementen la posibilidad de que se ocasionen efectos adversos a la salud de la población y a la integridad del ambiente, es decir, que se produzcan riesgos. El manejo de estos riesgos implica una forma de control, el cual es definido como el mantenimiento del comportamiento de un sistema (producción, almacenamiento, transporte y disposición final) dentro de los límites deseados. Esto es una de las responsabilidades de la Secretaría de Desarrollo Social y la ejerce a través de dos de sus organismos descentralizados: la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PFPA) y el Instituto Nacional de Ecología (INE).

Al INE le corresponde determinar y establecer las normas que aseguren la conservación o restauración de los ecosistemas fundamentales para el desarrollo de la comunidad, en particular en situaciones de emergencia o contingencia ambiental y en relación con actividades riesgosas. Al respecto de estas últimas, evalúa, dictamina y resuelve los estudios de riesgo ambiental que presenten los responsables de la realización de los mismos en establecimientos en operación.

### **2.3.1 LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PROTECCIÓN AL AMBIENTE**

El 28 de enero de 1988 fue publicada en el Diario Oficial de la Federación la 'Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente' (LGEEPA) y entró en vigor el 1° de marzo del mismo año. El artículo 5, fracción X de dicha ley contempla que "es asunto de alcance general de la nación o de interés de la Federación, la regulación de las actividades que deben considerarse altamente riesgosas por la magnitud y gravedad de los efectos que puedan generar un desequilibrio ecológico al ambiente". El criterio empleado para considerar que una actividad es altamente riesgosa es el siguiente: que la acción o conjunto de acciones, ya sea de origen natural o antropogénico, que están asociadas con el manejo de sustancias tóxicas, reactivas, radioactivas, corrosivas o biológicas en cantidades tales que en caso de producirse una liberación, fuga o derrame de las mismas, o bien una explosión, ocasionen una afectación significativa al ambiente, a la población o a sus bienes.

Dentro de esta ley, los artículos del 28 al 35 se refieren a la atención de proyectos públicos y privados, los cuales deben sujetarse a la autorización previa del Gobierno Federal por conducto de la Secretaría de Desarrollo Social. A su vez, esta se hace cargo de las disposiciones por medio del INE en la Dirección General de Normatividad Ambiental (DGNA).

Todo lo anterior se refiere a proyectos nuevos, sin embargo, también se tiene contemplado regular a las industrias que ya están en operación y que se consideran de alto riesgo, para lo cual se estableció el "Programa Nacional para la Prevención de Accidentes de Alto Riesgo Ambiental" implementado el 19 de abril de 1992, en el cual se les solicita a las industrias de alto riesgo de todo el país que presenten un Programa para la Prevención de Accidentes (PPA). Como paso previo a la presentación del PPA, las industrias deben presentar un estudio de riesgo en su modalidad análisis de riesgo, directamente a la DGNA.

### **2.3.2 ARTÍCULOS DE LA LGEEPA APLICABLES EN MATERIA DE RIESGO AMBIENTAL**

#### **Art. 5**

- Fracc. IV. Acciones para preservar y restaurar el equilibrio ecológico
- Fracc. VIII. Expedición de normas
- Fracc. IX. La prevención y control de emergencias y contingencias ambientales.
- Fracc. X. La regulación de las actividades que deben considerarse altamente riesgosas.
- Fracc. XIX. Regulación de actividades relacionadas con materiales y residuos peligrosos.

**Art. 8**

Fracc. XI. Regulación de actividades que involucren materiales y residuos peligrosos  
Fracc. XVI. Proponer la adopción de medidas para la prevención y control de contingencias ambientales.

**Art. 9**

Fracc. IX. Proponer disposiciones para regular actividades relacionadas con materiales y residuos peligrosos  
Fracc. XIII. Proponer la adopción de medidas preventivas y de control de contingencias ambientales

**Art. 28.** La realización de obras o actividades públicas o privadas, que puedan causar desequilibrios ecológicos o rebasar los límites a las condiciones señaladas en los reglamentos y las normas técnicas ecológicas emitidas por la Federación para proteger al ambiente, deberán sujetarse a la autorización previa del Gobierno Federal, por conducto de la Secretaría o entidades federativas o municipales, conforme a las competencias que señala esta ley, así como al cumplimiento de los requisitos que se les impongan una vez evaluado el impacto ambiental que pudieran originar, sin perjuicio de otras autorizaciones que corresponda a las autoridades competentes

Cuando se trate de la evaluación del impacto ambiental por la realización de obras o actividades que tengan por objeto el aprovechamiento de recursos naturales la Secretaría requerirá a los interesados que en la manifestación de impacto ambiental correspondiente, se incluya la descripción de los posibles efectos de dichas obras o actividades en el ecosistema de que se trate, considerando el conjunto de elementos que lo conforman y no únicamente los recursos que serían sujetos de aprovechamiento

**Art. 29.** Corresponderá al Gobierno Federal, por conducto de la Secretaría, evaluar el impacto ambiental a que se refiere el artículo 28 de esta ley, particularmente tratándose de las siguientes materias:

- I.- Obra pública federal;
- II.- Obras hidráulicas, vías generales de comunicación, oleoductos, gasoductos y carbo ductos
- III.- Industria química, petroquímica, siderúrgica, papelera, azucarera, de bebidas, del cemento, automotriz y de generación y transmisión de electricidad,
- IV.- Exploración, extracción, tratamiento y refinación de sustancias minerales y no minerales, reservadas a la Federación
- V.- Desarrollos turísticos federales,
- VI.- Instalaciones de tratamiento, confinamiento o eliminación de residuos peligrosos, así como residuos radioactivos.

**Art. 32.** Para la obtención de la autorización a que se refiere el artículo 28 del presente ordenamiento, los interesados deberán presentar ante la autoridad correspondiente una manifestación de impacto ambiental. En su caso dicha manifestación deberá ir acompañada de un estudio de riesgo de la obra, de sus modificaciones o de las actividades previstas, consistente en las medidas técnicas preventivas y correctivas para mitigar los efectos adversos al equilibrio ecológico durante su ejecución, operación normal y en caso de accidente.

La Secretaría establecerá el registro al que se inscribirán los prestadores de servicios que realicen estudios de impacto ambiental y determinará los requisitos y procedimientos de carácter técnico que dichos prestadores deberán satisfacer para su inscripción.

**Art. 33.** Una vez presentada la manifestación de impacto ambiental y satisfechos los requerimientos formulados por la autoridad competente, cualquier persona podrá consultar el expediente correspondiente.

Los interesados podrán solicitar que se mantenga en reserva la información que haya sido integrada al expediente, y que de hacerse pública pudiera afectar derechos de propiedad industrial o intereses lícitos de naturaleza mercantil.

**Art. 34.** Una vez evaluada la manifestación de impacto ambiental, la Secretaría en los casos previstos en el artículo 29 de esta ley, o en su caso el Departamento del Distrito Federal, dictará la resolución correspondiente.

En dicha resolución podrá otorgarse la autorización para la ejecución de la obra o realización de la actividad de que se trate, en los términos solicitados; negarse dicha autorización u otorgarse de manera condicionada a la modificación del proyecto de obra o actividad, a fin de que se eviten o atenuen los impactos ambientales adversos susceptibles de ser producidos en la operación normal y aun en caso de accidente. Cuando se trate de autorizaciones condicionadas, la Secretaría o en su caso el Departamento del Distrito Federal señalará los requerimientos que deban observarse para la ejecución de la obra o realización de la actividad prevista.

**Art. 35.** El Gobierno Federal, por conducto de la Secretaría, prestará asistencia técnica a los gobiernos estatales y municipales que así lo soliciten, para la evaluación de la manifestación de impacto ambiental o del estudio de riesgo en su caso.

**Art. 145.** La Secretaría promoverá que en la determinación de los usos del suelo se especifiquen las zonas en las que se permita el establecimiento de industrias, comercios o servicios considerados riesgosos por la gravedad de los efectos que puedan generar en los ecosistemas o en el ambiente, tomándose en consideración.



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

**Art. 146.** La Secretaría de Gobernación y la Secretaría, previa la opinión de la Secretarías de Energía Minas e Industria Paraestatal, de Comercio y Fomento Industrial de Salud, de agricultura y Recursos Hidráulicos y del Trabajo y Previsión Social, determinarán y publicarán en el Diario Oficial de la Federación los listados de las actividades que deban considerarse altamente riesgosas, para efecto de lo establecido en la presente ley

**Art. 147.** La realización de actividades industriales, comerciales o de servicios altamente riesgosas, se llevará a cabo en apego a lo dispuesto por esta ley, las disposiciones reglamentarias que de ella emanen y las normas técnicas de seguridad y operación que expidan, en forma coordinada, la Secretaría y las Secretarías de Energía, Minas e Industria Paraestatal, de Comercio y Fomento Industrial de Salud y del Trabajo y Previsión Social. Para tal fin, en aquellos establecimientos en los que se realicen actividades consideradas altamente riesgosas, deberán incorporarse los equipos e instalaciones que correspondan con arreglo a las normas técnicas que se expidan

Quienes realicen actividades altamente riesgosas, elaborarán, actualizarán y, en los términos del ordenamiento correspondiente, someterán a la aprobación de la Secretaría y de las Secretarías de Energía, Minas e Industria Paraestatal, de Comercio y Fomento Industrial de Salud y del Trabajo y Previsión Social, los programas para la prevención de accidentes en la realización de tales actividades, que puedan causar graves desequilibrios ecológicos.

Cuando las actividades consideradas altamente riesgosas se realicen o vayan a realizarse en el Distrito Federal, el Departamento del Distrito Federal participará en el análisis y, en su caso, aprobación de los programas de prevención correspondientes

**Art. 148.** Las entidades federativas y los municipios regularán la realización de actividades que no sean consideradas altamente riesgosas, cuando éstas afecten al equilibrio de los ecosistemas o al ambiente de la entidad federativa, en general, o del municipio correspondiente.

**Art. 149.** La regulación a que se refiere el artículo anterior corresponderá a los municipios, cuando en la realización de las actividades no consideradas altamente riesgosas se generen residuos que sean vertidos a los sistemas de drenaje y alcantarillado de los centros de población o integrados a la basura, así como cuando se trate de actividades relacionadas con residuos no peligrosos generados en servicios públicos cuya regulación o manejo corresponda a los propios municipios o se relacionen con dichos servicios

## **2.4 PROCEDIMIENTO PARA LA PRESENTACIÓN DE ESTUDIOS DE RIESGO AMBIENTAL**

El estudio de riesgo, es el documento mediante el cual se identifican y jerarquizan los riesgos potenciales de una instalación dada, y una vez realizado esto se plantean las medidas de mitigación, control y prevención de los mismos

Es importante hacer notar que el estudio de riesgo ambiental debe distinguirse de la manifestación de impacto ambiental. El impacto ambiental está definido jurídicamente como la modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o la naturaleza. Esta conceptualización toma en cuenta las alteraciones ambientales que causan fenómenos naturales (huracanes, terremotos, nevadas, etc.). Pero hay que señalar que son las actividades humanas las que se someten a evaluación por parte del estado debido a que son las que más han incidido negativamente en el ambiente.

Las evaluaciones de impacto ambiental son estudios realizados para identificar, predecir y prevenir las consecuencias o efectos ambientales que determinadas acciones, planes, programas o proyectos puedan causar a la salud, el bienestar humano y el entorno natural. Es decir, buscar aquellos factores que afecten al ecosistema. Justamente, una de las funciones del ordenamiento ecológico y de los estudios de impacto ambiental es evitar que nuevas obras o proyectos deterioren el ambiente y causen efectos adversos, en tanto que los estudios de riesgo se aplican a las actividades o industrias que manejen o proyecten manejar sustancias altamente peligrosas en volúmenes considerados como riesgosos. Dichos estudios constituyen una herramienta en el establecimiento de pautas para prevenir y reducir las posibles afectaciones en caso de accidentes.

Por lo tanto cabe aclarar que el presente trabajo se enfoca únicamente a la evaluación de riesgos en plantas industriales, y los estudios de impacto ambiental no serán incluidos.

Un aspecto importante dentro de la política de protección al ambiente y conservación del equilibrio ecológico, lo ocupan las acciones encaminadas a prever, anticipar y controlar los daños que puedan ocasionar en el ambiente las

diversas actividades que se llevan a cabo en el proceso de desarrollo económico y social.

El ordenamiento ecológico del territorio, la evaluación del impacto ambiental, los estudios de riesgo y las acciones de vigilancia e inspección de los proyectos son instrumentos jurídico-administrativos de la gestión gubernamental utilizados para aminorar, prever y en algunos casos evitar, la continuación del deterioro y degradación acelerada de los ecosistemas, provocados por la contaminación, el manejo inadecuado de sustancias peligrosas y el aprovechamiento no sustentable de los recursos. La prevención y control de estos fenómenos es indispensable para preservar los recursos naturales de la nación y asegurar el bienestar de la población, así como para evitar y mitigar el impacto de los accidentes en plantas industriales.

**Procedimiento Administrativo Interno** El INE a través de la DGNA solicita, mediante el Procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental, la presentación de un estudio de Riesgo Ambiental. El procedimiento administrativo interno de la Subdirección de Riesgo Ambiental se basa en la siguiente clasificación:

- A) Proyectos nuevos
- B) Plantas en operación

**A) Proyectos nuevos** Los promoventes de proyectos nuevos deberán presentar un informe preventivo en la Secretaría de Impacto Ambiental (SIA), en el cual se incluyen las características generales del proyecto en sus diferentes etapas de operación y construcción. La SIA a su vez, solicita opinión a la Secretaría de Riesgo Ambiental (SRA).

Una vez ingresado el informe preventivo a la SRA se determina el nivel de estudio de riesgo que deben presentar, para lo cual se establece un plazo. Esta resolución se envía a la SIA quienes emiten un oficio en el cual se incluyen las dos resoluciones, en materia de impacto ambiental y en materia de riesgo.

Posteriormente, el promovente del proyecto presenta el estudio de riesgo requerido y una vez evaluado éste se dictamina. En caso de que el estudio no cumpla totalmente con la información requerida, se solicita al promovente la información adicional que corresponda. Este dictamen se remite nuevamente a la SIA para que se genere un dictamen único, tanto en materia de impacto como de riesgo ambiental.

**B) Plantas en operación** El día 29 de abril de 1992, se estableció el Programa Nacional para la Prevención de Accidentes de Alto Riesgo Ambiental, mediante el cual se solicita a las empresas consideradas de alto riesgo, la elaboración de un Programa para la Prevención de Accidentes, previa presentación de un estudio de riesgo en su modalidad Análisis de Riesgo. Esto con la finalidad de quedar

integradas en un organismo local de ayuda mutua entre empresas de la zona, autoridades locales y población.

El análisis de riesgo se debe presentar a las autoridades de SEDESOL locales, para que sea turnado directamente a la SRA perteneciente a la DGNA.

En el artículo 146 de la LGEEPA se establece que en el Diario Oficial de la Federación (DOF) deben publicarse las actividades consideradas de alto riesgo. Estos listados fueron publicados los días 28 de marzo de 1990 (sustancias tóxicas) y 4 de mayo de 1992 (sustancias explosivas e inflamables). Con base en estos listados se hace la clasificación de las industrias altamente riesgosas, es decir, si una empresa maneja alguna de las sustancias señaladas en los listados, en la cantidad que ahí aparece, caerá dentro de esta clasificación.

## 2.5 MODALIDADES DEL ESTUDIO DE RIESGO AMBIENTAL

El procedimiento para realizar estudios de riesgo consta de tres niveles: Informe Preliminar, Análisis de Riesgo y Análisis Detallado de Riesgo

**Informe Preliminar de Riesgo.** Tiene por objeto contar con la información suficiente para identificar y evaluar las actividades riesgosas en cada una de las fases que comprende el proyecto que dadas sus características se puedan catalogar como de bajo riesgo y con esto para poder incorporar las medidas de seguridad tendientes a evitar o minimizar los efectos potenciales a su entorno en casos de accidentes.

**Análisis de Riesgo.** En este nivel de estudio se requiere de información más precisa y extensa para el análisis y evaluación de proyectos que se pueden clasificar como de riesgo moderado.

**Análisis Detallado de Riesgo.** Aquí se requiere de toda la información detallada con el apoyo de metodologías sofisticadas de análisis de riesgo, para evaluar las posibles repercusiones que tendría una instalación de alto riesgo sobre su entorno.

Para cada una de estas modalidades existen guías para su elaboración, cuya diferencia principal es la profundidad de la información solicitada (ver anexo I). Además, estos estudios los puede elaborar el personal técnico de la empresa o consultores externos.

Los promoventes de los proyectos deben incluir en el estudio de análisis de riesgo que presentan, todos los riesgos identificados y cuantificados, así como una explicación detallada de las medidas implementadas o por implementar para la atención y prevención de los mismos.

De los riesgos clasificados como mayores, se debe presentar una modelización para determinar el radio de afectación, es decir, si el evento modelado rebasa los límites de propiedad de la empresa

## 2.5.1 CRITERIOS DE PROTECCIÓN UTILIZADOS POR EL INE EN LA EVALUACIÓN DE RIESGOS

**Afectación por sustancias tóxicas.** Se valora utilizando un índice conocido como IDLH (Inmediatamente Peligroso a la Vida o la Salud), en ppm o mg/m<sup>3</sup>, que es el valor máximo de una sustancia tóxica, al cual una persona puede escapar sin sufrir daños irreversibles a su salud, si se expone por un periodo de 30 minutos. Con este valor se determina la zona de exclusión o zona de alto riesgo.

Otro tipo de medición para sustancias tóxicas es el CPT (TLV<sub>8</sub>) y CCT (TLV<sub>15</sub>) en ppm o mg/m<sup>3</sup>, estos señalan los valores promedio máximos a los que una persona puede estar expuesta durante 8 horas o 15 minutos respectivamente, sin que dañe su salud. Con este tipo de valores se define la zona de amortiguamiento.

**Afectación por sustancias explosivas.** La SEDESOL ha establecido un valor máximo de ½ lb/in<sup>2</sup> de la onda de sobrepresión con el cual se calcula la zona de riesgo.

**Zona intermedia de salvaguarda.** En términos generales, se define como aquella zona determinada del resultado de la aplicación de criterios y modelos de simulación del riesgo ambiental, que comprenden las áreas en las cuales se presentarían límites superiores a los permisibles para la salud del hombre y afectaciones a sus bienes y al ambiente en caso de fugas accidentales de sustancias tóxicas y de presencia de ondas de sobrepresión en caso de formación de nubes explosivas, esta zona está conformada, a su vez, por la zona de riesgo y la zona de amortiguamiento.

- Zona de Riesgo. Es una zona de restricción total, en la que no se debe permitir ningún tipo de actividad, incluyendo los asentamientos humanos y la agricultura, con excepción de actividades de forestación, el crecimiento y señalamiento de la misma, así como el mantenimiento y vigilancia.
- Zona de Amortiguamiento. Es una zona donde se pueden permitir determinadas actividades productivas que sean compatibles con la finalidad de salvaguardar la población y al ambiente, restringiendo el incremento de la población ahí asentada y capacitándola en los programas de emergencia que se realicen para tal efecto.

## **2.6 PROGRAMAS PARA LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES**

El INE desde 1989 a solicitado, a quienes realizan actividades consideradas como de alto riesgo, la presentación de un Programa para la Prevención de Accidentes (PPA) el cual es analizado y evaluado en el seno del Comité de Análisis y Aprobación de los Programas para la Prevención de Accidentes (COAAPPA) donde participan las secretarías de Energía, Minas e Industria Paraestatal, de Comercio y Fomento Industrial, del Trabajo y Previsión Social, de Salud, de Gobernación, Dirección General de Protección Civil y Centro Nacional de Prevención de Desastres, el INE, la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente y el Departamento del Distrito Federal

Estos PPA ingresan al INE vía procedimiento de Impacto Ambiental y Riesgo para proyectos nuevos, mientras que los PPA de las empresas ya instaladas lo hacen a través del Programa Nacional de Prevención de Accidentes de Alto Riesgo Ambiental. El estudio de riesgo siempre se presenta antes que el PPA, sin embargo es importante aclarar que la presentación de un estudio de riesgo en cualquier modalidad no implica el requerimiento de un PPA.

## CAPITULO 3

### PRINCIPALES ESCENARIOS DE RIESGOS POTENCIALES

Los riesgos industriales graves suelen estar relacionados con la posibilidad de que ocurra un incendio, explosión o dispersión de sustancias químicas tóxicas que escapen de un recipiente. Entre los accidentes relacionados con estos riesgos principales se debe mencionar que cuando un material inflamable escapa y entra en contacto con el aire formando una nube de vapor inflamable, puede ocasionar un incendio o una explosión al entrar en contacto con una fuente de ignición. En el caso de materiales tóxicos, estos pueden formar una nube de vapor tóxica y el arrastre de la nube puede afectar directamente al lugar y, dependiendo de su alcance a algunas zonas pobladas.

En el caso de la fuga de materiales inflamables, el mayor peligro proviene del repentino escape masivo de líquidos volátiles o gases que produzcan una gran nube de vapor inflamable y posiblemente explosiva. Estos riesgos pueden causar un gran número de víctimas y daños al lugar donde se produce e inclusive más allá de sus fronteras.

La fuga repentina de grandes cantidades de material tóxico puede causar muertes y lesiones graves a una distancia mucho mayor. En teoría, esa fuga podría en ciertas circunstancias climatológicas, producir concentraciones letales a varios kilómetros del punto de fuga. El número de víctimas dependerá de la densidad demográfica en el camino que sigue la nube y de la eficacia de las medidas de emergencia que se tomen, que podrían incluir la evacuación.

Otro factor a considerar son las ondas de expansión y los proyectiles de una fuerte explosión, ya que estos pueden afectar la integridad de otras plantas que contengan materiales inflamables y tóxicos, causando de este modo una

intensificación del desastre conocido como efecto dominó. Esta situación se puede presentar en zonas industriales.

En resumen, la fuga de materiales inflamables o tóxicos a la atmósfera puede provocar una explosión, un incendio o la formación de una nube tóxica.

### **3.1 FUENTES DE IGNICIÓN**

Todas las fuentes de ignición deben ser identificadas, aunque algunas pueden ser difíciles de analizar o controlar. Así, es necesario minimizar la acción de tales fuentes de ignición mientras se toman todos los pasos necesarios para proteger al equipo. Se deben instalar protecciones internas y externas para evitar que dichas fuentes de ignición puedan provocar algún desastre.

Algunas fuentes de ignición son obvias, como las flamas, los quemadores, etc. mientras que otras son más difíciles de detectar como la combustión interna, ciertas cargas estáticas que podrían no ser reconocidas como fuentes fijas de ignición. Inclusive muchas fuentes de ignición que no son obvias podrían estar sin detectarse por un largo periodo de tiempo, ya que muchas de ellas producen chispas, pero pasan inadvertidas porque no se alcanzan los niveles de concentración de un producto inflamable para entrar en ignición. Incluso los sistemas de protección pueden ser una fuente de ignición ya que pueden acumular ciertas partículas que pueden llevar a la ignición (rociadores secos).

#### **3.1.1 TIPOS DE FUENTES DE IGNICIÓN**

Entre los diversos tipos de fuentes de ignición podemos encontrar fuentes de temperatura moderada que pueden ocasionar ignición espontánea, fuentes eléctricas, como los equipos de potencia, acumulación electrostática, corrientes extraviadas, centros de radiofrecuencia y alumbrado, fuentes físicas como la energía de compresión, calor de absorción, fricción e impactos, fuentes químicas generadas por ciertos materiales catalíticos, pirofóricos y especies inestables formadas en el sistema.

Las fuentes de ignición son frecuentemente consideradas solo en el contexto del triángulo de fuego (combustible, oxidante y fuente de ignición).

##### **3.1.1.1 IGNICIÓN POR FLAMAS**

Una característica importante de las flamas, opuesta a las chispas y otras fuentes de ignición de breve duración, es que pueden hacer entrar en ignición fácilmente a materiales inflamables o combustibles que requieren de una alta energía de ignición. Específicamente, las mezclas inflamables pueden entrar en ignición en



todos sus rangos inflamables debido a que las flamas son al menos equivalentes a las fuentes de ignición usadas para establecer estos rangos

Algunos líquidos que despiden vapores inflamables pueden entrar en ignición a temperatura ambiente al entrar en contacto con una fuente de ignición grande como es el caso de una flama. La producción de una mezcla inflamable se ve frecuentemente favorecida por cierto grado de confinamiento. Esto puede conducir a accidentes en espacios confinados cuando se suelda en presencia de vapores de hidrocarburos degradados, un factor que contribuye en tales accidentes puede ser el enriquecimiento de oxígeno debido al exceso de éste usado en el soplete. La ubicación de fuentes de ignición inevitables se debe hacer considerando la relación con respecto al almacenamiento de combustibles y de las trayectorias de las posibles nubes de vapor.

Antes de iniciar cualquier trabajo en caliente, como el soldado y cortado, se debe asegurar que no existan materiales inflamables o combustibles en el entorno por medio de un análisis de gases o una inspección física. Es importante reconocer que las atmósferas inflamables pueden establecerse rápidamente en presencia de pequeñas cantidades de líquido inflamable. Aún después de haber efectuado un arrastre de aire, la atmósfera inflamable puede restablecerse si el líquido queda atrapado en un espacio muerto. En sistemas que manejan polvos, la ignición de una capa de polvo puede dar como resultado una fuente de ignición latente que más tarde puede hacer entrar en ignición el polvo en suspensión en el sistema.

En operaciones de venteo es esencial que la flama sea dirigida a un lugar seguro para el personal y las instalaciones. El venteo de una flama puede calentar equipo de pared delgada ocasionando la ignición del material que contiene. La incidencia de flamas sobre líneas que contienen material inestable podría ocasionar eventos de descomposición interna.

### **3.1.1.2 IGNICIÓN ESPONTÁNEA**

La ignición espontánea se define como la ignición y combustión sostenida de una sustancia, sea gas, líquido o sólido sin intervención de cualquier fuente de ignición aparente como una chispa o flama. Esto es sinónimo de autoignición e ignición autónoma. La ignición es el resultado de una reacción automática desde cualquier condición inicial (temperatura, presión, volumen) a la cual la velocidad de calor generado excede a la velocidad de pérdida de calor del sistema reaccionante.

El autocalentamiento de una fase líquida debido a una reacción química en ausencia de un oxidante es usualmente considerado en forma separada de la ignición espontánea. La ignición espontánea de líquidos es considerada en el

contexto de neblina o vaporización instantánea y su subsecuente autoignición o vía autooxidación lenta en material absorbente. Algunos líquidos reactivos pueden autocalentarse y entrar en ignición en ausencia de oxidante. Estos son clasificados como explosivos o como líquidos de autodescomposición.

**Autoignición en Fase Gas** El ejemplo más común de autoignición son las máquinas a diesel, ya que estas operan bajo el principio de ignición por calor de descomposición. El comportamiento de la autoignición de gases y neblina es altamente complejo especialmente cuando se trata de las condiciones dinámicas de una máquina. Similarmente las condiciones dinámicas de un equipo de proceso contienen posibles fuentes de ignición de sitios calientes. Frecuentemente, el concepto de temperatura de autoignición (AIT) es usado para determinar si una superficie caliente puede hacer entrar en ignición una bolsa de gas estancada.

A presión ambiente! los valores estándar de los AIT puede usarse para ayudar a seleccionar el equipo que va a emplearse en áreas clasificadas.

Si bien, los AIT han sido tabulados para muchos materiales, los resultados de la prueba deben ser considerados solo como un hecho rápido que podría ocurrir bajo diferentes condiciones. En algunos casos, la autoignición se previene o evita por la limitación del tiempo de reacción y la pérdida de flujo puede conducir a una detección del autocalentamiento de corrientes de proceso. En columnas de destilación y otros equipos de vacío el ingreso súbito de aire debido a una fuga o rompimiento del vacío, podría causar una explosión.

**Ignición Espontánea de Líquidos y Sólidos** Los sólidos absorbentes que contienen líquidos combustibles expuestos al aire, experimentan una lenta oxidación. Si la temperatura ambiente y el tamaño del montículo del material es suficiente, el calor de la lenta oxidación podría acumularse antes de que se pierda en los alrededores. La acumulación de calor incrementa la temperatura y esto acelera la velocidad de oxidación hasta que sucede una verdadera combustión. La generación de fuego puede tomar segundos o días para desarrollarse.

Masas suficientemente grandes de material absorbente contaminado pueden entrar en ignición a temperatura ambiente en muchos casos, particularmente donde el material absorbente tiene buenas propiedades para el aislamiento térmico. El fenómeno ocurre no solo desde temperaturas iniciales por debajo de la temperatura de autoignición del líquido, sino también por debajo del punto de vaporización instantánea del líquido.

**Ignición Espontánea de Polvos y Otros Sólidos** Los polvos combustibles entran en ignición espontánea a una temperatura suficientemente alta. Esta temperatura depende principalmente del tamaño y geometría de la acumulación de polvo. También depende de factores tales como la humedad, tamaño de la partícula,

concentración de oxidantes en el ambiente y la presencia de cualquier oxidante añadido al polvo.

Los materiales inestables pueden sufrir autocalentamiento debido a la descomposición antes de la combustión

Los dos casos generales usualmente encontrados son la ignición de una capa de polvo y la ignición de un bulto de polvo. La diferencia esencial es que la temperatura de ignición espontánea (SIT) de los polvos almacenados en bulto, puede ser menor que la temperatura atmosférica

La ignición de capas de polvo es un problema relativamente simple, ya que normalmente involucra calentamiento a través de un artículo de alumbrado o una carcasa caliente de un motor. Es importante reconocer que la SIT puede cambiar muy rápidamente con las variaciones en el espesor de la capa, así que el experimento debe simular el peor caso de una situación en planta.

La ignición de polvos en bulto puede ocurrir durante el procesamiento, almacenamiento o transportación donde la temperatura es igual o menor que la de los alrededores

### 3.1.1.3 FUENTES ELÉCTRICAS

Las fuentes eléctricas son fáciles de categorizar ya que las chispas son usadas para establecer energías mínimas de ignición de mezclas inflamables

**Electricidad Estática** La descarga de electricidad estática es una fuente potencial de ignición. Muchas operaciones con hidrocarburos líquidos y compuestos orgánicos en plantas químicas, como el bombeo mezclado, vertido, filtrado y agitación, causan una carga estática reforzada que puede conducir a la generación de una chispa estática. La transferencia en el procesamiento de polvos pellets y sólidos en bruto, también presentan descargas estáticas peligrosas. Si tales eventos toman lugar en presencia de una mezcla inflamable de vapor-aire puede ocurrir una ignición o una explosión. Una situación similar surge cuando un gas contaminado con óxidos metálicos se dirige contra un objeto conductor subterráneo el cual queda gradualmente cargado hasta que ocurre una chispa estática. Por consiguiente, es crucial prevenir la ocurrencia simultánea de una mezcla inflamable y una chispa estática

La electricidad estática se genera por un cambio en la posición relativa de las superficies de contacto y esto puede verificarse en cualquier industria en las siguientes situaciones

- Flujo de producto en tuberías

- Mezclas de sólidos combinados con líquidos en un tanque particularmente llenado, o un recipiente construido de un material no metálico o recubierto con un material no conductor
- Partículas pasando por conductos o transportadores neumáticos.
- Contenedores salpicados en la operación de llenado
- Vapor, aire o gas fluyendo desde cualquier abertura en una tubería o manguera, cuando la corriente está húmeda o la corriente de aire o gas contiene material particulado.
- Correas no conductoras en movimiento
- Zapatos no conductivos usados por el personal

**Manejo de Líquidos** Los peligros pueden presentarse con el manejo de líquidos conductivos como los alcoholes manejados en equipo plástico, donde la conexión a tierra no es práctica. La estática también puede acumularse en tuberías y mangueras recubiertas de plástico y en microfiltros

Para valorar el peligro de ignición por estática durante el manejo de un líquido es necesario considerar la energía de ignición del vapor, la conductividad del líquido y la operación involucrada. Si un vapor o neblina inflamable se presenta durante las condiciones manejadas la conductividad del líquido y tipo de operación debe considerarse para determinar si la estática puede acumularse.

Debido al mejoramiento de los catalizadores y de las técnicas de producción las conductividades de muchos productos líquidos de calidad comercial ha decrecido por causa de la alta pureza. Esto involucra niveles decrecientes de impurezas y en temperatura de frío la conductividad se abate más. Bajo tales condiciones los problemas estáticos pueden experimentarse en mangueras de plástico y en el final de la línea de las bolsas para filtros.

Las descargas eléctricas se han observado en la salida de tuberías de plástico corriente abajo. El fenómeno también ocurre en tuberías de plástico recubiertas y en mangueras, y en recipientes recubiertos de vidrio, conduciendo a pequeñas perforaciones en el recubrimiento. En tuberías y mangueras recubiertas, el peligro de ignición puede existir cuando el líquido drene fuera de la admisión de aire.

**Manejo de Sólidos** Uno de los aspectos más importantes del manejo de polvos es el efecto del tamaño de la partícula sobre la energía de ignición de la suspensión. La energía de ignición varía inversamente a la 2ª o 3ª potencia del tamaño de partícula, esto significa que la probabilidad de ignición de una suspensión está altamente determinada por la concentración de pequeñas partículas presentes.

Ha sido evidente que muchas de las igniciones de polvos se deben a la presencia de descargas energéticas sobre la superficie del polvo durante el

abultamiento en contenedores grandes. A esto se le ha denominado rozamiento por abultamiento.

Un hecho importante del manejo de polvos es que la ignición de vapor cuando se adicionan polvos o líquidos inflamables es demasiado común. Durante la adición manual de polvos, pueden existir varias fuentes de ignición como el mismo operador, el equipo eléctrico cercano (ventiladores), descargas por rozamiento de una bolsa, recubrimientos plásticos u otros elementos no conductivos.

**Corrientes Extraviadas:** Una corriente extraviada está definida como cualquier corriente eléctrica fluyendo en otras trayectorias diferentes a las estipuladas. Estas otras trayectorias incluyen la tierra, tuberías y otros objetos metálicos o estructuras en contacto con la tierra. Una corriente extraviada puede ser continua o intermitente, unidireccional o alternante. Dentro de estas corrientes extraviadas se encuentran las generadas por transmisiones de radiofrecuencia, cabezas de líneas de alto voltaje, fuentes electroquímicas de corriente y sistemas de protección catódica.

#### 3.1.1.4 FUENTES FÍSICAS

Dentro de esta sección se considera la ignición como el resultado de fuentes misceláneas de energía. Estas son el calor de compresión, efectos mecánicos y adsorción física.

**Ignición por Compresión:** La ignición por compresión puede ocurrir algunas veces en sistemas que contienen vapor o neblina inflamable más aire. La presencia de oxígeno se puede deber a que no ha sido debidamente purgado el sistema. Ya que el aire es un gas diatómico, tiene una mayor proporción de calores específicos que otros gases combustibles y esto incrementa gradualmente la temperatura final obtenida por compresión. Así, por ejemplo, una adecuada purga de aire y una lenta presurización es muy importante en la prevención de la descomposición de algunos elementos.

Los incendios pueden ocurrir cuando se presurizan las líneas de oxígeno de una válvula de cilindro donde la ignición de las válvulas es posible en algunos materiales como el acero inoxidable, en tales casos el impacto de material particulado es asumido como la causa principal de la ignición. También, han ocurrido accidentes en cilindros que contienen gas inflamable.

**Ignición por Efectos Mecánicos:** Dentro de los efectos mecánicos se pueden incluir las chispas, la fricción, el impacto y la vibración.

Los impactos pueden causar fractura o deformación del metal, posiblemente con la formación de chispas causadas por el metal. La fricción puede causar también ralladuras en la superficie dando como resultado áreas relativamente grandes de metal caliente. El proceso de ignición es muy complejo y puede complicarse aún más por la presencia de contaminación en la superficie, herrumbre o recubrimientos protectores. El impacto puede involucrar también no metales como rocas o concreto.

Ciertos estudios concluyen que la temperatura desarrollada por fractura de metal no es suficiente para hacer entrar en ignición una mezcla inflamable de hidrocarburos-aire. La ignición podría deberse más probablemente a la fricción y en particular a chispas friccionadas. También se menciona que las altas temperaturas relacionadas con el adelgazamiento del material durante impactos penetrantes o reventamientos de recipientes a presión son probablemente las causantes de la ignición. Ya que la probabilidad de ignición depende críticamente de las condiciones del impacto y de las propiedades de la mezcla inflamable, cualquiera de las dos resoluciones es creíble.

#### 3.1.1.5 REACCIONES QUÍMICAS

Existen numerosas rutas de ignición via reacciones químicas locales las cuales no pueden ocurrir en el sistema en conjunto. Los ejemplos incluyen catálisis, reacción de polvos oxidantes, reacciones de termita, formación de especies inestables (peróxidos, acetaldehídos y nitrocompuestos) y formación de materiales piróforos.

En adición a este gran grupo, la ignición puede resultar de reacciones químicas entre agentes oxidantes y reductores. Sin embargo, estos son el resultado de proceso químicamente mal diseñados y no se clasifican como fuentes de ignición.

### 3.2 PELIGROS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

Los dos principales peligros eléctricos son las chispas y los shocks eléctricos. Estos pueden hacer entrar en ignición mezclas inflamables, teniendo como consecuencia fuego o explosión.

En el diseño de un sistema eléctrico en una instalación que maneje químicos se debe prestar especial atención en cuanto a la confiabilidad y seguridad de los aparatos eléctricos, peligros asociados con electricidad estática y protección a instalaciones conectadas a tierra y al alumbrado.

**Clasificación de Áreas Eléctricas.** La clasificación de áreas eléctricas dentro de una instalación que maneja gases inflamables, líquidos y polvos, es la base para

una correcta selección de los aparatos eléctricos y aislamientos para los componentes eléctricos

Las locaciones se clasifican en función de las propiedades de los materiales involucrados y a su atmósfera circundante. Los elementos que afectan la clasificación de áreas pueden incluir la disponibilidad de materiales inflamables o explosivos, flammabilidad o explosividad de los materiales, temperatura de autoignición, densidad del vapor del material, resistividad de los polvos o fibras, presiones explosivas, temperatura de ignición de una capa de polvo, conduit abierto o sellado y ventilación.

Cada cuarto, sección o área debe ser considerada individualmente en la determinación de su clasificación. También se debe considerar la clasificación general del área.

**Tipos de Aislamientos.** Para el uso de equipo eléctrico en atmósferas peligrosas se utilizan aislamientos específicos en los cuartos del equipo. Para hacer la correcta aplicación es necesario reforzar las definiciones de los términos "aparatos a prueba de explosión y dispositivos a prueba de ignición de polvos".

**Aparatos a Prueba de Explosión.** Son aparatos aislados con una cubierta capaz de contener una explosión de un gas o vapor específico que ocurre en el interior y previene la ignición del gas o vapor por chispas, vaporizaciones instantáneas o explosiones ya que está aislado. Operan a una temperatura externa para que la atmósfera inflamable de los alrededores no pueda entrar en ignición de este modo. Estos aislamientos utilizan una junta roscada o una junta a tierra para enfriar los gases calientes que escapan.

**Dispositivos a prueba de ignición de polvos.** Estos son aislamientos que evitan la acumulación de cantidades ignitables de polvos o cantidades que podrían afectar el funcionamiento de los dispositivos o la clasificación de áreas eléctricas y que donde se instalen para proteger no permitan la generación de arcos eléctricos, chispas o calor fuera del dispositivo para evitar la de ignición de acumulaciones exteriores o suspensiones atmosféricas de un polvo específico sobre o alrededor de este.

Para que una ignición ocurra, tres componentes del triángulo de fuego deben estar presentes:

1. Vapor inflamable, polvo o neblina líquida con límites de concentración ignitable.
2. Presencia de un oxidante.
3. Presencia de una fuente de ignición suficientemente energética para una duración mínima de contacto.

La ignición se puede prevenir removiendo cualquiera de los tres componentes. Por ejemplo, podría alterarse la concentración del material, eliminar el oxidante o remover la fuente de ignición (cercarla físicamente o separarla).

**Equipo Intrínsecamente Seguro.** Este equipo se define como aquel incapaz de liberar suficiente energía eléctrica a temperatura y presión estándar para causar ignición de una sustancia específica peligrosa en una concentración más fácilmente ignitable. El uso de este tipo de equipo limitado principalmente para la instrumentación de procesos de control con bajos requerimientos de energía.

**Purgado y Presurizado.** Una de las opciones para permitir el uso de equipo eléctrico convencional en áreas peligrosas es crear un ambiente que sea menos peligroso por medio de una operación de purgado y presurizado de aire seco o nitrógeno.

Los sistemas purgados son difíciles de mantener por consiguiente, se deben utilizar solo como una última alternativa. La presurización es más conveniente para aplicarse en áreas con grandes volúmenes como en el caso de un cuarto de control. Aquí, el aire fresco de consumo o admisión es suministrado para asegurar aire limpio. Un ventilador de arrastre mantiene presión positiva interna.

### 3.2.1 SISTEMAS DE PROTECCIÓN

Los sistemas de protección contra relámpagos tienen la intención de minimizar daños a instalaciones que puedan estar sujetas a tormentas eléctricas. El daño causado por relámpagos puede ser térmico (fuego), eléctrico (descargas) y mecánico (fuerzas torcionales). La energía en un impacto de un relámpago puede hacer entrar en ignición vapores inflamables y dañar equipo y estructuras por el flujo de corriente descargada a través de cualquier resistencia en su trayectoria. En plantas de proceso, el equipo eléctrico, todos los equipos que contengan líquidos y gases peligrosos, las estructuras de metal al aire libre, recipientes u otros equipos elevados sujetos a impactos de relámpagos, deben conectarse adecuadamente a tierra. La última parte de la trayectoria de un relámpago en su recorrido hacia abajo es la más crítica para la protección debido a que el punto de impacto puede estar influenciado por diversos factores para tomar una trayectoria específica que proporcione protección a la estructura dada. La corriente que se descarga durante el impacto se encuentra en un rango de 2 hasta 200 kA y en algunos casos excepcionales puede llegar hasta los 300 kA. Cualquier sistema de protección contra relámpagos debe distribuir o repartir grandes cantidades de corriente disipadas a tierra en un corto periodo de tiempo.

**Conexión a Tierra.** El método más común para prevenir peligros de ignición es la disipación de carga por medios como el enlace y la conexión a tierra. La unión entre dos cuerpos del mismo material proporciona una trayectoria conductiva a través de la cual la carga estática puede recombinarse y por consiguiente evitar la



acumulación, de este modo se previene la generación de chispas ya que la diferencia de potencial eléctrico es cero. Las uniones eliminan chispas estáticas entre los dos objetos en instalaciones de carga y descarga que involucran el manejo de líquidos inflamables y combustibles. La conexión a tierra previene chispas estáticas entre objetos y el piso.

La conexión a tierra de sistemas y equipo de potencia eléctrica es necesaria para limitar los disturbios de voltaje debidos a relámpagos. oleaje de la línea o contactos no intencionados con fuentes de alto voltaje. La conexión a tierra es una conexión conductora intencional o accidental entre un circuito o equipo eléctrico y la tierra

**Protección Contra Electricidad Estática.** La filosofía básica para la protección contra electricidad estática es proporcionar medios por los cuales se separen las cargas, esto se logra a través de una recombinación inofensiva o disipación de la carga antes de que se generen potenciales de chispa

Cuando no se pueden eliminar todas las condiciones peligrosas durante ciertas operaciones, es necesario garantizar que no haya mezclas ignitables en los lugares donde se pueden presentar chispas

La electricidad estática puede desarrollarse en líquidos fluyendo. Uno de los ejemplos típicos se presenta cuando se agregan líquidos inflamables no conductivos a recipientes por medio de rociadores. Es recomendable, que tales casos, agregarlos a través de una boquilla inferior o algún otro medio similar de llenado

### **3.3 INCENDIOS**

Los efectos de los incendios sobre las personas son quemaduras de piel por exposición a las radiaciones térmicas. La gravedad de las quemaduras depende de la intensidad del calor y del tiempo de exposición. Estos se producen en la industria con más frecuencia que las explosiones y las emanaciones de sustancias tóxicas, aunque las consecuencias medidas en términos de pérdida de vidas humanas suelen ser menos graves. Por tanto, podría considerarse que los incendios constituyen un peligro menor potencial que los eventos de explosión y escape de sustancias tóxicas. No obstante, si se retrasa la ignición de un material inflamable que se escapa puede constituirse una nube de vapor inflamable. Además, los incendios pueden adoptar varias formas diferentes, es decir, pueden presentarse incendios de chorro de llamas, en depósitos, los producidos por relámpagos y explosiones provocadas por la ebullición de líquidos que expanden vapor.

Otro efecto letal que debe tomarse en consideración al producirse un incendio es la disminución de oxígeno en la atmósfera debido al consumo de oxígeno en el proceso de combustión. En general, este efecto se limita al entorno inmediato del lugar del incendio. Son así mismo importantes los efectos sobre la salud originados por la exposición a los humos generados durante el incendio. Esos humos pueden incluir gases tóxicos, que pueden provocar severos daños a la salud.

Las condiciones para que se desarrolle un incendio están limitadas por los tres elementos que se requieren para iniciar y sostener el fuego:

1. Oxígeno u oxidante
2. Combustible
3. Fuente de calor o ignición

Los fuegos se clasifican en cinco categorías que son:

**Clase A.** Involucra materiales sólidos como madera, plástico, textiles y sus productos como papel y algodón.

**Clase B.** Son líquidos y gases inflamables.

**Clase c.** Eléctricas (no se incluyen incendios en otros materiales iniciados por fuentes eléctricas).

**Clase D.** Combustibles, metales fácilmente oxidables, como el aluminio, magnesio, titanio y circonio.

**Categorías especiales** que involucran oxidantes o mezclas extremadamente activas, compuestos inflamables que tengan oxígeno, peróxido de hidrógeno, etc.

Existe además una clasificación de líquidos inflamables y de líquidos combustibles. Dentro de los líquidos inflamables se tiene la siguiente clasificación:

**Clase 1A.** Vaporización instantánea por debajo de 73°F, punto de ebullición menor a 100°F.

**Clase 1B.** Vaporización instantánea por debajo de 73°F, punto de ebullición en o arriba de 100°F.

**Clase 1C.** Vaporización instantánea de o arriba de 73 °F, pero menor a 100°F.

Los líquidos combustibles se clasifican de la siguiente manera:

**Clase 1I.** Vaporización instantánea en o arriba de 100°F, pero abajo de 190°F.

**Clase 1II.** Vaporización instantánea en o arriba de 140°F, pero abajo de 200°F.

**Clase 1IB.** Vaporización instantánea en o arriba de 200°F.

Una mezcla de una sustancia tal como un gas o polvo y un oxidante como el aire, se considera inflamable por ignición sólo si se cumplen ciertos criterios. Tales criterios se pueden aplicar en pruebas para determinar concentraciones límite de combustibles u oxidantes para flamabilidad

**Límites de Flamabilidad.** Los sistemas gaseosos capaces de soportar una reacción química exotérmica, dado el aumento de una onda de deflagración, pueden estar constituidos por una mezcla binaria o multicomponente en cuanto a su composición. Los gases como el acetileno son capaces de pasar por un simple componente de descomposición exotérmica. Mas frecuentemente, una situación peligrosa se lleva a cabo por un sistema combustible-oxígeno-inerte

Las bajas y altas concentraciones de un gas combustible en aire que soportarán la combustión se refiere a límites de flamabilidad bajos y altos o LFL y UFL, respectivamente. Cuando están presentes varias especies combustibles en la mezcla, los valores LFL y UFL se pueden estimar utilizando la regla de Le Chatelliere

$$L_{m,i} = 1 / (\sum (y_i / l_i))$$

donde,  $y_i$  = fracción mol,  $l_i$  = LFL o CFL en % en volumen del componente  $i$ .

La influencia de la temperatura en límites inflamables se puede estimar por:

$$LFL_{T_2} = LFL_{T_1} [1 - 0.75(T_2 - 25) / \Delta H]^{-1}$$

donde,  $T$  = temperatura ° C y  $\Delta H$  = calor de combustión en J/Kg

$$UFL_{T_2} = UFL_{T_1} [1 - 0.75(T_2 - 25) / \Delta H]$$

La mayoría de las mezclas gaseosas combustible-aire, no propagan la flama a presiones por debajo de 0.97 psia. El valor LFL, se ve poco influenciado por la presión

En el rango 1<P<200 bar la presión es dependiente del UFL para varios hidrocarburos dado por:

$$UFL_{T_2} = UFL_{T_1} P^{0.2} + 20.6 \log P$$

donde P = presión absoluta en bar

De este modo los incrementos en la flamabilidad involucrados se encuentran disponibles a presiones elevadas.

**Materiales Inertes.** Los componentes inertes en una mezcla aire-combustible limitan el aumento de la presión y la temperatura en la ignición o la previenen totalmente. El nitrógeno es comúnmente empleado como un gas inerte. El vapor de agua y el CO<sub>2</sub> son un poco más efectivos como gases inertes debido a su capacidad de alto calor molar. Algunos polvos metálicos, como el magnesio, titanio y circonio que pueden reaccionar con nitrógeno o CO<sub>2</sub> deben inertarse usando un gas noble como el argón. También se usan inhibidores que son compuestos que previenen la ignición inducida a través de químicos.

#### **Temperaturas de Ignición.**

**Temperatura de Flama** Es la temperatura a la que un líquido (o sólido) emite suficiente vapor para formar mezclas combustibles con aire.

#### **Temperatura de Autoignición**

**Gases** Es la menor temperatura a la que una mezcla de aire y gas inflamable encenderá espontáneamente.

**Nubes de Polvo** Es la temperatura a la que una nube de polvo puede incendiarse

**Capa de Polvo:** Es la temperatura que conduce a suficiente calor propio de la misma capa de polvo para causar ignición. Los polvos acumulados en capas y expuestos a calor circundante o a superficies calientes pueden incendiarse por fuentes de temperatura por abajo de los valores de temperatura de ignición de nubes. Este hecho surge de las reacciones de oxidación lentas que los polvos pueden padecer cuando se calientan. Las propiedades aislantes de las capas de polvo pueden retardar el enfriamiento necesario para prevenir su propio calentamiento al punto de incandescencia e ignición.

**Ignición por Chispa.** Los polvos y las nubes de vapor se pueden incendiar si se exponen a descargas eléctricas que excedan la energía mínima de ignición para mezclas combustibles. Las energías de chispas que son capaces de encender mezclas de gases son generalmente más pequeñas que las que se requieren para incendiar suspensiones de polvos.

### **3.3.1 SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA FUEGO**

Los intentos de protección contra fuego en una actividad química tienen como objetivo minimizar la pérdida de vida y propiedades debido a un evento de fuego y/o explosión. El diseño y extensión de los sistemas de protección contra fuego dependen principalmente de los tipos y grados de los peligros involucrados. El peligro en una instalación cuando se procesa, maneja y provee material inflamable o combustible es muy grave. Los datos de pérdidas para industrias

que procesan hidrocarburos indican un aumento en la frecuencia y cantidad de las pérdidas.

Algunas posibles razones por las que puede generarse un incendio se presentan a continuación:

- Plantas grandes
- Equipo viejo
- Aumento de congestión a través de líneas, instalación de equipo de conservación de energía y equipos para la regulación en lo concerniente al ambiente.
- Series de producción extensas entre cada turno de mantenimiento
- Cambio de posesión o propiedad
- Cambios en regulaciones ambientales y la puesta en orden de requerimientos para materiales tóxicos
- Reducción en el staff de operación
- Incremento de turnos de operadores y supervisores

Las posibles consecuencias de un incendio incluyen la pérdida de la vida, propiedad, materia prima y productos, en adición a los efectos perjudiciales de la producción, economía y opinión pública. En un esfuerzo por minimizar los impactos económicos y sociales de un incendio se deben utilizar técnicas y equipos apropiados para abatir el incendio.

La contaminación del ambiente por compuestos tóxicos y la combustión de productos, han llegado a ser una inquietud mayor en actividades que manejan compuestos químicos. El fuego en sí mismo puede crear combustión de compuestos tóxicos y materiales no inflamables.

Los especialistas en prevención y protección contra fuego se deben consultar en cada una de las etapas de diseño de un proceso o en las modificaciones que se realicen posteriormente, de tal manera que se puedan evaluar todas las alternativas.

**Sistemas de Detección y Alarmas.** La mayor parte de los incendios inician en una pequeña proporción. Cuando ocurre un incendio, las acciones que se toman en los primeros minutos son usualmente las más importantes y pueden eliminar la necesidad de combatir el fuego por horas. Por consiguiente, es importante detectar un fuego o aquellas condiciones adversas que podrían ocasionar un incendio, tan rápidamente como sea posible, de tal manera que se pueda ejecutar una acción adecuada. Debido a que no es posible prevenir todos los incendios, ni tener personal disponible para detectar cada incendio, es recomendable instalar sistemas de protección y alarmas. Estos proveen detección temprana de una condición potencialmente peligrosa reduciendo con esto el impacto de un incendio. Los detectores de gas combustible pueden detectar gas liberado o

vapores de un líquido derramado antes de que ocurra un incendio. Los detectores de fuego abarcan aquellos que detectan calor, fuego o flama. Un aspecto clave es la supervisión continua de los dispositivos y circuitos para asegurar la operación confiable y notificar al personal de condiciones anormales.

Las empresas que cuentan con un centro de control de proceso central pueden desear tener allí los sistemas de detección y alarmas para fuego. Sin embargo, los sistemas de alarma para fuego y los notificadoros deben permanecer separados y distinguirse de los controles de proceso. En ningún caso, la ubicación primaria de las alarmas notificadoras de fuego deben estar en una área continuamente transitada por el personal para asegurar una pronta y adecuada respuesta a todas las emergencias.

**Detección de un Gas Combustible.** Los sistemas de detección de gases se emplean para registrar la presencia de mezclas vapor-aire potencialmente inflamables antes de alcanzar el límite inferior de inflamabilidad y convertirse en una fuente potencial de fuego o explosión. Estos sistemas de detección son extremadamente utilizados en la industria química en áreas de proceso y almacenamiento. Se utilizan también, en áreas donde se libera vapor inflamable o donde ciertas acumulaciones de vapor inflamable podrían entrar en contacto con alguna fuente de ignición y, para detectar liberaciones grandes y pequeñas de fuentes potenciales de escape. Algunos de los lugares donde pueden emplearse estos dispositivos son:

- Sistemas de bombeo o compresión y estaciones de transferencia de líquidos regados con mangueras, donde manejan fluidos altamente inflamables.
- Centros de almacenamiento que manejan fluidos altamente inflamables.
- Centros eléctricos o cuartos de control en la vecindad de las liberaciones de gran potencial de gas inflamable.
- Sistemas de acceso de aire para ventilación y presurización en áreas clasificadas.
- Áreas de llenado de aerosol.
- Zanjas, trincheras y otros puntos bajos donde podrían acumularse vapores densos inflamables.

La mayor cantidad de los sitios donde se instalan los sistemas de detección de gas con elegidos basándose en el porcentaje de LFL. Las alarmas se inician generalmente entre el 10 y el 30% del LFL. Los sistemas de detección se usan algunas veces para el paro de procesos o maquinaria, protección de fuego y sistemas de ventilación de emergencia. Los paros de emergencia de maquinaria eléctricamente energizada en presencia de gas combustible, podrían causar una explosión producida al abrir los contactos energizados, ya que estos podrían ser una fuente de ignición. La ubicación se elige para asegurar que la maquinaria esté desenergizada antes que los vapores alcancen niveles peligrosos.

La localización de los detectores de gas debe considerar la densidad del gas, la dirección del viento, la sensibilidad del detector, las fuentes potenciales de ignición y puntos de liberación potencial de productos inflamables. Su instalación debe estar de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. También, se debe considerar los accesos para mantenimiento y calibración.

Existen dos tipos de detectores de gas combustible, los fijos y los de muestreo. Los fijos son generalmente más seguros que los detectores de prueba debido a que el gas no se hace viajar a través de un ducto del lugar de muestreo al elemento de detección.

**Detectores de Fuego.** Un fuego afectará a su ambiente circundante en varias formas. Los detectores de fuego intentan reconocer estos cambios y responder con una alarma. Responden a calor, partículas (humo) o energía radiante. Los detectores de calor y humo son los más comunes, aunque ciertos detectores que responden a energía radiante se utilizan donde se requiere una respuesta extremadamente rápida. Ciertos detectores de fuego pueden ser usados para detección y alarma únicamente o pueden ser utilizados para actuar en sistemas de supresión de fuego. Los detectores no deben ser considerados como sustitutos de los sistemas de supresión donde dichos sistemas son apropiados.

**Detección Térmica.** Los detectores térmicos son de temperatura fija o de compensación del rango de la temperatura de diseño. Los primeros se diseñan para operar a una temperatura fija determinada, mientras que los detectores de compensación responden a un incremento rápido de la temperatura del rango de diseño antes que a una temperatura específica. Los detectores de rango compensado de temperatura fija son una combinación de ambos tipos y reducen el tiempo de retraso de la detección en incendios que crecen rápidamente.

Los detectores de calor también se usan para aislar líquidos inflamables en los eventos de un incendio. Las conexiones de fusibles operados por cierre de válvulas, pueden usarse en salidas de tanques para prevenir que el contenido del tanque en un evento de vaciado provoque un fuego. Los fusibles conectores o tubería plástica se pueden usar como un detector de calor para cerrar automáticamente válvulas operadas neumáticamente en líneas de líquidos inflamables para aislar el combustible del fuego.

**Detección de Humo.** La tecnología para detectar partículas de combustión en vuelo incluye dispositivos de detección por ionización fotoeléctricos y detección de etapas primarias. En general los fuegos flamantes son más rápidamente captados por detectores de ionización y los incendios de lento desarrollo o sin llama son más rápidamente detectados por los dispositivos fotoeléctricos.

Los detectores de humos se instalan comúnmente en áreas como:

- Cuartos de control
- Cuartos de computadoras
- Cuartos de instrumentos
- Áreas de oficina
- Cuartos de maquinaria eléctrica

En áreas subterráneas y sobre el techo que tengan cableado de instrumentación y eléctrico, puede ser necesario un detector de humo. Las cabinas o paneles de control que no tiene ventilación adecuada pueden requerir detectores de humo interno ya que en una etapa primaria el fuego podría escalar por el interior del control al gabinete previo al detector del cuarto. Debido a que existe una gran cantidad de condiciones con actividades químicas que pueden generar falsas alarmas. Algunos detectores son sensibles a la humedad y a atmósferas con polvo y a algunos otros compuestos clorados.

Los detectores de humos son comúnmente utilizados en cuartos de equipo eléctrico y generalmente se localizan en el techo. Debido a que los equipos eléctricos generan humo "indetectable" (que no subirá al techo), es recomendable instalar detectores en la base de los gabinetes eléctricos para percibir esta condición.

**Detección Óptica de Flamas.** Los detectores ópticos de flamas son dispositivos que responden a energía radiante. Los detectores de radiación ultravioleta e infrarroja son los más comunes. Estos dispositivos proporcionan una rápida detección pero no son confiables como dispositivos únicos de detección. Su sensibilidad depende sobre todo de la limpieza de los lentes. Los sensores instalados donde se puede acumular polvo u otros materiales en los lentes deben ser del tipo de auto-limpieza o deben instalarse donde se pueda realizar la rutina de mantenimiento fácilmente. Este tipo de detectores se emplean en áreas donde se requieren respuestas muy rápidas. La colocación de un detector depende del área o equipo que va a ser monitoreado, el cono de visión y el nivel de sensibilidad del detector. Su instalación debe apearse a las recomendaciones del fabricante.

**Alarmas Manuales.** Las estaciones de alarmas manuales son de fácil utilización. Las estaciones de alarmas de fuego más comunes son de palanca de arranque, requiriendo dos operaciones distintas para evitar una operación accidental. Incluso, deben colocarse con respecto a los medios normales de salida de todas las áreas y también se puede requerir del manejo de claves locales. Todas las secciones de edificios y procesos deben tener al menos una estación a la vista de fácil acceso para el personal de cualquier área dentro de la fábrica con una distancia máxima de viaje, para una estación, no mayor de 200 ft.



### 3.3.1.1 SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA FUEGO BASADOS EN AGUA

Un adecuado y confiable sistema de protección contra fuego basado en agua es la base para un programa perfecto de protección de fuego. Las fábricas utilizan agua para control o extinción de fuego que involucran materiales combustibles y para contener incendios que involucren gases y líquidos inflamables. El agua también se aplica directamente a equipo y estructuras para protegerlas de daños causados por el calor. En aquellos casos en donde solo el agua no sea suficiente para extinguir un incendio, su aplicación servirá para limitar el daño hasta que la extinción del incendio sea atacada por otros medios. En algunos casos se requiere de grandes cantidades de agua para suplir los sistemas de rocío, hidrantes, y todos aquellos sistemas de protección basados en agua.

**Sistemas Fijos Basados en Agua.** Los sistemas fijos basados en agua son utilizados para aplicar agua a un incendio y pueden ser manuales o automáticos. Dentro de estos se encuentran los sistemas automáticos de aspersión son los más comúnmente usados. Estos sistemas deben instalarse en todas las construcciones de contenedores de combustible.

La mayor parte de los edificios, almacenes, laboratorios de investigación, y otras construcciones importantes tienen suficientes materiales combustibles como para justificar el uso de aspersores.

Las áreas de almacenamiento presentan un desafío único para el diseño de sistemas de protección contra fuego. El almacenamiento de líquidos inflamables o combustibles, especialmente en contenedores plásticos, presentan un serio desafío. Debido a esto se debe poner cuidadosa atención al diseño de los aspersores para evitar pérdidas. El uso de sistemas de aspersión de agua espumosa puede proporcionar mejor protección que el agua simple en áreas donde se manejan líquidos inflamables.

El equipo de proceso y las estructuras se pueden proteger con sistemas de rocío de agua. La protección manual a base de agua está usualmente provista por monitores de boquilla, hidrantes y líneas de riego con mangueras. Los monitores se pueden añadir a hidrantes contra fuego o localizarse independientemente. Generalmente se recomienda que todas las áreas críticas estén cubiertas como mínimo por dos monitores de boquilla. En áreas congestionadas de la planta se debe considerar el empleo de monitores elevados.

Los hidrantes para combatir el fuego se deben instalar en todas las áreas de la fábrica para asistir los ataques manuales contra el fuego y salvar operaciones. Se deben equipar como mínimo con dos salidas para conexión de mangueras de 2½". A 4 la conexión de los bomberos debe ser usada para suplir un monitor usado en el hidrante o proveer agua para un incendio del camión de bomberos si es necesario para favorecer la presión disponible. El espaciamento de los

hidrantes en áreas de proceso es a menudo tan frecuente como a intervalos de 75 a 100 ft. La localización exacta y espaciamiento de los hidrantes en cualquier área en particular requiere el conocimiento del arreglo, peligros, sistemas de drenaje y otros factores para asegurar que serán accesibles durante condiciones de emergencia. Los espaciamientos de hidrantes para plantas administrativas y otras áreas menos peligrosas no deberán exceder intervalos de 250 a 300 ft.

**Suministros de Agua Contra Fuego.** Existen dos factores críticos a considerar cuando se diseñan los sistemas de suministro de agua contra fuego. Estos deben ser adecuados y seguros. La oportunidad de los sistemas está determinada por la capacidad de los suministros para recibir el flujo de agua y los requerimientos de presión del sistema para una duración anticipada de combate contra fuego, típicamente de 2 a 4 horas. También, el suministro debe ser confiable bajo condiciones adversas como explosiones. Además, el almacenamiento de agua contra fuego debe tener la capacidad de abastecimiento en menos de 24 horas. El sistema de suministro y distribución de agua debe ser capaz de liberar grandes cantidades de agua a diferentes áreas de las instalaciones y cubrir las demandas instantáneas y continuas que pueden resultar de una explosión o incendio. También, deben considerarse dentro de la evaluación, el número máximo de sistemas fijos que se pueden esperar para operar simultáneamente y el agua a ser utilizada para extinción de fuego manual. Los flujos de agua deben estar disponibles a una presión mínima de 100 psi dentro del área protegida en la mayoría de los casos. Se debe tener presente que dicha agua es exclusiva para la protección contra fuego y no debe utilizarse para otros fines como riego, baños, proceso, etc. Además, sistema de suministro de agua debe ser capaz de proporcionar una mayor cantidad de la demanda anticipada. Esto significa que se deben instalar suministros enlazados redundantes de agua para minimizar cualquier falla. Es conveniente además tener por lo menos dos estaciones de bombeo en caso de que alguna de ellas falle.

### 3.3.1.2 SISTEMAS QUÍMICOS Y AGENTES ESPECIALES DE EXTINCIÓN

Si bien la aplicación de agua contra incendio es en mayor proporción un adecuado limitante del fuego y un agente de control, puede ser inadecuado para la extinción de fuegos de líquidos o de gases inflamables y requiere de precauciones especiales cuando se utiliza en maquinaria eléctricamente energizada. Los polvos químicos, espumas, CO<sub>2</sub> y otros agentes especiales de extinción tienen aplicación en muchos procesos que manejan sustancias químicas. Los extinguidores manuales provistos de estos materiales son una primera respuesta de ayuda para limitar la extensión de pequeños incendios, y como suplemento de sistemas automáticos de seguridad.

**Sistemas de Espumas.** El extenso rango de espumas para combatir fuego disponibles actualmente son el resultado del desarrollo tecnológico que ha

producido constantes mejoras en el combate de incendios. Los mecanismos de extinción de las espumas son principalmente por la exclusión de oxígeno, o por sofocamiento, asistido por agua de enfriamiento liberada del manto de la espuma.

Las espumas modernas se clasifican, por su radio de extensión, en bajas, medias y altas. Dos tipos de espumas extensamente usadas en la industria química son las espumas de proteínas y las espumas sintéticas. Las espumas de proteínas se utilizan para expansiones bajas a medias. Por lo general, se utilizan como agentes de inyección en las superficies de tanques de almacenamiento. Algunas espumas resistentes al alcohol han sido desarrolladas para distribuirse en incendios que involucran compuestos y combustibles miscibles en agua tales como el alcohol.

Las espumas sintéticas formadas de surfactantes son utilizadas en expansiones medias y altas. Estas se emplean normalmente para inundación de áreas interiores y espacios cerrados. Las espumas de gran extensión se utilizan también en almacenes internos que contienen líquidos combustibles. Las espumas HAZMAT y las espumas estabilizadoras han sido desarrolladas para suprimir vapores tóxicos liberados y dan gran plazo de sellado de derrames de líquidos inflamables. Las espumas HAZMAT son efectivas en productos que destruyen a las espumas estándar debido a la diferencia de pH, sin embargo, no se utilizan para combatir el fuego. Este tipo de espumas se utiliza en materiales alcalinos como el amoníaco, alquil aminas y en materiales ácidos. La espuma estabilizadora es el producto de proporción simultánea de espuma concentrada y un agente estabilizador con agua. La solución de espuma estabilizada forma un gel en la superficie del líquido inflamable dentro de 1 a 3 min. a través de una reacción de polimerización.

**Sistemas de Polvos Químicos.** Los sistemas de polvos químicos son considerados los agentes más efectivos para la extinción de fuego de materiales combustibles y de algunos materiales que son incompatibles con el agua, líquidos y gases inflamables. Sin embargo, están generalmente menos indicados en la efectividad para prevenir reignición de líquidos inflamables estancados como las espumas. Se pueden aplicar junto con las espumas dando resultados efectivos.

Existe una gran cantidad de tipos de polvos químicos; entre los más efectivos y más comúnmente usados se encuentra el bicarbonato de potasio (potasio púrpura), bicarbonato de sodio (polvo químico regular) y fosfato de amonio (polvo químico ABC). El polvo químico regular y el potasio púrpura son efectivos en incendios de líquidos inflamables y fuentes eléctricamente energizadas, mientras que el tipo ABC es efectivo en igniciones de combustibles ordinarios. Si bien, los polvos químicos son muy efectivos en fuegos de fuentes eléctricas, sus residuos después de la descarga usualmente requieren extensiva limpieza.

**Sistemas de CO<sub>2</sub>.** Los sistemas de CO<sub>2</sub> son usados para extinguir fuegos por exclusión de oxígeno y sofocar incendios. Los extinguidores de CO<sub>2</sub> portátiles son los más utilizados en incendios eléctricos debido a que los agentes son no conductivos y no dejan residuos y se recomiendan en procesos de generación de potencia, cuartos de control, y en cuartos donde manejen controles en general.

Un sistema fijo de CO<sub>2</sub> requiere una atmósfera de cerca del 34 % de CO<sub>2</sub> por volumen que también desplace oxígeno a un nivel que no sea riesgoso para la vida humana. Debido a esta característica, los sistemas de inundación total con CO<sub>2</sub> deben ser provistos con apropiadas salvaguardas para la protección personal.

**Sistemas inertes.** Los sistemas inertes previenen la formación de mezclas explosivas aire-vapor. Los gases inertes ocupan espacio, desplazando el oxígeno, esto previene la acumulación de oxígeno suficiente para soportar la combustión. Nitrógeno y ocasionalmente CO<sub>2</sub> son generalmente utilizados como agentes inertes para tales aplicaciones. Gases inertes como el argón se aplican en materiales como el circonio ya que este arde en nitrógeno. Los sistemas inertes son comúnmente empleados para cubrir los espacios aéreos de tanques de almacenamiento de líquidos inflamables o recipientes como tanques de mezclado, esferas, molinos, centrifugas, etc. Los inertes son también utilizados para reducir la concentración de vapores inflamables en un recipiente antes de la limpieza o mantenimiento. Una vez que los vapores inflamables han sido removidos, el gas inerte debe ser desplazado por oxígeno.

El agua como diluyente inerte ha sido utilizada durante muchos años en la sofocación de vapor en plantas de proceso. La atención es necesaria debido a que el vapor puede condensar fuera y el espacio se puede convertir en inflamable de nuevo. Es por ello que se deben de tomar precauciones en los sistemas inertes de rocío de agua, ya que no son tan prácticos como uno podría suponer.

### 3.3.1.3 PROTECCIÓN PASIVA CONTRA FUEGO

La protección pasiva contra fuego proporciona protección contra fuego, así como su nombre lo indica, y no requiere acción eléctrica, mecánica o manual para funcionar. Este tipo de protección, bajo buenas condiciones de mantenimiento, es usualmente más apreciada y segura que la protección activa contra fuego. Sin embargo, la protección pasiva contra fuego frecuentemente está desatendida y dejada al deterioro, lo que en realidad la hace menos segura. Es esencial por eso, que la protección pasiva contra fuego requiera de un sistema de protección activo.

Los tipos de protección pasiva que frecuentemente se emplean son

- Barreras contra fuego

- Construcciones a prueba de incendio y resistencia al fuego
- Aislamiento térmico
- Distancias de separación
- Sistemas de control de desague y vertederos

**Barreras Contra Fuego.** El propósito de las barreras contra fuego es minimizar el daño por limitación de la extensión del incendio. Estas están típicamente construidas de materiales no combustibles tales como los utilizados en albañilería, como el concreto o yeso planchado. Las barreras contra fuego son a menudo provistas dentro de construcciones, pero son ocasionalmente utilizadas fuera de ellas para separar unidades de proceso de otras operaciones riesgosas.

Las barreras están diseñadas para prevenir el paso de calor y de llamas por un periodo específico de tiempo designado por un rango de resistencia contra fuego. Los rangos se especifican típicamente en horas que van de 30 min a 4 horas

Existen dos tipos básicos de barreras contra fuego: muros contra fuego y divisores contra fuego. Los muros proporcionan mejor protección contra extensiones de incendios que las divisiones y tienen rangos de resistencia de 3 horas o más. Los muros contra fuego no son soportes de carga y tienen parapetos que se extienden hasta arriba en líneas adyacentes al techo y están diseñados de tal modo que el muro quede estancado en el suceso del colapso de la estructura en cualquier lado como resultado de un incendio. Los muros son un parapeto sin aperturas u otras penetraciones tales como conductos o tuberías y con una resistencia menor a 4 horas.

Las divisiones contra fuego proporcionan menos protección que los muros. Los rangos de resistencia son típicamente de 3 horas o menores y no se extienden hasta el techo.

El diseño de las barreras depende de algunos factores. Entre estos se encuentra el tipo y la severidad del fuego, tamaño y configuración de las áreas bajo consideración, tipos de operaciones críticas, códigos de construcción, y requerimientos de estándares de seguridad de la compañía, etc. Debido al número de factores que deben ser considerados, se debe consultar a personal capacitado para la ubicación y diseño de estas barreras. Sin embargo, algunos ejemplos de donde se pueden utilizar las barreras son:

- Barreras entre ocupaciones diferentes, como áreas de almacenamiento y producción
- Entre procesos separados y operaciones no relacionadas
- Entre áreas normalmente ocupadas por personal como los cuartos de control y oficinas y áreas de alto riesgo de fuego (áreas de proceso, almacenamiento, etc.)

Las barreras deben ser inspeccionadas sobre una base de rutina para asegurar que no han sido dañadas y que cualquier apertura y penetración que haya sido creada después de la construcción de la barrera, sean propiamente protegidas.

**Construcciones a Prueba de Incendio.** Las estructuras de acero que están expuestas a un incendio pueden perder su resistencia a la tensión y eventualmente decaer dependiendo de la cantidad de calor generado y de la duración del fuego. Si ocurre una falla en el acero, el equipo y la tubería podrían reventar o fallar liberando combustible y otros materiales potencialmente peligrosos. Es deseable por tanto proteger las estructuras de acero donde existe el potencial de liberación de grandes cantidades de material combustible o inflamable. Los rociadores de agua pueden ser usados para proporcionar esta protección, pero las construcciones a prueba de fuego se prefieren a causa de su naturaleza pasiva y por la mejora a la resistencia que presentan en explosiones con grandes ondas de choque.

Al igual que las barreras contra fuego, las construcciones a prueba de fuego están diseñadas para proteger el acero por un periodo específico de tiempo designado como rango de resistencia contra fuego. Los rangos de resistencia para construcciones a prueba de fuego son de 1 a 4 horas.

Existen tres sistemas básicos de construcciones a prueba de fuego:

- **Sistemas de rociado/cubrimiento.** Consisten de materiales de construcción contra fuego que son rociados o cubren directamente por encima de la estructura, frecuentemente con algunos medios de refuerzo. Los materiales utilizados son concretos o algunas mezclas cementosas.
- **Sistemas envoltivos.** Consisten de laminados flexibles o cojinetas que son envueltas alrededor de los miembros de las estructuras de acero. Los laminados o alfelpados son alzados en el lugar.
- **Sistemas "caja"** Consisten de una caja que se construye alrededor de los miembros de la estructura de acero empleando materiales aislantes no combustibles tales como minerales, fibras o tablas de yeso o mezclas adhesivas.

Es una práctica común no aplicar protección contra fuego o cubrir los bordes de las cimbras de vigas que serán usadas para soportar rejas de pisos al aire libre. Esto es debido a la dificultad de conseguir protección adecuada a prueba de fuego en su aplicación sin afectar la naturaleza y seguridad de las superficies de paso sin causar problemas de corrosión. Es importante sin embargo, que la interfase entre la protección y el acero en el borde sea propiamente sellada para prevenir que el agua y otras sustancias químicas penetren por abajo de la protección. La superficie de acero debe estar preparada adecuadamente para que el laminado se adhiera perfectamente y no se deteriore.

Los protectores deben ser continuamente revisados para detectar cualquier daño físico, deslaminado u otros deterioros. Cualquier deterioro debe ser completamente removido y prontamente reparado.

**Aislamiento Térmico.** Los aislamientos térmicos son a veces utilizados para proteger recipientes o equipos del calor durante un incendio. Esto puede ser particularmente útil con respecto al diseño de sistemas de mitigación de emergencia. Cuando se utiliza aislamiento en los equipos debe prestarse atención en el aseguramiento de que el aislamiento soportará la exposición de la aplicación de fuego y el riego de fluido con mangueras.

**Distancias de Separación.** Los incendios, particularmente aquellos que involucran hidrocarburos pueden generar cantidades significativas de radiación y calor convectivo. Excepto para el área inmediata del fuego, el calor radiante es el de primer interés. Como resultado de esto, es necesaria una protección contra calor radiante de fuegos potenciales para operaciones de plantas químicas.

Mientras que la protección contra calor radiante se puede proporcionar por métodos de protección pasiva o activa, la separación física es un método frecuentemente utilizado y el más deseable ya que también proporciona protección contra explosiones en áreas contiguas.

Además, no es inusual para las distancias de separación estar comprometidas con de expansiones subsecuentes de la planta, cambios en el proceso u otras modificaciones. Por esta razón, es esencial que las distancias de separación mínimas estén claramente definidas y mantenidas si es posible. Si ciertas modificaciones futuras de la planta son anticipadas y que además podrían impactar las distancias de separación, se deben emplear distancias de separación inicialmente mayores y la implementación de otros medios de protección. La forma de determinar las distancias de separación mínima es utilizar distancias de separación recomendadas.

Además de la exposición a calor radiante se deben considerar otros factores en la determinación de las distancias de separación y arreglo de la planta. Entre estos se incluye la topografía del lugar, los vientos predominantes (para liberación normal y accidental de gases y vapores), drenado de líquidos (para derrame accidental de líquidos) localización de equipos de protección contra fuego y el fácil acceso a vehículos de emergencia.

**Sistemas de Control de Drenaje.** Grandes cantidades de agua pueden utilizarse para combatir fuego en actividades que manejan químicos debido a que muchos materiales inflamables flotan en agua existe la posibilidad de que extiendan el fuego. Además, muchos químicos tienen el potencial para contaminar el agua y la tierra mojada. El agua utilizada para combatir el fuego puede dispersar estos

químicos y extender la contaminación, es por ello necesario el utilizar sistemas de drenaje para controlar el derrame de agua.

Las operaciones de drenado deben ser diseñadas para acarrear simultáneamente líquidos inflamables y agua de protección contra fuego de edificios, estructuras, tanques de almacenamiento racks de tuberías y equipo de proceso. Los sistemas de drenaje no deben estar expuestos a sistemas de plantas adyacentes de materiales quemados o tóxicos durante un incidente. En algunos casos, el agua y los químicos colectados durante un incidente necesitarán ser pretratados antes de disponerlos nuevamente a la actividad.

El drenaje de líquidos puede no ser deseable en algunos casos, ya que puede resultar en problemas más serios como grandes cantidades de vapor o contaminación de tomas de agua y en otros casos el drenaje puede no ser práctico debido a problemas de espacio. En tales casos, la protección adicional como espumas o rociadores de agua puede necesitarse para asegurar una adecuada protección.

Los sistemas de drenaje y vertederos se deben combinar para conseguir un adecuado control del derrame dependiendo de la situación en cuestión. Estas características incluyen:

- Superficies inclinadas
- Trincheras
- Rutas de salida
- Drenajes (con trampas para evitar retrocesos)
- Contenedores o diques
- Pozos (para contener derrames pequeños)
- Separadores de espumas (para separar contaminantes de agua)
- Represas contenedoras o tanques remotos
- Reactividad de químicos con agua u otros químicos en el sistema de drenaje

Además se deben considerar los siguientes factores:

- Volumen de líquidos que podrían ser liberados, así como la velocidad y el modo de liberación.
- Propiedades de los líquidos que podrían ser liberados, incluyendo extingibilidad, viscosidad, solubilidad en agua, densidad relativa y volatilidad.
- Flujo esperado de agua basándose en los sistemas de extinción.
- Tipo de superficie.
- Topografía.
- Espaciamiento y localización de los procesos.
- Promedio de precipitación pluvial.



- Duración esperada del incendio (tiempo implementado para el plan de contingencias)
- Riesgos de contaminación ambiental
- Códigos y regulaciones locales
- Medios necesarios para separar materiales orgánicos de agua para prevenir su drenado a ríos
- Revisión de los sistemas de control de drenado para asegurar su buena condición. En particular, los drenajes y trincheras se deben examinar para asegurar que no contengan ningún obstáculo. El agua de lluvia debe ser drenada o bombeada fuera de los contenedores

### 3.4 EXPLOSIONES

Las explosiones se caracterizan por una onda de choque, que puede producir un estallido y causar daños al personal y a las instalaciones y arrojar materiales a varios cientos de metros de distancia. Las lesiones y los daños son ocasionados principalmente por la onda de choque de la explosión.

Los efectos de la onda de choque varían según las características del material, su cantidad y el grado de restricción de la nube de vapor. Por consiguiente, las presiones máximas en una explosión varían de una ligera sobrepresión a unos cuantos cientos de KPa. Las lesiones directas se producen a presiones de 5 a 10 KPa (una sobrepresión mayor por lo general causa la pérdida de la vida) mientras que los edificios se derrumban a presiones tan bajas como de 3 a 10 KPa. La presión de la onda de choque disminuye rápidamente con el aumento de la distancia desde la fuente de la explosión.

Las explosiones pueden producirse en forma de una deflagración o de una detonación en función de la velocidad de combustión durante la explosión.

Los sistemas de procesos químicos pueden contener cualquier cantidad de riesgos potenciales dependiendo de su diseño, construcción y operación. Existe una gran cantidad de peligros asociados con repentinidad y rápidas sobrepresurizaciones que se deben generalmente a la inversión de reacciones químicas en fase gas desbocando en combustión o en un proceso exotérmico. Las consecuencias de cada uno de los eventos son potencialmente desastrosas. La ruptura de recipientes, componentes de equipo que salen disparados como proyectiles, descarga de productos de combustión, iniciación de explosiones secundarias, contaminación de la planta y el ambiente y lesiones al personal son los resultados típicos de estos eventos.

En general cualquier ambiente que maneje gases combustibles, líquidos volátiles, polvos explosivos y neblinas deben considerarse como peligros potenciales de explosión.

### 3.4.1 DEFLAGRACIÓN Y DETONACIÓN

La deflagración se define como la propagación de una onda de combustión a una velocidad menor que la del sonido medida en el frente de la flama, propagada via un proceso de transferencia de calor y difusión de especies cruzando al frente de la flama y el frente de la flama no se acopla ni en tiempo ni en espacio con el frente precedente de débil choque de la flama, pero un marcado ascenso en la presión precede esto. Las relaciones de presión máxima típicas generadas por la deflagración en tuberías son del rango de 8 a 12. Las velocidades máximas de propagación son de 10 a 100 m/seg aunque puede incrementarse a varios cientos de m/seg.

La transición de deflagración a detonación (DDT) es un fenómeno resultante de la aceleración de la flama vía combustión generando flujo turbulento y efectos de compresión de calor. En el instante de la transición un volumen de gas turbulento precomprimido adelante del frente de la flama detona a una alta velocidad y sobrepresión inusuales en una deflagración.

La ignición de un gas, nube de polvo o niebla resultará en la propagación de una flama frontal o deflagración ondulante con liberación de calor de combustión en el ambiente. Las deflagraciones también pueden ocurrir en algunos gases puros que tienen altos calores de formación. El acetileno por ejemplo puede descomponerse explosivamente a presión atmosférica, mientras que el etileno puede deflagrar a presiones elevadas. El efecto de una deflagración es el incremento de presión y volumen producido debido a un rápido ascenso en la temperatura y a un cambio en la cantidad del gas presente.

La detonación es la propagación de una combustión impulsando una onda de choque a velocidades sónicas o superiores medida al frente de la flama. La onda se mantiene por la energía química liberada por compresión, shock e ignición del medio sin reaccionar. El frente de la flama se acopla en tiempo y espacio al frente de la onda de choque y existe un incremento significativo en la presión adelante del frente de la flama y de la onda de choque. Las velocidades de propagación varían entre 1,000 y 3,500 m/seg dependiendo de la mezcla gaseosa, la temperatura y presión iniciales y el tipo de detonación. Las detonaciones pueden iniciarse con límites de concentraciones de combustibles conocidos como límites detonables, usando directamente un iniciador de detonación o vía DDT.

Una detonación genera mayores presiones y es más destructiva que una deflagración. El hecho de que se produzca una detonación o una deflagración dependerá del material de que se trate así como de las condiciones en que ocurre la explosión.

**Deflagraciones no confinadas.** La deflagración de un vapor o una nube de polvo no confinados presentan el riesgo de la expansión de una bola de fuego con sus emisiones asociadas de calor radiante y presión frontal

Las deflagraciones no confinadas ordinariamente no producen grandes sobrepresiones localizadas, porque la velocidad de propagación de la zona de reacción, o velocidad de flama, es mucho menor que la velocidad del sonido del medio no reactivo. Sin embargo, las deflagraciones frontales pueden acelerarse por turbulencia que pueda surgir en el área de flujo por otros factores. Comúnmente las fuentes de turbulencia en espacios de procesos son generadas por gradientes de velocidad, poderosas fuentes de ignición, obstáculos en la trayectoria del flujo y extensiones encerradas como tuberías y ductos. Una deflagración normal débil puede acelerarse y obtener velocidades cercanas a la del sonido. En tales circunstancias la deflagración fortalecida puede exhibir altas sobrepresiones localizadas. En el caso extremo, una deflagración fuerte puede someterse a transición a detonación (DDT) donde la sobrepresión localizada puede ser extremadamente alta aunque sea breve en duración. Daños severos a los sistemas de proceso son posibles dependiendo de la construcción. Los ductos cerrados con obstáculos internos, tal como los cubos de los elevadores son particularmente vulnerables a los efectos de deflagraciones aceleradas

**Deflagraciones Parcialmente Confinadas.** Una deflagración parcialmente confinada se representa por la combustión de un vapor o de una nube de polvo en un volumen pequeño de una pequeña sección de un cercamiento

**Deflagraciones Confinadas.** La combustión de mezclas inflamables en recipientes cerrados ocasiona un rápido aumento de la presión. Las características más importantes de una deflagración de este tipo son la presión máxima,  $P_{max}$ , y la rapidez máxima del aumento de presión,  $(dP/dt)_{max}$ , desarrollada durante el evento, y esta es tomada como un parámetro para determinar la explosividad de un material combustible

### 3.4.2 DETONACIONES

La detonación se refiere a una deflagración agitada que viaja a velocidades sónicas en un medio no quemado. Una detonación agitada consiste en un golpe de presión frontal el cual se provoca por un repentino gran aumento en la presión por la energía liberada en la zona de reacción. La separación entre el impacto frontal y la zona de reacción depende de la composición de la mezcla combustible y si el medio es gaseoso o de dos fases ( polvos y neblina). La composición límite de las mezclas que propagan detonaciones están restringidas por los límites de flabilidad de los sistemas aire-combustible u oxígeno-combustible.

El desarrollo de una detonación agitada expone problemas especiales a la protección contra explosiones. La velocidad de propagación de detonaciones completamente estables, observadas en ciertos sistemas de hidrocarburos combustibles-aire, son de alrededor de 1.800 m/s comparada con la velocidad del sonido, a condiciones ambiente, de alrededor de 335 m/s

**Explosiones de Nubes de Vapor** Las explosiones de nubes de vapor (VCE's) pueden ser eventos extremadamente destructivos. Estas explosiones se pueden ocasionar por la liberación masiva de compuestos inflamables.

Una explosión de una nube de vapor es el resultado de la ignición de una nube de vapor o un gas inflamable, la bola de fuego resultante se propaga a una velocidad de flama muy alta, liberando energía explosiva.

**Explosiones de Nubes de Vapor Confinado o no Confinado.** Las explosiones en locales cerrados son las que se producen dentro de algún tipo de contenedor, como un recipiente o una tubería. Las explosiones dentro de los edificios también corresponden a esta categoría.

Las explosiones que se producen al aire libre se designan como no confinadas o no limitadas y originan presiones máximas de solo unos pocos KPa. Las presiones máximas de las explosiones en lugares confinados son mayores y pueden llegar a cientos de KPa.

**Explosión de un líquido en ebullición con desprendimiento de vapores en expansión - BLEVE** La explosión de un líquido en ebullición con desprendimiento de vapores en expansión (BLEVE) es una combinación de incendio y explosión con una emisión de calor radiante intenso en un intervalo relativamente breve de tiempo. Este fenómeno puede producirse por una fuga o escape repentino de un líquido que se mantiene por arriba de su punto de ebullición normal en un recipiente o depósito presurizado. El contenido se escapa instantáneamente como una mezcla turbulenta de líquido y gas que se expande rápidamente y se dispersa por el aire como una nube o bola de fuego, que origina una radiación térmica de enorme intensidad en unos pocos segundos. Este tipo de explosión puede ser causada por el impacto físico sobre un recipiente o depósito que ya estaba averiado o sometido a una presión excesiva, o también a un incendio que afecte o que se extienda a dichos recipientes o contenedores y debiliten su estructura.

A presión atmosférica la fase líquida tiene una entalpía superior a la del equilibrio. El equilibrio se restablece rápidamente por la vaporización instantánea de una porción del líquido formando de esta manera una nube de vapor. En el caso de vapor inflamable, existe la amenaza de generación de una bola de fuego. En adición a la nube de vapor creada por un BLEVE, una cantidad significativa del líquido no vaporizado también es arrojada al aire en forma de neblina fina. En

presencia de una fuente de ignición está neblina participará también en el desarrollo de la bola de fuego. En el caso de gases licuados similares al propano y al butano, se puede asumir que la masa de material tendrá el potencial para desarrollar una explosión de una nube de vapor (VCE's).

**Explosiones de Gases y de Polvos.** Es posible hacer una distinción entre las explosiones de gases y las de polvos tomando como base el material de que se trate. Se habla de explosiones de gases, las cuales son catastróficas, cuando se liberan y dispersan en el aire cantidades considerables de material inflamable para formar una nube de vapor explosiva antes de que tenga lugar la ignición.

Se habla de explosiones de polvos cuando ciertos materiales sólidos inflamables se mezclan intensamente con el aire. El material sólido dispersado adopta la forma de material pulverizado con partículas de dimensiones muy pequeñas. La explosión resulta de un hecho inicial como un incendio o una pequeña explosión que motiva que el polvo depositado sobre las superficies pase a ser transmitido por el aire produciendo una explosión secundaria la cual puede producir una terciaria y así sucesivamente. Los efectos nocivos se limitan en general al lugar de trabajo y afectan menos a quienes se encuentran fuera de la fábrica.

### 3.4.3 SISTEMAS DE CONTROL Y PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES

#### 3.4.3.1 CONTROL DE LA FLAMABILIDAD

Dentro de las medidas para controlar los índices de flamabilidad se encuentran:

- Reducción de la concentración del combustible
- Reducción de la concentración del oxidante
- Empleo de un gas inerte

**Reducción de la Concentración de Combustible.** La primera de algunas consideraciones en el diseño de sistema de prevención de explosiones, es la identificación y el adecuado manejo de los materiales potencialmente combustibles dentro del ambiente natural del proceso. Se debe procurar que dichos materiales se mantengan fuera de los límites de concentración inflamable en el aire, preferiblemente por abajo del LFL. Algunas de las recomendaciones más importantes son:

- En sistemas, donde la concentración del combustible no sea monitoreada continuamente, la concentración de este se debe mantener por abajo del 25 % del LFL.

- El incremento de la temperatura o presión puede aumentar los límites de flamabilidad.
- Incorporar al equipo componentes apropiados que prevengan que la flama se regrese al interior de los espacios del proceso
- Mantener a un límite bajo la concentración de polvos combustibles, a través de medios como separadores ciclónicos, filtros o sistemas de precipitación. En lugares de proceso inhabitados por personal el polvo se puede acumular y mezclarse con el aire, formando de este modo, concentraciones combustibles. Para evitar esto se debe remover dicha acumulación de polvo periódicamente

**Reducción de la Concentración de Oxidante** En casos donde la presencia de vapores inflamables o polvos explosivos, no se pueda mantener fuera de los límites de flamabilidad es necesario que la concentración de oxígeno o de cualquier otro oxidante se mantenga por abajo del nivel mínimo de concentración de oxidante, LOC, para soportar la combustión. En casos donde se esté monitoreando continuamente la concentración del oxidante, esta se debe mantener a un 2% por abajo del LOC

**Empleo de un Gas inerte** Uno de los componentes más utilizados como gas inerte es el nitrógeno, ya que no reacciona con la mayoría de los materiales involucrados en un proceso. Sin embargo, puede reaccionar con algunos polvos metálicos como el de magnesio. En este caso el dióxido de carbono y el vapor de agua también pueden ser peligrosos, ya que la lenta oxidación del magnesio, en presencia de estos compuestos, produce gas hidrógeno, este se acumula o se adsorbe en el polvo haciéndolo susceptible a ignición. En estos casos se puede utilizar el argón como gas inerte

#### 3.4.3.2 MITIGACIÓN DE LA FLAMA DENTRO DEL EQUIPO

Los métodos empleados para mitigar los efectos de explosiones caen dentro de cuatro categorías básicas:

- Alivio de presión con expulsión de flama
- Aislamiento con o sin expulsión de flama
- Contenedores de presión
- Supresión

Los sistemas de alivio de presión generalmente consisten de válvulas de alivio, discos de ruptura o de sistemas de paneles de gran venteo

Los sistemas de aislamiento pueden ser pasivos (arrestadores de flama), activos o una combinación de ambos (válvulas giratorias y desviadores de flama frontal). Estos sistemas sirven para evitar la comunicación de zonas de combustión

con unidades de proceso. Los contenedores de presión (sistema pasivo) se emplean en recipientes para que puedan resistir las fuerzas impuestas por una deflagración o por reacciones desbordadas, cuando la liberación de presión no sea factible.

Los sistemas de supresión están formados por componentes que detectan condiciones tempranas de combustión, tales como chispas o flama frontal y, subsecuentemente, la extinción de materiales incendiados en un tiempo que evite el desarrollo de altas presiones.

Todos estos sistemas de mitigación se pueden utilizar en forma combinada y dependerá de los detalles del diseño y operación de un proceso dado y de los objetivos de seguridad que se pretenden.

Adicionalmente, en procesos que involucran actividades de laminado, trituración u otras operaciones mecánicas altamente energéticas, que puedan generar chispas, estas pueden transportarse a unidades o zonas con material combustible cercano a su LFL (como un colector de polvos) y de esta forma iniciar o provocar una deflagración. Las chispas se pueden detectar usando sistemas ópticos de detección infrarroja y en el caso de polvos, se pueden extinguir usando un sistema automático de rociado de agua u otro agente extintor.

**Sistemas de aislamiento de la combustión en tuberías y ductos.** En determinadas tuberías que transportan mezclas combustibles, la ignición de la mezcla puede propagar la flama a través de la tubería, este proceso debe ser bloqueado al principio de la línea, ya que de otra forma, la velocidad de propagación de la flama puede incrementarse considerablemente. Si la composición de la mezcla está dentro del rango detonable, la flama frontal puede experimentar transición de deflagración a detonación, desarrollando pulsos de presión de alrededor de 20 veces la presión inicial y presiones reflejadas de más de 50 veces la presión inicial.

Algunos de los sistemas de prevención de propagación de flama a través de tuberías y ductos son:

- Arrestadores de flama
- Interruptores de regreso repentino
- Válvulas de aislamiento
- Sistemas químicos inertes

Los arrestadores de flama interceptan y extinguen las flamas propagadas en tuberías por medio de una restricción al flujo de gas no quemado para su posterior enfriamiento y extinción. También se usan en los respiraderos de tanques que contienen líquidos inflamables.

El aislamiento mecánico de un sistema de tuberías es otra forma de prevenir el paso de flamas o pulsos de presión entre unidades de proceso. Las válvulas de aislamiento se emplean junto con dispositivos de detección y control, como los sensores de flama localizados a una distancia adecuada para que la válvula cierre al detectar flama. Ya que la propagación de flamas dentro de la tubería es demasiado rápida, el espaciamiento entre la válvula y el detector deben ser estrictamente los adecuados y si es posible demostrarlos en campo.

Un método alternativo al bloqueo por válvulas de aislamiento es el uso de agentes de extinción. Esos actúan, al igual que las válvulas, después de haberse detectado una flama. Los agentes de extinción más comúnmente usados son el bicarbonato de amonio y el fosfato de amonio dihidrogenado.

### 3.4.3.3 ELIMINACIÓN DE DEFLAGRACIONES

En la mayoría de los casos, las deflagraciones se pueden extinguir, antes de que el aumento en la presión sea inaceptable, si el inicio de la combustión puede detectarse tempranamente y si se cuenta con un adecuado agente de extinción que actúe rápidamente. Los sistemas de supresión son el único método de mitigación de la explosión, que detiene el avance de la combustión. Es un proceso competitivo entre la velocidad de calor de combustión y la liberación del agente extintor.

Un sistema de supresión de deflagración está constituido de tres subsistemas: a) detección, b) extinción y c) control y supervisión. Los detectores pueden ser de presión o de flama. Los detectores ópticos emplean sensores de radiaciones UV y son aptos para ambientes abiertos. Los detectores de presión se emplean en equipos de proceso y particularmente donde prevalecen atmósferas polvorientas.

Los subsistemas de extinción consisten de uno o más extinguidores de alta velocidad de descarga, cargados de agente y propulsor. Normalmente, el nitrógeno seco se utiliza como propulsor y las válvulas abren explosivamente proveyendo la rápida liberación del agente. Los agentes más comunes son: agua, bicarbonato de sodio o fosfato de amonio dihidrogenado, el mecanismo de extinción de cada agente es una combinación de apagado térmico e inhibición química.

El control de estos sistemas se hace a través de dispositivos electrónicos de poder provistos de una batería de respaldo.

Se considera que una deflagración se ha suprimido cuando: (1) la mezcla aire-combustible no quemada se ha inhibido debido al agente de extinción y no puede continuar la combustión, o (2) la zona de combustión se ha enfriado lo suficiente para ocasionar la extinción.



**Venteos de deflagración.** Un venteo de deflagración es una abertura creada en la pared de un cercamiento, diseñado para permitir el escape de gases de proceso lo suficientemente rápido como para prevenir un gran incremento en la presión. Generalmente es el método más sencillo y menos costoso de protección contra deflagración. El aumento de la presión debido a una deflagración confinada se encuentra en el rango de 8 a 10 veces la presión inicial absoluta. Sin embargo, los procesos cercados raramente están diseñados para soportar el esfuerzo generado por una deflagración confinada. Existe una presión a la cual el recipiente puede romperse y vaciar su contenido, esto es referido como la presión de la planta, PP, y representa el límite absoluto de la presión de falla.

### 3.5 PELIGROS POR ALTA PRESIÓN

Esta sección se ocupa de las causas de sobrepresión en equipos, y de los dispositivos de alivio de presión disponibles. El diseño de sistemas de protección contra sobrepresión debe considerar todos los escenarios que constituyen un peligro bajo las condiciones prevalecientes y evaluarlos en términos de la presión generada y/o las velocidades a las cuales los fluidos serán relevados. La sobrepresión puede darse por una falla simple o por fallas múltiples, y la probabilidad de ocurrencia de eventos múltiples conlleva a que el relevo sea considerado en el diseño.

Los escenarios que conducen a sobrepresión son contemplados bajo diversas categorías:

- Fuego
- Obstrucción del escape
- Falla operacional
- Falla del equipo
- Trastornos en el proceso
- Causas del proceso, velocidades de flujo desbalanceadas
- Fallas de la instalación

**Fuego.** El principal resultado de la exposición a fuego es el suministro de calor, causando expansiones térmicas o vaporizaciones o descomposiciones inducidas térmicamente, teniendo como resultado el incremento de la presión. Un resultado adicional de la exposición a fuego es el sobrecalentamiento de la pared del recipiente a alta temperatura en el espacio del vapor, donde la pared no está enfriada por el líquido. En este caso, la pared del recipiente puede fallar debido a la alta temperatura aún cuando el dispositivo de relevo este operando.

Los recipientes a presión (incluyendo cambiadores de calor y enfriadores con aire) que se encuentren en una planta que maneje fluidos inflamables, están sujetos a una exposición potencial de fuego externo. Los recipientes que están

expuestos a fuego estancado deben ser protegidos por medio de un dispositivo de alivio de presión. Se puede tener además, protección adicional para reducir la carga de alivio por medio de aislamiento térmico, espreado de agua, o por un dispositivo de depresurización a control remoto (válvula de control)

Los recipientes que están en un servicio de gas y expuestos a fuego pueden fallar en pocos minutos debido a la expansión térmica del gas y al sobrecalentamiento aún protegidos con rociadores de agua contra fuego o aislamiento. La depresurización de estos recipientes no debe considerarse como una alternativa para proporcionar protección, lo más adecuado es contar con un dispositivo de alivio de presión.

El área superficial expuesta a fuego determina el área efectiva en la generación o calentamiento de vapor. La cantidad de vapor generado en recipientes, conteniendo líquidos expuestos a fuego, depende de las propiedades termodinámicas del fluido, la presión relevada y la velocidad de suministro de calor. Además

1. Para un fluido que tiene baja su temperatura y presión críticas durante condiciones de alivio, la vaporización debida a fuego externo puede crear una expansión volumétrica la cual puede causar sobrepresión. La velocidad de alivio debe ser igual a la de vaporización. El calor total absorbido es función de las dimensiones del recipiente, el nivel de líquido y el espesor del aislamiento si lo hay.
2. El flujo a dos fases sólo puede ocurrir en situaciones únicas como en el caso de fuego en el fondo de un recipiente que contiene un fluido con características espumantes como el látex.

**Fallas Operacionales** Errores en la operación o mantenimiento de equipos pueden bloquear el orificio de salida de una corriente de líquido o vapor en un equipo de proceso teniendo esto como resultado condiciones de sobrepresión. Para situaciones donde se bloquea la salida del líquido, la carga aliviada debe ser la del flujo normal a menos que se trate de un equipo mecánico como una bomba. Para situaciones donde se bloquea la salida de vapor, la carga aliviada es la máxima generación de vapor a las condiciones específicas de aliviado. Esta carga puede reducirse por el envío de vapor a las salidas de vapor remanente si es que existen.

Las válvulas que normalmente están cerradas para separar corrientes y/o equipos de proceso pueden abrirse inadvertidamente, causando la liberación de una corriente de alta presión o resultando en condiciones de vacío.

Los efectos adicionales de tales fallas pueden ser flujos críticos, vaporizaciones instantáneas de líquidos, reacciones desbordadas, etc y deben ser considerados como consecuencias de esta desviación de la operación.

Las válvulas de control corriente abajo de recipientes a alta presión conteniendo líquidos, pueden abrirse y dar como resultado un flujo excesivo de líquido generando un alto flujo de vapor corriente abajo. Los recipientes y equipos corriente abajo deben ser capaces de manejar los vapores excesivos; de otra forma, es necesario un dispositivo de alivio para dichos casos.

Una de las causas más comunes de sobrepresión es la falla de agua de enfriamiento. Dos ejemplos de las consecuencias críticas de este evento son la pérdida de servicio de condensación en fraccionadores y la pérdida de enfriamiento para los sellos del compresor en sistemas de lubricación. Los eventos de escenarios que abarcan a la planta incluyen la falla de la bomba de agua de enfriamiento, falla de cualquier sección del cabezal principal o pérdida de ventiladores en la torre de enfriamiento.

La falla de potencia puede parar todos los motores de equipos rotatorio como bombas, compresores, enfriadores por aire y agitadores. Esto puede tener una cascada negativa afectando a otros equipos y sistemas de la planta.

Las consecuencias de la falla de aire de instrumentos debe ser evaluada en combinación con el modo de falla del actuador de la válvula de control. No debe asumirse que la respuesta correcta a la falla de aire, ocurrirá en esta válvula de control (a falla abre, cierra o en posición). El dimensionamiento de las válvulas de alivio se debe basar en la falla del componente más crítico del sistema de suministro de aire.

La pérdida de reflujo o recirculación en torres de fraccionamiento es típicamente causada por fallas de potencia en las bombas o cuando la válvula de control cierra a falla. Las velocidades de alivio deben ser analizadas basándose en el balance de calor alrededor del fraccionador para estimar la pérdida de este calor. El análisis debe considerar la pérdida de efecto de fraccionamiento sobre la composición, cambios de temperatura del reboiler, etc.

Los equipos y tuberías que se encuentran llenos de líquido bajo condiciones sin flujo están expuestos a expansión hidráulica debido al incremento en la temperatura y, por lo tanto, se requiere de una protección contra sobrepresión. Las fuentes de calor que ocasionan la expansión térmica son la radiación solar, trazo de calor, bobinas calientes, transferencia de calor desde la atmósfera u otros equipos. Otra causa de sobrepresión en un cambiador de calor es el bloqueo del lado frío mientras el flujo del lado caliente continúa. Los sistemas criogénicos son particularmente vulnerables a tales hechos.

Los equipos pueden experimentar inadvertidamente un vacío causado por las siguientes contingencias.

- Mal funcionamiento del instrumento

- Líquido drenado desde equipos sin venteo o gas de represurización
- Cierre de la purga de vapor sin presurización con vapores no condensables como el nitrógeno, aire o gas combustible.
- Temperatura ambiental extremadamente baja dando como resultado presiones de vapor subatmosféricas de ciertos materiales
- Pérdida de suministro de calor a ciertos recipientes de proceso manejando materiales con bajas presiones de vapor, mientras se mantiene simultáneamente enfriamiento, condensación o pérdida de calor del recipiente al ambiente
- Pérdida de calor en calentadores de desecho, resultando en condensación de vapor
- Procesos de absorción, por ejemplo vapores de HCl en agua
- Cambios climáticos bruscos
- Adición de agua a recipientes que han sido purgados con vapor.

Los métodos de protección contra condiciones de vacío incluyen (1) equipo diseñado para condiciones de vacío total o parcial y (2) instalación de dispositivos de protección contra vacío.

**Fallas de Equipo** En los cambiadores de calor puede presentarse una ruptura del tubo ocasionando una sobrepresión en el equipo. Las características de este evento determinan la capacidad de alivio requerida.

En soloaires los dos tipos más comunes de fallas son en el ventilador y en la persiana. Una falla de persiana (cerrado) puede ser el resultado de una falla de control, fractura del acoplamiento mecánico o vibración excesiva, por lo tanto se tiene una pérdida total de enfriamiento, causando pérdida de producción de agua de enfriamiento en las torres para dicho fin, o pérdida de condensación en fraccionadores. La pérdida de un ventilador es menos crítica debido a los efectos de convección natural.

Las fallas de una válvula de control puede causar dos contingencias básicamente (1) falla de la válvula de control en la posición de apertura total causando un fluido de alta presión para entrar a un sistema de baja presión. Esto causa vaporización parcial del fluido que cruza la válvula de control lo cual causa flujo a dos fases; y (2) falla de la válvula de control en la posición de cerrado, bloqueando de esta forma la entrada o salida del fluido.

**Trastornos del Proceso.** En un reactor puede existir temperatura y presión desbordadas debido a diversos factores como la pérdida de enfriamiento, fallas de alimentación o apagado, temperatura o velocidades de alimentación excesivas, polimerización, contaminantes, problemas de catálisis o fallas de instrumentos y control. La principal consecuencia de esto es la alta velocidad de la energía liberada y/o formación de productos gaseosos los cuales causan un rápido

incremento de la presión en el reactor. La alta temperatura causa la reducción de la tensión permitida en el recipiente.

### 3.5.1 PROTECCIÓN CONTRA SOBREPRESIÓN

Existen dispositivos de alivio de emergencia y sistemas para minimizar la liberación de materiales peligrosos causada por equipo sujeto a presión o vacío. La alta integridad del equipo y tubería son la primera capa de contención. La depresurización (liberación controlada) es otra de las alternativas para evitar liberaciones de gran escala. Sin embargo existen situaciones en que además de todo lo anterior, es necesario el uso de dispositivos de alivio de presión y como es el último recurso, deben ser de una alta confiabilidad, aunque su funcionamiento no sea tan frecuente. El objetivo del diseño de todas las capas de contención es minimizar la actuación de los dispositivos de alivio.

Los dispositivos de alivio más usados son las válvulas de relevo seguras y/o discos de ruptura los cuales descargan a un sistema abierto que puede ser la atmósfera o un recipiente de contención o un sistema de disposición de efluentes. Después de que una válvula de alivio se ha abierto como una posibilidad su funcionamiento está comprometido y por lo tanto debe ser verificado a un tiempo conveniente.

**Válvulas de Relevo Seguras.** Las válvulas de relevo seguras se usan en sistemas donde las presiones de regreso vigorizado no exceden el 10% de la presión asentada. Las altas presiones de rebote vigorizado pueden causar una pérdida completa de la capacidad de la válvula. El diseñador debe examinar los efectos de otros dispositivos de alivio conectados a un cabezal común, sobre el funcionamiento de cada válvula.

Las válvulas de relevo seguras balanceadas pueden usarse en sistemas donde la presión de rebote vigorizada es alta o variable. La capacidad de una válvula balanceada no se ve afectada por presiones de rebote de hasta alrededor del 30% de la presión asentada. Se debe tener cuidado de que la presión desarrollada no exceda los límites mecánicos de los fuelles. Esta consideración puede limitar la máxima presión de rebote permitida para un servicio dado.

Dentro de las válvulas de alivio balanceadas hay dos tipos: las de fuelle y las de pistón. Las válvulas de fuelle se diseñan para igualar fuerzas de presión de rebote sobre ambos lados del disco de la válvula. El fuelle tiene un venteo a la atmósfera o a un sistema de disposición de efluentes, proporcionándole una presión constante. Estas válvulas pueden usarse en un servicio corrosivo o de mucho incrustamiento.

**Discos de Ruptura** Un disco de ruptura es un dispositivo que actúa por la presión estática de entrada y está diseñado para funcionar por reventamiento de un disco de retención de presión. Las piezas de un disco de ruptura consisten de una delgada membrana circular hecha de metal, plástico, grafito o una combinación de diversos materiales, que está firmemente afianzada sobre la base del disco o portadisco. Están diseñados para resistir una presión superior al nivel especificado a el cual deben reventarse y liberar la presión proveniente del sistema protegido. Pueden instalarse solos o en combinación con otros dispositivos de alivio de presión. Los discos de ruptura están disponibles en diversos tipos y diseños y pueden usarse para presión o vacío completo.

Algunas veces es preferible usar discos de ruptura en vez de válvulas de alivio debido a la gran capacidad de alivio la cual se obtiene por el tamaño del disco. Sin embargo, los discos de ruptura no pueden volver a usarse y deben ser removidos del servicio o aislados para su reemplazo.

**Dispositivos de Supresión de Vacío.** Ocasionalmente, un recipiente pueda experimentar condiciones de vacío debido a una condensación excesiva o a trastornos en el proceso y, por lo tanto, se debe proteger de un colapso ocasionado por el vacío. Esta protección contra vacío total o parcial se puede proporcionar por medio de un dispositivo de supresión de vacío, o por el ingreso de aire, nitrógeno o gas combustible al recipiente para evitar que se desarrolle el vacío. Si la supresión del vacío se da desde un cabezal, se debe asegurar que no contenga vapores condensables.

**Depresurización de Emergencia.** Las instalaciones de emergencia más comunes incorporadas a las plantas son

- Sistemas de depresurización de emergencia
- Sistemas de paro de emergencia
- Sistemas de aislamiento de emergencia

Los sistemas de paro de emergencia de equipos y fuentes de calor se emplean ampliamente para limitar las cargas de alivio.

La depresurización de emergencia es efectiva para reducir el riesgo de falla en.

- Reactores donde existan reacciones desbordadas potencialmente incontrolables.
- Equipo donde un trastorno en la temperatura pueda conducir a una falla del equipo o a presiones de diseño bajas.
- Equipo expuesto a fuego donde haya pérdidas de fluidos de proceso usados normalmente para controlar incrementos en la temperatura.
- Unidades de proceso operando a presiones mayores a los 1,000 psig.

Los vapores provenientes de una depresurización de emergencia pueden llevarse a un sistema de quemadores, a instalaciones especiales de escape de vapor o a la atmósfera. Los efectos de autorefrigeración se deben considerar cuando los sistemas de alta presión se depresurizan y se llevan a sistemas de baja presión.

### **3.6 ESCAPE DE SUSTANCIAS TÓXICAS**

Existen numerosas sustancias químicas con las que es preciso actuar con particular meticulosidad para impedir que produzcan efectos nocivos en los trabajadores y personas en general. La importante disciplina de la higiene en el trabajo existe para elaborar los métodos necesarios de control contra la exposición a esas sustancias químicas, de ser posible durante toda la vida laboral de un trabajador industrial. Esto tiene una importancia esencial para la seguridad de los trabajadores. Por otra parte, los efectos de las sustancias químicas tóxicas son totalmente diferentes cuando se examinan los riesgos de accidentes mayores y guardan relación con una exposición aguda durante e inmediatamente después de un accidente importante, más que con una exposición crónica de larga duración. El almacenamiento y utilización de sustancias químicas tóxicas en grandes cantidades pueden sufrir un escape y dispersarse por el viento teniendo el potencial de causar la muerte o lesión a personas que viven a muchos cientos de metros de la fábrica o planta y que no pueden huir o encontrar refugio.

La toxicidad de las sustancias químicas se suele determinar mediante el empleo de cuatro métodos principales que son los siguientes: el estudio de los incidentes, los estudios epidemiológicos, los experimentos sobre animales y los ensayos con microorganismos. A pesar de su valor evidente, todos esos métodos tienen deficiencias cuyo examen queda fuera del alcance de este trabajo, pero que implican la necesidad de actuar con prudencia al interpretar los resultados. En la toxicidad de las sustancias químicas influyen asimismo otros factores como la edad, el sexo, los antecedentes genéticos, el grupo étnico, la nutrición, la fatiga, las enfermedades, la exposición a otras sustancias con efectos sinérgicos y las horas y modalidades del trabajo.

El cloro y el amoníaco figuran entre las sustancias químicas tóxicas más comúnmente utilizadas en grandes cantidades y que entrañan riesgos, y ambos tienen un historial de accidentes graves. Del mismo modo, otras sustancias químicas, como el isocianato de metilo y la dioxina se deben utilizar con particular cuidado dada su mayor toxicidad, aún cuando se pueden manipular en cantidades menores.

Una sustancia tóxica es aquella que puede producir un efecto negativo sobre la salud de una persona o animal. Los efectos de la exposición a las sustancias tóxicas dependen de varios factores como 1) propiedades de la sustancia, 2)

cantidad de la dosis; 3) nivel de exposición; 4) ruta de entrada, y 5) resistencia del individuo a la sustancia.

Cuando una sustancia tóxica actúa sobre el cuerpo humano, la naturaleza y extensión de la respuesta al daño depende de la dosis recibida. Esto es, la cantidad de químico que entra al cuerpo o sistema y el intervalo de tiempo durante el cual esta dosis ha sido administrada.



## CAPITULO 4

### TÉCNICAS DE EVALUACIÓN DE RIESGOS

El propósito de este capítulo es el sumarizar aspectos importantes de cada una de las técnicas de evaluación de riesgos. Las técnicas descritas son tratadas de la misma forma, sin querer decir esto que todas son apropiadas para cualquier circunstancia. Algunas de las técnicas son más apropiadas para emplearse en la realización de estudios de riesgos generales. Estas técnicas son más eficientes cuando se aplican durante la vida de un proceso en forma cotidiana, o cuando se detectan riesgos inherentes a una planta grande o un proceso complejo. El aplicar estas técnicas de esta manera puede mejorar significativamente la efectividad de costos de esfuerzos posteriores para mejorar la seguridad (revisión de la seguridad, lista de verificación, clasificación relativa, análisis preliminar de riesgos y what-if?).

Otras técnicas de evaluación de riesgos (what-if? /lista de verificación, HAZOP, análisis del modo de falla y efectos) son excelentes opciones para realizar análisis detallados de un amplio rango de riesgos durante el diseño detallado de un proceso y cuando el proceso se encuentra en su fase de operación. Se emplean para identificar situaciones peligrosas, las cuales pueden ser estudiadas con técnicas de análisis más sofisticadas.

Algunas de las técnicas deben ser usadas en situaciones especiales que requieren un análisis detallado de uno o de algunos riesgos específicos. Estas técnicas (análisis árbol de fallas, análisis árbol de eventos, causa-consecuencia, análisis de la confiabilidad humana) requieren de un entrenamiento especializado y de la habilidad de los analistas. El analista debe ser cauteloso al utilizar estos métodos sobre cada una de las situaciones de riesgo, ya que requiere de más tiempo y esfuerzo que en los demás métodos.

La evolución de algunas técnicas ha sido de forma natural y se han ido perfeccionando con el paso del tiempo. La documentación y los formatos también se han modificado a lo largo de los años. Esto no significa que los estudios realizados utilizando las técnicas originales no sean válidos; más bien, significa que esas técnicas han evolucionado para enfrentarse a las necesidades cambiantes de la industria.

#### 4.1 ANÁLISIS PRELIMINAR DE RIESGOS

Existen varios procedimientos que pueden ser utilizados para identificar los riesgos en un proceso o instalación. Una revisión de los Diagramas de Flujo de Proceso (DFP's) y de los Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI's), pueden representar un paso muy importante para identificar los riesgos potenciales que hay en las instalaciones existentes, en instalaciones en etapa de planeación o en instalaciones que están por ser modificadas.

Un DFP incluye los datos sobre la composición de los fluidos de cada línea, la presión normal y condiciones de temperatura de los fluidos y los gastos de los mismos. Con esta información, los analistas en riesgos pueden determinar cuales líneas, recipientes, bombas, compresores, etc manejan materiales tóxicos o inflamables. También se puede establecer el tipo de escapes que se puedan presentar en caso de fuga o derrame, por ejemplo, fase gaseosa, líquida, líquida con flasheo, por arriba o por abajo del punto de ignición, chorros a alta o baja presión, altas o bajas velocidades de fuga, etc. Esta información será usada como parte de la revisión del DTI y posteriormente empleada para pronosticar las zonas de riesgo en caso de emergencias, escapes, fugas o derrames accidentales.

Un DTI es una representación esquemática de todas las líneas de proceso, recipientes, válvulas, coladores, bombas, compresores, etc. También indica los diámetros de las líneas, su especificación y su identificación. Además incluye instrumentación, tipos de ella, funciones, localización e interlocks de toda la instalación. El DTI debe ser revisado línea por línea para ratificar que todos los equipos y accesorios están indicados, o bien, que existen en campo. Entre las cosas a observar se incluyen las válvulas de relevo en todos los recipientes a presión, válvulas de bloqueo, venteos, drenajes, aislamiento, válvulas de exceso de flujo, válvulas de retención, elementos primarios de instrumentación, señales y tipo de éstas, indicadores/registradores en tableros, sistemas de monitoreo de atmósferas y vibración en equipo rotatorio, medidores de flujo y de nivel y alarmas para los distintos grados de libertad críticos o variables independientes críticas.

También se requiere contar y revisar los Planos Generales de Localización de Equipo (PGL's), ya que estos representan la ubicación de todos los equipos e instalaciones de la planta de proceso, como se encuentran en campo y a una

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

escala apropiada. Deben ser revisados para determinar si existen todos los equipos indicados o ha habido modificaciones.

De igual manera se requieren los Planos de Drenajes (tanto industrial como sanitario y pluvial). Deben ser revisados en campo para determinar si existen contaminantes y, por lo tanto cambios de áreas de riesgo.

Adicionalmente, se requieren los Planos de Instalación Eléctrica (Cuadros de Carga, Diagramas Unifilares, Iluminación y Subestaciones), con objeto de poder evaluar los tipos de instalaciones eléctricas de acuerdo a las áreas de riesgo.

Esta metodología no excluye la necesidad de examinar una gran cantidad de riesgos; de hecho es precursor para realizar estudios de evaluación de riesgos subsiguientes. Existen dos ventajas principales cuando se aplica tempranamente en la vida de un proceso. 1) identifica riesgos potenciales a un tiempo donde pueden ser corregidos con costos mínimos y 2) puede ayudar a que el equipo de análisis desarrolle guías de identificación y desarrollo de operaciones que pueden utilizarse durante la vida de un proceso.

De esta manera los riesgos principales pueden ser eliminados, minimizados o controlados desde el principio. Este tipo de evaluaciones pueden ser llevadas a cabo por una o dos personas que tengan antecedentes en seguridad de procesos.

#### **4.1.1 PROPÓSITO**

Identificar deficiencias en la instrumentación y equipo de proceso que puedan causar situaciones peligrosas, generalmente aplicado al diseño conceptual de la planta.

#### **4.1.2 APLICACIONES**

Generalmente se emplea durante la etapa de diseño de un proyecto nuevo, en fases del mismo o al efectuar modificaciones a las instalaciones existentes. Incluso puede aplicarse durante una operación existente que requiera de un análisis de riesgos y se desee detectar situaciones de accidentes potenciales. También, es utilizada como herramienta de revisión de diseño antes de desarrollar los DTI's de un proceso.

#### **4.1.3 INFORMACIÓN REQUERIDA**

Para efectuar este análisis se debe contar con un juego completo de los DFP's, DTI's, PGLE's, planos generales de drenajes y diagramas eléctricos y un amplio conocimiento del sistema o instalación.

#### **4.1.4 PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN**

La revisión de los dibujos comienza con los DFP's. El propósito principal de la revisión de los DFP's es identificar las líneas, recipientes, bombas, compresores, etc. que manejen materiales peligrosos ya sean corrosivos, reactivos, explosivos, tóxicos, inflamables o biológicos; algunos materiales que no caen en esta clasificación, bajo condiciones especiales se convierten en materiales peligrosos, como puede ser el manejar combustibles a temperatura superior a la de ignición, vapor sobrecalentado o líquidos criogénicos.

La revisión de los DTI's se enfoca en las unidades del proceso y sistemas de transferencia que involucren materiales peligrosos, como fueron identificados en los DFP's y evaluar los sistemas de control para esas áreas. Un método común de revisión de DTI's es usar lápices de colores para trazar sobre las líneas y aplicar un código de colores que puede ser verde para aire de instrumentos, rojo para líquidos inflamables, naranja para materiales tóxicos, etc.

La revisión de los PGLE's sirve para ubicar físicamente en las instalaciones los equipos que manejan materiales peligrosos, pudiendo marcarse con el código de colores antes descrito. En esta forma se pueden ubicar las zonas de riesgo.

En cuanto a los Planos de Drenajes también se pueden marcar con el código de colores para establecer las rutas y registros de los mismos diferenciando los industriales de los sanitarios y los pluviales, con lo cual es posible definir y clasificar las áreas de riesgo.

Por lo que respecta a los planos eléctricos, deben ser revisados para corroborar si las especificaciones de las instalaciones corresponden a las áreas de riesgo y su clasificación.

Durante la revisión de los planos, el grupo deberá elaborar una lista de comentarios para cada plano. Algunos de los comentarios indicarán cambios, otros los sugerirán y algunas preguntas serán para recordar la intención del diseño del sistema.

Antes de iniciar este método, el alcance y los resultados deseados deben estar especificados. La profundidad de la revisión de los planos variará de acuerdo a los resultados deseados. En cualquier caso se debe recordar que las revisiones no intentan rectificar el diseño completo.

#### **4.1.5 RESULTADOS**

El Análisis Preliminar de Riesgos produce una lista de los riesgos identificados, las causas, así como las consecuencias potenciales, además identifica áreas e instalaciones que requieran de un análisis posterior.

#### 4.1.6 TIEMPOS ESTIMADOS PARA LA EJECUCIÓN

Alcance	Preparación <sup>a</sup>	Evaluación	Documentación <sup>a</sup>
Sistema Simple/Pequeño	4 a 8 hr	1 a 3 días	1 a 2 días
Proceso Complejo/Grande	1 a 3 días	4 a 7 días	4 a 7 días

<sup>a</sup>Solo el líder del equipo.

#### 4.2 REVISIÓN DE LA SEGURIDAD

La técnica de análisis denominada Revisión de la Seguridad consiste en hacer una inspección detallada de las instalaciones de una planta para identificar riesgos específicos del diseño del proceso, condiciones de la planta, prácticas de operación o actividades de mantenimiento y para verificar que la planta reúna los códigos de seguridad aplicables. La inspección es de forma física, es decir, que involucra un examen visual de la instalación. Esta técnica es una evaluación detallada del programa de seguridad general de las instalaciones de proceso.

Las inspecciones se realizan por un experto o grupo de ellos, de manera informal, y ayudan a mantener al personal en turno alerta a los procesos riesgosos, ya que ellos tienen que responder a las preguntas de una inspección de reconocimiento. Esta evaluación pretende localizar o identificar procedimientos de operación y equipo que requieran de una revisión, o modificaciones al proceso las cuales pudieran haber introducido nuevos riesgos y mantenimiento inadecuado. Esta metodología debe verificar cada uno de los equipos de la planta, la instrumentación asociada, las actividades inherentes, las actividades de protección ambiental y las áreas de mantenimiento y servicios. También, es importante la realización de entrevistas con los empleados de la planta (de las áreas de operación, mantenimiento, ingeniería y seguridad) las cuales son necesarias para que cada actividad pueda ser examinada perfectamente desde varias perspectivas. Además, es necesario hacer una evaluación del grado de conocimiento y adiestramiento del personal de la planta en cuanto al proceso. La cooperación de cada individuo y grupo es necesaria para mejorar de una manera más completa el funcionamiento y seguridad de la planta.

##### 4.2.1 PROPÓSITO

La técnica de Revisión de la Seguridad se utiliza para identificar condiciones o procedimientos inseguros; verificar que las prácticas de operación, mantenimiento, y de la planta en general se encuentren dentro de los acuerdos de

diseño y de los estándares de construcción y determinar si los planes de seguridad (generales) se están implementando en toda la planta

#### **4.2.2 APLICACIONES**

Esta técnica se utiliza para conducir inspecciones periódicas en una planta en operación o en modificaciones recientes del proceso y también, es de gran ayuda para verificar las condiciones de seguridad existentes antes de poner en operación un proceso nuevo o modificado. Es aplicable en plantas piloto, laboratorios, operaciones de almacenamiento, etc

#### **4.2.3 INFORMACIÓN REQUERIDA**

El primer paso al aplicar una Revisión de la Seguridad es definir aquellos sistemas, procedimientos, operaciones y personal que serán sujetos a evaluación a través del conocimiento de los equipos de proceso y los sistemas de seguridad. Para esto se requiere un juego completo de los DFP's, DTI's, manuales de procedimientos de operación, mantenimiento, emergencia, así como los de entrenamiento, códigos aplicables, estándares y requerimientos de la compañía, un listado de los riesgos conocidos y la historia del proceso

#### **4.2.4 PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN**

La revisión debe iniciar con una orientación general de la planta y especificando los cursos para efectuar las inspecciones y entrevistas. La inspección física de la planta incluye todos los procesos relacionados con el equipo, operación, equipo de protección contra fuego, etc. iniciando con una revisión de los DFP's, DTI's y otros documentos que el grupo de trabajo puede usar para determinar que equipos específicos deben ser inspeccionados cuantos hay, y donde están localizados. El grupo de evaluación debe preparar listas de verificación de cada tipo de equipo sujeto a inspección (lista de válvulas de alivio de presión, extinguidores de fuego, detectores de gas combustible, tanques de almacenamiento, etc.) Posteriormente se genera una auditoría de aspectos específicos que deben ser verificados para cada conjunto. Es necesario presentar un ejemplo de aplicación para que la inspección física pueda aplicarse en forma sistemática

La revisión de los procedimientos de operación, mantenimiento y de emergencia pueden realizarse antes, durante o después de la inspección física. Generalmente las entrevistas al personal se realizan al final. Aquí se puede obtener información útil si las entrevistas se preparan de tal manera que los miembros de la planta indiquen qué y cómo harían durante una situación real, es decir, explicar la secuencia de acciones y como esperan que el sistema reaccione. También, debe considerarse el grado de preparación que el personal posea para manejar y utilizar aquellos sistemas que estén relacionados la

seguridad de la planta. Esto ayuda a crear un listado de los sistemas que serían revisados solo durante condiciones críticas de operación.

Finalmente se prepara un reporte de todas aquellas fallas localizadas.

#### 4.2.5 RESULTADOS

Los resultados se basan en descripciones cualitativas de situaciones de riesgos potenciales. El reporte debe incluir desviaciones de la intención del diseño y de los procedimientos autorizados, listas de deficiencias específicas, áreas problema, acciones recomendadas y su fundamento. Adicionalmente se pueden generar listados de seguimiento de acciones para ayudar a resolver problemas en algunas actividades o confirmar que se han implementado.

#### 4.2.6 TIEMPOS ESTIMADOS PARA LA EJECUCIÓN

Alcance	Preparación <sup>a</sup>	Evaluación	Documentación <sup>b</sup>
Sistema Simple/Pequeño	2 a 4 hr	6 a 12 hr	4 a 8 hr
Proceso Complejo/Grande	1 a 3 días	3 a 5 días	3 a 6 días

<sup>a</sup>Principalmente el líder del equipo.

#### 4.3 LISTA DE VERIFICACIÓN

Un análisis tradicional a través de una Lista de Verificación emplea un listado de conceptos o procedimientos secuenciales para identificar los tipos de riesgos, deficiencias del diseño, así como los accidentes potenciales asociados con el proceso, equipo o procedimientos comunes. Esta técnica se utiliza más frecuentemente para evaluar un diseño específico con el cual la industria tiene una mayor experiencia, pero también puede utilizarse en fases primarias de mejoramiento para procesos nuevos, de manera que se identifiquen y eliminen riesgos que han sido reconocidos a través de años de operación de sistemas similares.

El uso adecuado de esta técnica asegurará que cualquier parte del equipo esté funcionando bajo los estándares aplicables y también ayuda a identificar aquellas áreas que requieren de una evaluación más detallada y completa. Para que estas listas de verificación sean más útiles deben diseñarse específicamente para una compañía, planta o producto en particular. Esto incluye visitas al lugar de estudio y una comparación del equipo para la lista de verificación. Para procesos que no

han sido estructurados en listas de verificación, personal experimentado compara la documentación apropiada de diseño contra listas de verificación pertinentes.

Este tipo de análisis se limita por la experiencia requerida para aplicarla, por consiguiente, debe llevarse a cabo por autores con antecedentes variados que tengan una amplia experiencia con el sistema que se va a analizar.

#### **4.3.1 PROPÓSITO**

La Lista de Verificación pretende garantizar que la empresa está cumpliendo con las prácticas estándares

#### **4.3.2 APLICACIONES**

Una Lista de Verificación es aplicable en cualquier etapa en la vida de un proceso. Además, puede utilizarse para evaluar materiales, equipos o procedimientos específicos. También se emplea en fases primarias de mejoramiento de procesos nuevos.

#### **4.3.3 INFORMACIÓN REQUERIDA**

Se requieren DFP's, DTI's, manuales de procedimientos de operación, mantenimiento, emergencia y entrenamiento, conocimiento de los equipos de proceso y todo lo relacionado al sistema de seguridad. Además de esto es necesario contar con una lista de verificación seleccionada por el analista y que sea apropiada al sistema en cuestión. En caso de no contar con una lista apropiada esta debe ser preparada por el analista basándose en su propia experiencia.

#### **4.3.4 PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN**

La realización del análisis de un sistema existente debe incluir inspecciones visuales de las áreas de proceso que han sido seleccionadas. El analista debe comparar las condiciones del equipo de proceso y operaciones a las contenidas en la Lista de Verificación. Se pueden preparar listas de cada equipo en específico. Además, se debe verificar que se cumpla con los procedimientos de operación, mantenimiento y emergencia durante las observaciones hechas en las visitas al escenario en base a la información disponible del sistema, a las entrevistas con el personal de operación. Cuando las características del sistema no concuerden con lo establecido en las Listas de Verificación, se deben anotar dichas diferencias.

Cuando se trata de un proceso nuevo, previo a la construcción, la Lista de Verificación se emplea en la revisión de los planos de los procesos y se complementa en base a la discusión de las deficiencias.



Finalmente, el equipo de inspección debe presentar un resumen de las deficiencias encontradas, así como la Lista de Verificación utilizada. Además debe anexarse un reporte de recomendaciones específicas

#### 4.3.5 RESULTADOS

Una Lista de Verificación genera una serie de preguntas basadas en deficiencias o diferencias, así como una lista de respuestas a lo formulado. Las respuestas más comunes son: "sí", "no", "no aplica", "necesita más información". También genera una lista de riesgos identificados y un conjunto de acciones correctivas sugeridas, las cuales se remiten a los directivos de la empresa

#### 4.3.6 TIEMPOS ESTIMADOS PARA LA EJECUCIÓN

Alcance	Preparación	Evaluación	Documentación
Sistema			
Simple/Pequeno	2 a 4 hr	4 a 8 hr	4 a 8 hr
Proceso			
Complejo/Grande	1 a 3 días	3 a 5 días	2 a 4 días

#### 4.4 TÉCNICAS DE CATEGORIZACIÓN RELATIVA

Las técnicas de Categorización Relativa, tal como el índice DOW e índice MOND, clasifican áreas de proceso u operaciones de planta comparando los atributos peligrosos de sustancias químicas, condiciones del proceso y parámetros de operación. Generalmente, se intenta distinguir entre varias áreas de proceso con base en la magnitud del riesgo, peligros ocultos y/o severidad de accidentes potenciales

Las técnicas utilizan un conjunto de guías (a través de un sistema numérico) para asignar factores de penalización o factores de crédito para diferentes partes de la actividad o proceso. Los factores de penalización son asignados para materiales potencialmente peligrosos, condiciones o procesos que podrían contribuir a un accidente. Los factores de crédito se asignan a las acciones de seguridad que pueden mitigar los peligros inherentes en un accidente. Realizando la combinación de estos factores se llega a un número (índice) que se utiliza para clasificar la actividad analizada en una escala relativa de riesgo

Por ejemplo, el índice DOW de fuego y explosión evalúa la existencia e importancia de un peligro por fuego y explosión. Otra de las alternativas es

emplear el índice MOND ICI. Este índice evalúa peligros químicos y de toxicidad incluyendo aquellos por fuego y explosión.

La clasificación de cada unidad de proceso puede efectuarse por un experto que esté muy familiarizado con la aplicación de esta técnica y con el proceso y equipo a analizar. Además, pueden ser necesarios datos del departamento de seguridad de la planta concernientes a medidas de mitigación.

#### **4.4.1 PROPÓSITO**

Esta técnica tiene la finalidad de comparar los atributos de un proceso para determinar aquellas áreas que presentan las situaciones de peligros relativos más importantes

#### **4.4.2 APLICACIONES**

Estas metodologías se pueden emplear durante las etapas de diseño, modificación u operación de una planta. Además, en determinadas ocasiones es utilizada para comparar sitios de proceso o alternativas de diseño

#### **4.4.3 INFORMACIÓN REQUERIDA**

El analista necesita información correcta y actual de:

- Planos del lugar y de proceso
- DFP's y DTI's
- Listas de materiales, propiedades químicas y físicas y cantidades
- Planos de arreglo de equipo
- Datos de diseño y operación
- Conocimientos del sistema de mitigación de riesgos y técnicas disponibles de Categorización Relativa
- Formatos y guías de índices apropiadas para asignar los factores de penalización y crédito

#### **4.4.4 PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN**

Debido a la similitud de las técnicas antes mencionadas (DOW y MOND) solamente se dará una descripción general de la aplicación de estas técnicas. El método de Categorización Relativa consiste de varios pasos:

- a) En un plano de arreglo general de la planta se identifican las unidades de proceso que podrían producir grandes riesgos
- b) Determinación del factor de riesgo del material para cada unidad basándose en las características del material que está siendo procesado en la unidad.
- c) Evaluación de los factores que contribuyen al riesgo
- d) Cálculo del factor de riesgo de la unidad

- e) **Determinación del índice de Fuego y Explosión** El índice de Fuego y Explosión es una medida del daño que podría resultar de un accidente en la unidad de proceso. Este índice puede también utilizarse como una medida del grado relativo de riesgo de la unidad de proceso

INDICE	GRADO DE PELIGRO
1 - 60	LIGERO
61 - 96	MÓDERADO
97 - 127	INTERMEDIO
128 - 158	CRÍTICO
159 - +	CATASTRÓFICO

- f) **Determinación del área de exposición** El área de exposición es el área circular alrededor de la unidad de proceso que podría adversamente ser afectada por un accidente en la unidad de proceso
- g) **Cálculo del daño máximo probable a la propiedad** Esta determinación está basada en el valor del equipo e inventario con el área de exposición
- h) **Estimación de los días máximos probables de paro y los costos de interrupción del negocio**

Como el lector se puede dar cuenta aquí se presenta únicamente un seguimiento general de aplicación de técnicas de Categorización Relativa (DOW y MOND) para más detalles puede consultar al INE

Los valores numéricos obtenidos como índices de riesgo y aquellos factores generados por las evaluaciones no deben considerarse como reflexiones exactas de los riesgos absolutos colocados en áreas de proceso. Mas bien, estos valores numéricos deben ser tomados como estimados para comparar los riesgos relativos de las áreas analizadas.

#### 4.4.5 RESULTADOS

Todos los métodos de evaluación por Categorización Relativa generan valores numéricos, referidos como índices de riesgo (estos valores son relativos) de cada tipo de análisis: procesos, equipos, operaciones o secciones. Los resultados son cualitativos.

#### 4.4.6 TIEMPOS ESTIMADOS PARA LA EJECUCIÓN

Alcance	Preparación	Evaluación	Documentación
Sistema Simple/Pequeño	2 a 4 hr	4 a 8 hr	4 a 8 hr
Proceso Complejo/Grande	1 a 3 días	3 a 5 días	3 a 5 días

#### 4.5 ANÁLISIS WHAT-IF? (¿QUÉ...SÍ?)

La técnica de análisis What-If? (¿Qué... Sí?) consiste en hacer una examinación en forma creativa basándose en una tormenta de ideas referente a un proceso u operación. Los analistas revisan estos procesos en reuniones que se basan en fuentes potenciales de seguridad identificadas por el líder del equipo. En estas reuniones cada uno de los integrantes es alentado a que exprese sus comentarios.

Existe muy poca información sobre la aplicación específica de esta metodología, sin embargo la industria la utiliza frecuentemente. Es muy poderosa si el equipo de analistas destinados al estudio tiene la suficiente experiencia en la aplicación de esta metodología. De otro modo no se obtendrán resultados satisfactorios. El análisis de sistemas simples puede ser dirigido por una o dos personas, un proceso más complejo demanda un equipo mayor y un número mayor de reuniones.

Este tipo de análisis inicia con la introducción del material como fuente de alimentación y sigue el flujo del mismo hasta el final del proceso y, además, también puede centrarse en una etapa específica. La idea de este tipo de análisis es llegar a la localización de situaciones potenciales de accidentes en base a las preguntas de los miembros del equipo. Estas preguntas a menudo sugieren causas específicas que pueden conducir a accidentes potenciales. Es importante recalcar que las preguntas, las respuestas, los riesgos detectados, las consecuencias, los resguardos propuestos y las posibles soluciones a situaciones importantes deben ser registradas.

##### 4.5.1 PROPÓSITO

El propósito de esta técnica de análisis es identificar peligros, situaciones riesgosas y eventos de accidente que puedan conducir a una situación catastrófica en el diseño o en la operación.

#### **4.5.2 APLICACIONES**

Esta metodología puede utilizarse para examinar aspectos de diseño y operación de la planta incluyendo modificaciones a la misma.

#### **4.5.3 INFORMACIÓN REQUERIDA**

Para ejecutar esta técnica se necesita de una descripción detallada del proceso, DFP's, DTI's y de los procedimientos de operación. También, es recomendable efectuar entrevistas adicionales al personal de la planta y finalmente preparar algunas preguntas preliminares What-If? para formular un punto de partida.

#### **4.5.4 PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN**

El equipo de estudio debe comenzar sus reuniones con una explicación de los procesos proporcionados por el personal de la planta. Durante esta etapa se debe incluir la descripción de los sistemas de seguridad de la planta, los equipos de seguridad para el personal, así como los procedimientos de control de sanidad. Es necesario decidir qué tipo de riesgos se quieren analizar (de trabajo públicos o económicos)

El segundo paso consiste en definir las fronteras físicas del estudio. Después, se efectúa una revisión de toda la información pertinente incluyendo planos de localización de equipo, DFP's, DTI's, etc. Muchas de estas revisiones pueden efectuarse fuera del sitio de análisis si se prefiere, pero dado que los diagramas no están suficientemente detallados, es preferible que se observe por una persona hábil que logre detectar físicamente el equipo y que observe como está actualmente instalado.

Debido a que esta técnica se basa en la formulación de preguntas, la expresión de ideas y en la información proporcionada por el personal de la planta, se recomienda no trabajar por demasiadas horas en forma consecutiva. Existen dos maneras de llevar a cabo estas reuniones. Una de las rutas preferida por algunos es crear un listado preliminar de preguntas sobre situaciones de riesgos posibles o bien formular un listado en el cual se incluyan todas las fuentes de seguridad y de aquí formular las preguntas. Otro camino es considerar cada cuestión y fuente en un tiempo, determinando el significado de cada situación aportada antes de solicitar otras ideas al equipo. Cualquiera de estas opciones pueden utilizarse pero es preferible formular un listado de todas las preguntas antes de contestarlas para evitar interrupciones al momento creativo del equipo. Cuando se trate del estudio de un proceso complejo es recomendable dividirlo en varias secciones de tal manera que no se consuman días consecutivos en la formulación del listado de preguntas. Es importante que el líder del equipo perfíle el alcance del estudio y que los miembros del equipo concuerden con él.

El equipo, entonces reúne toda la información proporcionada, para preparar e iniciar la revisión. se analiza cada pregunta What If?, se responde y se identifican algunas condiciones u operaciones inseguras y se sugieren posibles soluciones a los problemas. Es común que el equipo requiera más información o recomiende un estudio posterior de ciertos escenarios para una futura revisión

El reporte de este análisis está basado en una serie de formatos que incluyen las preguntas What-If ?, las respuestas generadas, las posibles consecuencias y peligros y las recomendaciones

#### 4.5.5 RESULTADOS

Esta técnica genera una lista de áreas problema sus consecuencias, salvaguardas y posibles opciones para la reducción de los riesgos.

#### 4.5.6 TIEMPOS ESTIMADOS PARA LA EJECUCIÓN

Alcance	Preparación*	Evaluación	Documentación*
Sistema Simple/Pequeño	4 a 8 hr	4 a 8 hr	1 a 2 días
Proceso Complejo/Grande	1 a 3 días	3 a 5 días	1 a 3 semanas

\*Principalmente, el líder del equipo y el redactor.

#### 4.6 ANÁLISIS WHAT-IF? (¿QUÉ...SÍ?)/LISTA DE VERIFICACIÓN

Esta técnica es el resultado de la combinación de dos métodos de evaluación de riesgos previamente descritos. La aplicación de esta metodología se realiza por medio de un equipo experimentado con el proceso y con la técnica en cuestión. Capitaliza la fuerza de cada técnica en particular y compensa sus deficiencias. El equipo utiliza parte de la técnica de análisis What-If? (¿Qué... Sí?) para llevar a cabo sesiones de tormenta de ideas de diferentes tipos de accidentes que pueden presentarse en el proceso. En base a esto se utiliza la Lista de Verificación para complementar lagunas ideas inconclusas. Por ejemplo, la Lista de Verificación se basa en la experiencia del usuario. Si esta lista no está completa, el analista no podría detectar efectivamente una situación peligrosa. Es aquí donde la técnica What-If? fortalece al equipo de evaluación para considerar situaciones potenciales de accidentes y sus consecuencias que van más allá de la experiencia y de una buena lista, e incluso abarca aquellos eventos que no han sido incluidos en ella. Recíprocamente, la Lista de Verificación ayuda al análisis What-If? a ser más sistemático. Esta Lista de Verificación difiere de las

tradicionales las cuales se enfocan en algún diseño deseado, en procedimientos y operaciones. Por el contrario, las Listas de Verificación empleadas en esta técnica de análisis son más generales y se enfocan a fuentes de riesgos y accidentes. Son creadas con la finalidad de inspirar ideas creativas acerca de los tipos y fuentes de riesgos asociados con el proceso. El nivel de resolución de un análisis de este tipo puede ser tan detallado como las elecciones del equipo de evaluación de riesgos.

#### **4.6.1 PROPÓSITO**

El propósito de este tipo de evaluaciones es el identificar riesgos o accidentes potenciales, considerando los tipos generales de accidentes que pueden ocurrir en un proceso o actividad

#### **4.6.2 APLICACIONES**

Esta técnica se aplica en cualquier etapa de la vida de un proceso

#### **4.6.3 INFORMACIÓN REQUERIDA**

Las fuentes de información requeridas por esta técnica son las mismas que se emplean en las dos técnicas descritas anteriormente (Análisis What-If? y Lista de Verificación) De manera adicional, el líder debe determinar los alcances físicos y analíticos para el estudio propuesto. También debe obtener o desarrollar una apropiada Lista de Verificación para emplearla conjuntamente con la técnica What-If? La Lista de Verificación debe enfocarse a características peligrosas generales del proceso

#### **4.6.4 PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN**

De manera general, primeramente el equipo debe tener la información adecuada del proceso. En base a esto se debe desarrollar una lista de preguntas What-If? y posteriormente completar esto con una Lista de Verificación para cubrir algunas deficiencias. Sin embargo puede plantearse primeramente una Lista de Verificación y en base al progreso de la misma ir formulando preguntas What-If?

Como ya se mencionó anteriormente, las preguntas What-If? pueden derivarse de una reunión en la que se fomente la tormenta de ideas. O bien estas preguntas pueden desarrollarse basándose en una Lista de Verificación y deben enfocarse a situaciones riesgosas de accidentes potenciales y sus consecuencias

Una vez que se han identificado los riesgos de un proceso en particular, el líder del equipo debe utilizar una Lista de Verificación para que en conjunto con el equipo, examinen cada detalle o aspecto de dicha lista para verificar si alguna otra situación de accidente puede añadirse

En algunos casos es más deseable que el equipo de análisis tenga una sesión de tormenta de ideas antes de emplear una Lista de Verificación. En otras situaciones se pueden obtener resultados más efectivos utilizando inicialmente una Lista de Verificación y algunos aspectos de ella en la creación de las preguntas What-If? que podrían no haber sido consideradas. Sin embargo, si se utiliza primeramente una Lista de Verificación, se deben tomar las precauciones necesarias para evitar obstáculos y que de esta manera se limite la creatividad e imaginación del equipo.

Cuando han sido desarrolladas las preguntas que involucran situaciones de accidentes potenciales, los miembros del equipo deben evaluar precisamente cada situación de accidente o los medios de seguridad; ellos determinan cualitativamente los efectos potenciales de dichos accidentes, de las listas de resguardos existentes para prevenir, mitigar o tolerar los riesgos. El equipo debe evaluar el significado de cada situación y debe determinar si existe alguna mejor opción para la seguridad y recomendarla.

Los resultados de este tipo de análisis se documentan en la misma forma que en un análisis What-If?. La única diferencia es que se agrega la Lista de Verificación que ilustra el complemento del estudio.

#### 4.6.5 RESULTADOS

Los reportes típicos de este análisis generan listados de accidentes potenciales, efectos, salvaguardas y acciones a seguir generadas en las reuniones. También se presenta la Lista de Verificación empleada y las preguntas What-If? formuladas.

#### 4.6.6 TIEMPOS ESTIMADOS PARA LA EJECUCIÓN

Alcance	Preparación*	Evaluación	Documentación*
Sistema Simple/Pequeño	6 a 12 hr	6 a 12 hr	4 a 8 hr
Proceso Complejo/Grande	1 a 3 días	4 a 7 días	1 a 3 semanas

\*Principalmente, el líder del equipo y el redactor.



## **4.7 ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPERABILIDAD ( HAZOP )**

La técnica Análisis de Riesgos y Operabilidad (HAZOP) fue desarrollada para identificar peligros en plantas de proceso y para identificar áreas problema que repercutan en la operabilidad de la planta y que podrían conducir a pérdida de la producción. Así, un estudio HAZOP está dirigido a identificar riesgos

Esta técnica está basada en el principio de que varios expertos con distintos conocimientos, interactúan de una manera creativa y sistemática e identifiquen una mayor cantidad de riesgos potenciales que los que obtendrían separadamente y que a la vez combinen sus resultados para lograr desarrollar algunas recomendaciones objetivas

Una de las ventajas principales de la tormenta de ideas asociada al HAZOP es que estimula la creatividad y la generación de nuevas ideas, ya que es el resultado de la interacción de un equipo con distintos y diversos conocimientos. El líder del equipo debe tener experiencia en la aplicación de la técnica HAZOP de tal manera que pueda guiar al equipo a través del análisis utilizando su conocimiento

Las palabras guía y los parámetros del proceso se aplican a puntos específicos de la planta para identificar problemas potenciales en esos puntos. El propósito de estas palabras guía es evaluar todas las posibles desviaciones de los parámetros del proceso. El equipo analiza los efectos de estas desviaciones del punto en cuestión y determina las causas posibles para la desviación y las consecuencias. Si las causas y consecuencias son realistas y significativas deben registrarse para que se generen acciones posteriores que puedan tomarse fuera del estudio HAZOP.

### **4.7.1 PROPÓSITO**

El propósito de un estudio HAZOP es identificar peligros potenciales y peligros operacionales

### **4.7.2 APLICACIONES**

Esta técnica se puede emplear para evaluar nuevos diseños o tecnologías. También puede utilizarse en proyectos nuevos, así como en los ya existentes. Además, puede emplearse en procesos continuos o por lotes.

### **4.7.3 INFORMACIÓN REQUERIDA**

Para poder realizar un HAZOP se requiere de los DTI's, DFP's o de diagramas equivalentes, una explicación de los procedimientos de operación, así como de

información detallada del proceso en estudio. Para la integración del grupo se requieren entre 4 y 7 personas dependiendo de la complejidad del problema de estudio.

#### 4.7.4 PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN

Los diagramas de proceso (DFP's) se utilizan para especificar los nodos de estudio y en base a estos se determinan los riesgos del proceso empleando las palabras guía y los parámetros del proceso. Las palabras guía originales y algunos parámetros de proceso se presentan a continuación

**Tabla 4.1 Palabras Guía Originales y Significados**

Palabra Guía	Significado
No	Negación de la Intención del Diseño
Menos	Decremento Cuantitativo
Más	Incremento Cuantitativo
Parte de	Decremento Cualitativo
Así como también	Incremento Cualitativo
Reversa	Oposición Lógica de la Intención
Otro que	Sustitución Completa

**Tabla 4.2 Parámetros de Proceso más Comunes**

Flujo	Tiempo	Frecuencia	Mezclado
Presión	Composición	Viscosidad	Adición
Temperatura	pH	Voltage	Separación
Nivel	Velocidad	Información	Reacción

El equipo debe registrar: 1) la desviación con sus causas, consecuencias, salvaguardas y acciones correctivas o, 2) lo necesario para completar información o evaluar la desviación

Para reducir la inapropiada resolución del problema el líder puede:

- Completar el estudio de la desviación de un proceso y asociar acciones sugeridas antes de proseguir con la siguiente desviación.
- Evaluar todos los riesgos asociados a una sección del proceso antes de considerar las sugerencias para mejorar la seguridad.

En esencia el HAZOP es una forma estructurada del un análisis What-If?, ya que el resultado de la combinación de palabras guía con parámetros del proceso es similar al tipo de preguntas What-If?.

En el desarrollo práctico el líder debe asumir un compromiso para con el equipo en lo referente al tiempo considerado para llevar a cabo el estudio. Es

En el desarrollo práctico el líder debe asumir un compromiso para con el equipo en lo referente al tiempo considerado para llevar a cabo el estudio. Es importante recalcar que si se detectan desviaciones directas se den soluciones directas de forma inmediata y no especular ideando soluciones por tiempos prolongados.

Para garantizar reuniones efectivas, el líder debe tener en mente los siguientes aspectos.

- a) No debe competir con los miembros del equipo
- b) Poner atención a cada una de las explicaciones de los integrantes del equipo.
- c) Evitar que algún miembro se ponga a la defensiva.
- d) Guiar las reuniones dentro del esquema preparado y adecuarse a aquellos aspectos que no hayan sido considerados anteriormente sin perder la objetividad del estudio
- e) Mantener un alto nivel de energía tomando los descansos que sean necesarios.

El registro de la información obtenida durante un análisis HAZOP debe redactarse por una persona hábil para detectar aquellas recomendaciones acerca de los riesgos, de la gran cantidad de sugerencias que se dan durante una reunión. Es importante que se preserven las ideas relevantes

#### 4.7.5 RESULTADOS

Este estudio genera un listado de los riesgos identificados que podrían conducir a problemas operacionales. También, proporciona un listado de mejoras potenciales al sistema de seguridad del proceso, recomendaciones para modificaciones en el diseño, procedimientos de operación, y para llevar a cabo estudios posteriores en áreas donde no se obtuvo la información pertinente.

#### 4.7.6 TIEMPOS ESTIMADOS PARA LA EJECUCIÓN

Alcance	Preparación <sup>a</sup>	Evaluación	Documentación <sup>a</sup>
Sistema Simple/Pequeño	8 a 12 hr	1 a 3 días	2 a 6 días
Proceso Complejo/Grande	2 a 4 días	1 a 3 semanas	2 a 6 semanas

<sup>a</sup>Principalmente, el líder del equipo y el redactor, mientras los demás pueden trabajar algunos aspectos durante esta fase.

## **4.8 ANÁLISIS DE LOS MODOS DE FALLA Y EFECTOS (FMEA)**

Un análisis de los Modos de Falla y Efectos (FMEA) evalúa los puntos por los que un equipo puede fallar y los efectos que se podrían tener sobre el proceso. Esta descripción proporciona al analista una base de estudio para detectar aquellos sitios del diseño del sistema donde se puedan hacer algunos cambios para su mejora. En esta técnica el analista describe aquellas consecuencias potenciales y sus relaciones solo para fallas del equipo y muy raramente se investigan daños y perjuicios si el sistema no opera correctamente.

Cada falla es independiente y no tiene relación con otras fallas dentro del sistema, excepto para los efectos subsiguientes que esta pudiera producir. Los resultados generalmente se registran en un formato tabular equipo por equipo. Esta metodología puede dar estimados cualitativos aunque, se puede efectuar una clasificación prioritaria basándose en la severidad de las fallas

### **4.8.1 PROPÓSITO**

El propósito de un FMEA es identificar aquellas fallas en los equipo y los efectos potenciales de cada uno sobre el sistema.

### **4.8.2 APLICACIONES**

Un análisis de los Modos de Falla y Efectos es apropiado en la etapa de diseño para identificar sistemas de protección adicionales o redundantes. Durante modificaciones a un proceso se emplea para identificar los efectos que dichas modificaciones pueden causar al equipo existente. Es sumamente útil durante la operación de la planta para identificar fallas que podrían tener como resultado accidentes significativos.

### **4.8.3 INFORMACIÓN REQUERIDA**

Quando se efectúa un FMEA se requiere que la información se base en una lista de equipo del sistema, en DTI's, así como en el conocimiento de cómo funcionan los equipo y los modos en los que pueden fallar.

### **4.8.4 PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN**

La aplicación de esta técnica se debe efectuar en forma sistemática para reducir la posibilidad de omisiones y para tener un mejor seguimiento del procedimiento. Es recomendable desarrollar un formato consistente para registrar los resultados del análisis. La tabla puede formularse basándose en el diagrama de referencia y evaluando sistemáticamente cada uno de los equipos en el orden en que aparecen en la trayectoria de flujo del proceso. Todos los modos deben evaluarse

para cada componente antes de continuar con el siguiente. En general, se debe proseguir de la siguiente manera:

a) Identificación del equipo. La identificación del equipo en un diagrama de proceso es con el fin de distinguirlo de otros equipos similares que desarrollen diferentes funciones dentro del proceso. Es por ello importante numerar cada uno de los equipos para identificarlos como una unidad única. Cualquier esquema es aceptable si el analista puede comprender cada uno de los identificadores para trabajar con los resultados del análisis.

b) Descripción del equipo. Aquí se debe incluir el tipo de equipo, la operación que desempeña y las características del servicio que puedan influenciar los modos de falla y sus efectos.

c) Modos de falla. El análisis debe enumerar todos aquellos modos en que un sistema puede fallar. Considerando la operación normal del equipo, el analista debe tomar en cuenta todos aquellos aspectos del funcionamiento concebibles que alteren el estado de operación normal del equipo.

d) Efectos. Una vez que el analista ha determinado los modos de falla debe describir los efectos inmediatos sobre el lugar, sobre otros equipos o sobre todo el sistema.

f) Salvaguardas. Para cada uno de los modos de falla identificados, el analista debe describir algunas características del sistema de seguridad que puedan reducir o eliminar la ocurrencia de una falla.

g) Acciones. Para cada uno de los modos de falla detectados el analista debe presentar algunas acciones correctivas para reducir la probabilidad de efectos posteriores. Este punto está relacionado con los procedimientos de seguridad que se recomiendan para mitigar una falla. Los resultados se presentan en un formato tabular donde se describen en forma sistemática los efectos de las fallas de un equipo dentro de una actividad.

#### 4.8.5 RESULTADOS

Un análisis FMEA genera un listado cualitativo y sistemático de los modos de falla potenciales de cada uno de los equipos analizados y sus efectos potenciales sobre el sistema. Además, se anexa una lista de acciones correctivas para que los directivos las analicen en la toma de decisiones.

#### 4.8.6 TIEMPOS ESTIMADOS PARA LA EJECUCIÓN

Alcance	Preparación	Evaluación	Documentación
Sistema Simple/Pequeño	2 a 6 hr	1 a 3 días	1 a 3 días
Proceso Complejo/Grande	1 a 3 días	1 a 3 semanas	2 a 4 semanas

## **4.9 ANÁLISIS ÁRBOL DE FALLAS (FTA)**

Un análisis del tipo Árbol de Fallas (FTA) consiste en un método deductivo para estudiar una situación potencial de accidente en particular o alguna falla principal del sistema, proporcionando de esta manera un mecanismo para determinar sus causas. Para determinar estas causas se desarrolla un modelo gráfico en el que se muestran las combinaciones de falla de equipo y errores humanos, empleando para esto, símbolos lógicos Booleanos (compuertas "Y", "O"), que pudieran causar una falla específica de interés en el sistema llamado evento tope. Los eventos tope son situaciones específicas de riesgo las cuales han sido identificadas por otras técnicas de análisis como el What-If? o el HAZOP.

Para desarrollar el análisis se debe comenzar con la definición de un accidente o evento indeseable que se quiere evitar para determinar sus causas inmediatas. Estas se examinan en la misma forma hasta llegar a determinar las causas básicas de cada evento de falla o hasta alcanzar las fronteras establecidas para el análisis. El modelo resultante muestra las relaciones entre los eventos básicos y el evento tope seleccionado.

### **4.9.1 PROPÓSITO**

El propósito de un Árbol de Fallas es identificar las combinaciones de fallas mecánicas del equipo y de los errores humanos que pueden ocasionar un accidente, identificando los eventos básicos que conduzcan a tal situación.

### **4.9.2 APLICACIONES**

Esta metodología puede utilizarse durante las etapas de diseño, modificación, u operación de un proceso. Puede ser especialmente útil en el análisis de nuevos procesos para los que no existe historia operacional.

### **4.9.3 INFORMACIÓN REQUERIDA**

Para efectuar un FTA se requiere de una descripción y comprensión detallada del funcionamiento del sistema o planta, DTI's, Diagramas de Equipo y especificaciones y conocimiento de los modos de falla de los componentes y sus efectos y los datos de frecuencias de falla. Debe ser aplicado por un analista bien entrenado y experimentado para asegurar un análisis eficiente y de alta calidad.

### **4.9.4 PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN**

Una falla simple del sistema que está siendo analizado debe ser considerada para cada Árbol de Fallas. El Árbol de Fallas entonces se desarrolla utilizando un

razonamiento deductivo hasta que la falla del sistema sea descrita en términos de las fallas de componentes que desembocan en el evento tope.

Un análisis de árbol de Fallas consiste sistemáticamente de los siguientes pasos:

- 1) Se identifica la falla de interés en el sistema y la descripción de esta falla constituye el evento tope
- 2) Se procede al siguiente nivel del sistema y a través de un razonamiento deductivo de causas y efectos se determinan las causas inmediatas, necesarias y suficientes para provocar el evento tope
- 3) Se determinan las relaciones lógicas entre las causas inmediatas que son requeridas para producir el evento tope
- 4) Se procede al siguiente nivel y se repiten los pasos 2) y 3) hasta que se hallan determinado las causas básicas que generan el evento tope
- 5) Se continúa con los datos de frecuencia de falla para los eventos descritos en el Árbol El seguimiento de la estructura lógica del árbol indicado por las compuertas lógicas "Y" o "O" se efectúa hasta que la probabilidad del evento Tope se halla calculado

#### 4.9.5 RESULTADOS

Un FTA produce un modelo lógico de las fallas del sistema empleando compuertas lógicas "Y" o "O" para describir en qué forma se combinan las fallas para producir problemas en el sistema principal. Este análisis genera un conjunto de diagramas lógicos que ilustran cómo ciertas combinaciones de fallas y/o errores humanos pueden resultar en accidentes específicos. Los resultados son cualitativos, pero pueden cuantificarse si se dispone de datos de frecuencia de falla para todos los eventos de falla.

#### 4.9.6 TIEMPOS ESTIMADOS PARA LA EJECUCIÓN

<b>Alcance</b>	<b>Preparación</b>	<b>Construcción del Modelo</b>	<b>Evaluación Cualitativa</b>	<b>Documentación</b>
Sistema Simple/Pequeño	1 a 3 días	3 a 6 días	2 a 4 días	3 a 5 días
Proceso Complejo/Grande	4 a 6 días	2 a 3 semanas	1 a 4 semanas	3 a 5 semanas

#### **4.10 ANÁLISIS ÁRBOL DE EVENTOS (ETA)**

Un análisis del tipo Árbol de Eventos (ETA) evalúa el potencial de un accidente en términos de algún tipo de falla en general de equipo, trastorno del proceso, o errores humanos, al cual se le denomina evento iniciador. Esto es, considera la respuesta del sistema de seguridad y los operadores cuando se presenta un determinado evento iniciador, para determinar las consecuencias potenciales de un accidente. Dichas consecuencias se muestran en forma gráfica plasmando la secuencia del desarrollo de un accidente, esto es la secuencia de eventos considerando el éxito o falla de las funciones de seguridad que precedan a un evento iniciador.

A diferencia de un análisis Árbol de Fallas, un Árbol de Eventos es un proceso inductivo que comienza con el evento iniciador y continúa con el desarrollo de las posibles secuencias de eventos que desencadenen un accidente potencial, tomando en cuenta o calificando el éxito o falla de las funciones de seguridad asociada con el progreso de un accidente. De esta forma, proporciona una manera sistemática de registrar las secuencias de un accidente y logra definir las relaciones entre el evento iniciador y los eventos subsecuentes que ocasionen un accidente.

Esta metodología puede ejecutarse por una sola persona, pero es preferible que se haga a través de un equipo de 2 a 4 personas. Este equipo debe incluir un miembro con conocimientos específicos en la aplicación de esta técnica y los demás miembros deben tener experiencia con el sistema en estudio.

##### **4.10.1 PROPÓSITO**

El Árbol de Eventos se emplea para identificar las secuencias de eventos que prosigan de una falla o error de tal forma que puedan desembocar en un accidente.

##### **4.10.2 APLICACIONES**

Se emplea durante la etapa de diseño, modificación o en la fase de operación de un proceso. Es particularmente útil en la demostración de la eficacia de los sistemas de mitigación y prevención de accidentes.

##### **4.10.3 INFORMACIÓN REQUERIDA**

Para desarrollar un análisis Árbol de Eventos se requiere de una descripción de los eventos iniciadores potenciales y de las funciones de seguridad o de los procedimientos de emergencia destinados a mitigar los efectos de los eventos iniciadores.



#### 4.10.4 PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN

El ETA plasma las secuencias de accidentes desarrollados comenzando con el evento iniciador y procediendo con la respuesta de los sistemas de seguridad y control.

En forma general, el procedimiento para realizar este tipo de análisis es el siguiente

- 1) Identificación del evento iniciador. Este puede ser una falla del sistema, falla del equipo o error humano que podría resultar en uno de varios efectos. Estos efectos dependen de la respuesta de los operadores o el sistema.
- 2) Identificación de las funciones de seguridad y acciones de los operadores que tienen que ver con el evento iniciador. Estas funciones de seguridad pueden incluir sistemas que respondan automáticamente al evento, alarmas para alertar a los operadores, y acciones que los operadores tomen para responder a las alarmas y diques, drenaje, etc. que tengan la intención de mitigar los efectos del evento iniciador. Los analistas deben identificar estas funciones de seguridad en el orden cronológico en que se espera que respondan.
- 3) Construcción del Árbol de Eventos. Primeramente se comienza con la descripción del evento iniciador en el lado izquierdo del formato; entonces se listan las funciones de seguridad a lo largo de la parte superior del formato en orden cronológico. El siguiente paso consiste en evaluar dichas funciones una por una. Normalmente sólo se consideran dos posibilidades: el éxito o falla de la función de seguridad y se decide si dicha determinación afecta el curso del accidente. En caso afirmativo, el árbol se ramifica y en la trayectoria superior se denota el éxito de la función y en la inferior la falla de la función. Si la función de seguridad no afecta el curso del accidente se continúa en línea recta hasta la siguiente función de seguridad.
- 4) Descripción de las secuencias de accidente. Las secuencias de accidente son una variedad de diversos resultados que siguen al evento iniciador. Algunas de estas secuencias pueden representar una recuperación de la seguridad y un retorno a las condiciones normales de operación o un paro ordenado. Aquellas que resulten en falla deben ser analizadas para determinar cómo mejorar las respuestas para el evento en orden para minimizar la probabilidad de falla.

Las secuencias de accidentes pueden analizarse en la misma forma que en el Árbol de Fallas. Cada secuencia de accidente se representa por un conector lógico "Y" entre el evento iniciador y las fallas subsecuentes del sistema de seguridad. Esto es, cada secuencia puede considerarse como un FTA individual tomando como evento Tope la descripción de la secuencia y una compuerta "Y" que contemple todas las contribuciones de falla de las funciones de seguridad.

#### 4.10.5 RESULTADOS

Se produce un conjunto de árboles de eventos que ilustran gráficamente las secuencias del evento que resulta en accidentes al ocurrir el evento iniciador. Los resultados son cualitativos, pero pueden cuantificarse si se cuenta con datos de frecuencia de falla.

#### 4.10.6 TIEMPOS ESTIMADOS PARA LA EJECUCIÓN

Alcance	Preparación	Construcción del Modelo	Evaluación Cualitativa	Documentación
Sistema Simple/Pequeño	1 a 2 días	1 a 3 días	1 a 2 días	3 a 5 días
Proceso Complejo/Grande	4 a 6 días	1 a 2 semanas	1 a 2 semanas	3 a 5 semanas

#### 4.11 ANÁLISIS CAUSA - CONSECUENCIA (CCA)

Un análisis Causa-Consecuencia (CCA) es una combinación de las técnicas de análisis Árbol de Fallas y Árbol de Eventos, aprovechando el razonamiento inductivo y deductivo de cada una de ellas respectivamente. El desarrollo de un diagrama de Causas y Consecuencias despliega las relaciones existentes entre las consecuencias de accidentes y sus causas básicas. Y esta es su principal ventaja. La desventaja es que sólo se puede aplicar a modelos simples pues el diagrama combinado es muy laborioso. Por esto comúnmente se emplea cuando las fallas a analizar son sencillas.

El Propósito, la información requerida y los resultados son similares a los indicados en las técnicas Árbol de Fallas y Árbol de Eventos.

##### 4.11.1 PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN

- Seleccionar un evento para su evaluación. Puede ser un evento Tope o un evento Iniciador.
- Identificar las funciones de seguridad que podrían influenciar el curso del accidente.
- Desarrollar las trayectorias de accidentes resultantes del evento iniciador.
- Examinar el evento del inciso a) y la falla de las funciones de seguridad para determinar las causas del evento.
- Se determinan los conjuntos mínimos de corte para la secuencia de accidente. Estas secuencias se construyen empleando compuertas "Y".

- f) Se evalúan los resultados. Las secuencias de accidentes pueden tener rangos de severidad o de importancia para determinar la severidad de la planta.

#### 4.11.2 TIEMPOS ESTIMADOS PARA LA EJECUCIÓN

Alcance	Preparación	Construcción del Modelo	Evaluación Cualitativa	Documentación
Sistema Simple/Pequeño	1 a 2 días	1 a 3 días	1 a 2 días	3 a 5 días
Proceso Complejo/Grande	4 a 6 días	1 a 2 semanas	1 a 2 semanas	3 a 5 semanas

#### 4.12 ANÁLISIS DE LA CONFIABILIDAD HUMANA (HRA)

El estudio de la confiabilidad humana es necesario para que el sistema maquinaria/hombre funcione exitosamente. El análisis evalúa sistemáticamente aquellos factores que influyen en el trabajo de los operadores, personal de mantenimiento, técnicos y demás personal de la planta.

Los factores de forma que tienen injerencia sobre el sistema pueden ser atributos internos como el estrés, el estado emocional, entrenamiento, etc. O factores externos como las horas de trabajo, el ambiente de trabajo, las acciones de los supervisores, etc.

El número de los factores de forma que afectan el desarrollo humano es casi infinito, aunque algunos de los factores no puedan ser controlados, la mayoría influyen en el éxito o falla de un proceso u operación.

Un análisis de la Confiabilidad Humana analiza los errores humanos en un proceso, identificando ciertos factores de forma para tratar de mejorarlos y con esto minimizar la probabilidad de ocurrencia de tales errores.

Un análisis de este tipo hace énfasis en las labores o actividades humanas y no tanto en las características del equipo, siempre y cuando se haya determinado por otras técnicas de análisis de riesgos (como el HAZOP, FMEA o FTA) que el sistema en cuestión es muy propenso a accidentes provocados por errores humanos principalmente. Generalmente se requiere de una persona o dos con experiencia en factores humanos para aplicar esta técnica. Además, deben estar familiarizados con las técnicas de entrevistas y tener acceso al personal de la planta para obtener información pertinente. También debe conocer la respuesta de la planta a las consecuencias causadas por los diversos tipos de errores.

#### **4.11.1 PROPÓSITO**

El propósito de un análisis de la Confiabilidad Humana es el identificar aquellos errores humanos potenciales que puedan causar accidentes, así como identificar áreas o situaciones que podrían conducir al error humano.

#### **4.11.2 APLICACIONES**

Sirve para analizar procesos estudiando las características de los sistemas, los procedimientos de operación y a los operadores para identificar las posibles fuentes de error en donde se haya identificado el error humano como fuente principal de accidentes

#### **4.11.3 INFORMACIÓN REQUERIDA**

Para aplicar el análisis se requiere de los procedimientos de operación y emergencia, arreglo de la planta, distribución de las tareas desarrolladas por el personal, y las entrevistas realizadas al mismo paneles de control y arreglo del sistema de alarmas

#### **4.11.4 PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN**

En la primera etapa de un HRA se lleva a cabo un reconocimiento del sistema maquinaria/hombre. La información que describe al personal al ambiente de trabajo y las tareas desarrolladas se pueden obtener de varias fuentes. Las más comunes son:

- Demografía de empleados lo cual contiene sus características de lenguaje, nivel educativo, y aspectos físicos
- Procedimiento de operación
- Visitas al área de trabajo.
- Entrevistas con los operadores.
- Incidentes previos causados por errores humanos.

La evaluación de la interface maquinaria/hombre se efectúa a través de factores de ingeniería humana (ergonomía) los cuales analizan la compatibilidad entre las necesidades humanas y las limitaciones del diseño de la maquinaria y sus arreglos, procesos de operación y ambiente de trabajo. Esto se hace en forma sistemática para garantizar que la demanda del operador es la apropiada. Estos factores ergonómicos pueden identificar problemas como:

- a) Indicadores de medida en escalas irregulares o raramente definidas que requieren de ajustes finos.
- b) difícil lectura de los indicadores debido a su mala ubicación.

- c) válvulas manuales que no pueden ser operadas por personal de perfil inadecuado.
- d) falta de un medio efectivo de comunicación entre operadores que realicen tareas en procesos batch.

La finalidad de analizar los factores humanos es el identificar cualquier deficiencia general asociada con el sistema maquinaria/hombre. Una vez que se han identificado y corregido estas deficiencias se debe desarrollar un estudio detallado de las acciones específicas que deben ejecutar los empleados. Este proceso llamado análisis de tareas, separa una función u objetivo específico del operador en las tareas que lo constituyen. Cada tarea representa una acción específica para completar la función. Todas las tareas representan una oportunidad para que se produzca el error humano. Después de listar las tareas se debe evaluar cada una de ellas para identificar cualquier situación probable de error que ocasione que el operador complete en forma exitosa o fallida una o más de las tareas. Este proceso se basa en la experiencia al igual que la técnica Lista de Verificación, ya que se identifican las condiciones que en el pasado causaron errores humanos.

Para el análisis de las tareas se crea un árbol de eventos que puede ser en el formato tradicional, pero es más conveniente usar el desarrollado para esta técnica en específico. La información del análisis de las tareas y las sugerencias recabadas del árbol se transfieren a un esquema para evaluar cuantitativamente las combinaciones de falla como parte de un análisis cuantitativo de riesgos.

#### 4.11.5 RESULTADOS

Un HRA lista los errores humanos probables encontrados durante la operación normal o en situaciones de emergencia, los factores que contribuyen a tales errores y las modificaciones propuestas al sistema para reducir la probabilidad de ocurrencia de tales errores.

#### 4.11.6 TIEMPOS ESTIMADOS PARA LA EJECUCIÓN

<b>Alcance</b>	<b>Preparación</b>	<b>Construcción del Modelo</b>	<b>Evaluación Cualitativa</b>	<b>Documentación</b>
Sistema Simple/Pequeño	4 a 8 hr	1 a 3 días	1 a 2 días	3 a 5 días
Proceso Complejo/Grande	1 a 3 días	1 a 2 semanas	1 a 2 semanas	1 a 3 semanas

En la figura 4.1 se ilustra cuales técnicas para estudios de evaluación de riesgos son comúnmente utilizadas en diversas fases del tiempo de vida de un proceso.

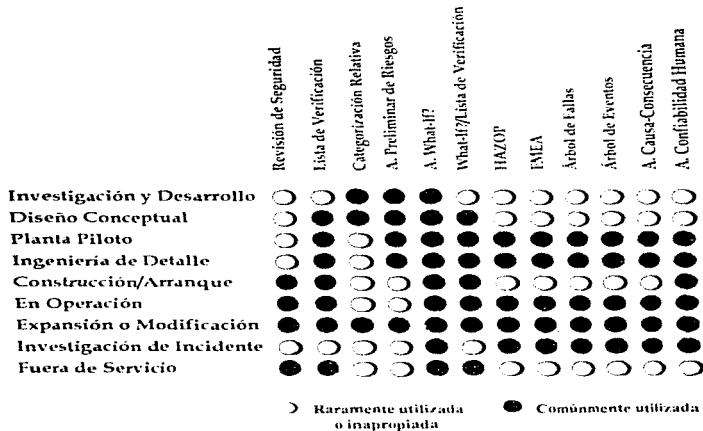


Figura 4.1 Aplicaciones Típicas de las Técnicas de Evaluación de Riesgos.

## CAPITULO 5

### CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE TÉCNICAS DE EVALUACIÓN DE RIESGO

El garantizar la seguridad de un proceso depende de la habilidad y de varios aspectos que son fundamentales para lograrlo. Entre estos aspectos se encuentra el empleo de tecnología adecuada en el diseño y construcción de una planta, la anticipación de sucesos externos, así como el accionar humano entre otros. Es por ello que un programa de evaluación de riesgos efectivo es una de las piedras angulares de un sistema de seguridad adecuado.

El programa de evaluación de riesgos requiere de un soporte tangible para su aplicación, personal técnicamente competente, una base de datos completa, así como todas aquellas herramientas necesarias para efectuar el estudio. Se puede decir, que una evaluación de riesgos es exitosa cuando

1. Se ha obtenido la información necesaria de los riesgos percibidos.
2. Los resultados son de alta calidad y fáciles de utilizar en la toma de decisiones
3. El estudio se ha realizado con un mínimo de recursos necesarios.

Así como la habilidad para garantizar la seguridad en un proceso esta influenciada por varios aspectos, algunos factores pueden afectar la elección de una técnica de evaluación de riesgos. Antes de determinar que aspectos técnicos influyen en esta decisión, surge una pregunta importante, también significativa, que es: ¿quien debe decidir qué técnica de evaluación de riesgos será utilizada? Es por ello apropiado y necesario definir los aspectos básicos, el objetivo principal, el tipo de decisiones para producir los resultados requeridos y los recursos iniciales para llevar a cabo el estudio de evaluación de riesgos.

Es importante dar cierta libertad al especialista en evaluación de riesgos para que seleccione una técnica o técnicas apropiadas para el trabajo. Esta selección

es un paso crítico para poder llevar por buen camino el estudio en cuestión y así obtener resultados satisfactorios de acuerdo con los objetivos trazados.

Como ya se ha mencionado la evaluación de riesgos se enfoca en establecer valores tope que permiten salvaguardar la salud y los bienes de los habitantes que viven alrededor o en vecindad con instalaciones de alto riesgo. La seguridad del proceso requiere entonces conformarse de la siguiente manera:

- Identificación de riesgos
- Evaluación de riesgos
- Recomendaciones para el control o mitigación de los riesgos
- Toma de decisiones

Por supuesto, es necesario el compromiso directivo por la seguridad, es decir, que la alta directiva clasifique a la seguridad al mismo nivel que la producción, la logística o las ventas. Aunque no hay un beneficio económico a corto plazo, es obvio que la reducción de accidentes o incidentes garantiza una mayor continuidad y rentabilidad en las operaciones de una empresa.

## **5.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA SELECCIÓN DE TÉCNICAS DE EVALUACIÓN DE RIESGOS**

La elección de una técnica de evaluación de riesgos es uno de los aspectos esenciales para poder cubrir los objetivos planteados en materia de seguridad. Es importante recalcar que cada una de estas técnicas de evaluación tiene ventajas y desventajas y esto hace necesario que la persona que efectúa esta selección conozca a fondo cada una de las técnicas. El comprender los atributos o prerequisites de cada técnica ayudará al analista a seleccionar la mejor metodología para cubrir los objetivos. Este proceso de selección puede ser difícil para alguien que no tiene experiencia porque en ocasiones la técnica más apropiada puede no ser aparente.

Antes de efectuar la selección de alguna técnica en particular se deben tener presentes las etapas involucradas en un análisis de riesgos, las cuales son:

- Definición del sistema
- Identificación de los riesgos
- Modelización de los eventos probables
- Evaluación de las consecuencias generadas por los riesgos
- Toma de decisiones



### 5.1.1 DEFINICIÓN DEL SISTEMA

Dentro de las actividades e información requerida para llevar a cabo un análisis de riesgos, se tienen que considerar los siguientes factores.

- Inspección física
- Aspectos generales de la compañía
- Aspectos del medio natural y socioeconómico de la zona
- Características de los productos
- Análisis técnico del proceso
- Análisis de los sistemas de seguridad de la planta

#### 5.1.1.1 INSPECCIÓN FÍSICA

INSTALACIONES	ALREDEDORES
Equipos	Condiciones ambientales
Tuberías	Vías públicas
Sistemas de Seguridad	Entorno socioeconómico
Obra civil	Entorno ecológico

#### 5.1.1.2 ASPECTOS GENERALES DE LA COMPAÑÍA

- Objetivo de la empresa
- Razón social
- Responsable
- Inversión
- Ubicación
- Vida útil
- Planes de crecimiento

#### 5.1.1.3 ASPECTOS DEL MEDIO NATURAL Y SOCIOECONÓMICO DE LA ZONA

RECURSOS NATURALES	CENTROS
Acuáticos	Sociales
Ríos	Culturales
Lagos	Turísticos
Lagunas	Recreativos
Mares	Religiosos
Terrestres	Históricos
Bosques	Arquitectónicos
Tierras	

#### **5.1.1.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS**

- Peso molecular
- Composición
- Densidad
- Presión de vapor
- Reactividad
- Capacidad calorífica
- Límites de explosividad
- Límites de toxicidad
- Volatilidad
- Corrosividad
- Temperatura de autoignición
- Límites de flamabilidad
- Actividad química
- Daño genético, etc.

#### **5.1.1.5 ANÁLISIS TÉCNICO DEL PROCESO**

- Ingeniería básica
- Ingeniería de detalle
- Procedimiento de paro y arranque
- Operación
- Mantenimiento

#### **5.1.1.6 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE SEGURIDAD**

- Áreas de protección de la planta
- Sistemas contra incendio
- Planes de contingencia
- Extinguidores, detectores y alarmas
- Planes de ayuda mutua
- Sistemas de emergencia locales
- Rutas de escape

#### **5.1.2 IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS**

Antes de iniciar a identificar los riesgos el analista debe considerar que técnica es la más adecuada. Aquí podemos considerar seis factores que todo analista debe tener presente cuando selecciona una técnica de evaluación de riesgos para una aplicación específica:

- **Motivo del estudio**
- **Tipo de resultados requeridos**
- **Tipo de información disponible para efectuar el análisis**
- **Características del problema a analizar**
- **Riesgos percibidos asociados al proceso o actividad**
- **Recursos disponibles y preferencias del analista**

La importancia de cada uno de estos factores puede variar de industria en industria. Sin embargo, el seguimiento de las observaciones generales sobre el significado relativo de esos factores deben ser verdaderos para cada situación. Estos factores podemos asociarlos con los siguientes puntos:

**1 - El motivo del estudio y el tipo de resultados** que se necesitan, son los factores más importantes que el analista debe considerar. El método seleccionado debe ser capaz de proporcionar los resultados o información requerida para satisfacer las inquietudes del estudio. El motivo de estudio y el tipo de resultados determinan cuan importante son la selección de otros factores.

**2 - El tipo de información disponible, características del problema a analizar y riesgos percibidos asociados al proceso o actividad** son factores a tratar con las condiciones límite inherentes al análisis en cuestión, estos factores representan condiciones sobre las que el analista no tiene control. Si estos factores dominan la opción del analista, este puede no tener la habilidad para poder elegir una técnica específica, con excepción de aquellas técnicas que sean concedidas por estos factores.

**3 - Este último factor involucra los recursos disponibles y las preferencias del analista.** A pesar de consideraciones importantes, no deben dominar la selección de una técnica de evaluación de riesgos. Sin embargo, estos factores dominan la selección del analista, ya que elige una técnica basándose solamente en su bajo costo o porque una técnica en particular es usada frecuentemente y esto puede conducir a resultados ineficientes, de baja calidad o resultados inconvenientes.

Para tener una mejor idea de cada uno de estos factores se desarrollan a continuación:

#### 5.1.2.1 MOTIVO DE UN ESTUDIO DE EVALUACIÓN DE RIESGOS

Este factor es el más importante para que todo aquel analista que ejecute estudios de evaluación de riesgos. El efectuar este análisis sin comprender lo que lo motivó o sin tener un propósito definido puede conducir a la devastación de los recursos de seguridad desarrollados.

Dentro de este punto entran un gran número de situaciones que pueden formar parte de un análisis dado. Por ejemplo, se pudiera preguntar ¿cuál es el motivo para efectuar el análisis?, ¿es el estudio, parte de una política de realización de estudios de riesgos de nuevos procesos?, ¿se efectúa el análisis para satisfacer una orden o requerimiento legal?, etc.

El analista es el responsable de seleccionar aquella técnica que sea más apropiada con el objetivo del estudio y de reunir los recursos humanos, técnicos y físicos necesarios con un propósito fijo que puedan ejecutar efectivamente.

#### **5.1.2.2 TIPO DE RESULTADOS REQUERIDOS**

Este factor es dependiente del motivo que genera el análisis. Es por ello, que los resultados deben satisfacer el estudio. Una vez que se ha definido el tipo de información que debe generar el estudio, se debe seleccionar un método de evaluación apropiado. Existen cinco categorías de información que se pueden obtener a través de estudios de evaluación de riesgos:

- Lista de riesgos
- Lista de situaciones potenciales de accidentes
- Lista de alternativas para reducir o mitigar peligros y áreas que necesiten de un estudio más profundo
- Listado de priorización de resultados
- Datos para un análisis cuantitativo de riesgos

En la información presentada en el capítulo anterior se describen algunas técnicas que son usadas para identificar riesgos asociados al proceso o actividad. Si el propósito del análisis es este, entonces puede seleccionarse una técnica que proporcione una lista de áreas de proceso que posean características riesgosas particulares.

La mayoría de las técnicas pueden proporcionar un listado de situaciones de accidentes potenciales y de alternativas para reducir o mitigar tales riesgos, algunas otras pueden priorizar los riesgos basándose en la percepción que el equipo de evaluación tenga sobre los niveles de riesgo asociados con la situación de estudio. Si lo que se pretende es anticiparse a las necesidades de manejo de información sobre los riesgos, entonces el analista debe elegir una técnica de evaluación que proporcione datos más definidos sobre las situaciones riesgosas.

Es por ello importante recalcar que el analista se apegue a obtener aquellos resultados que cumplan con los objetivos previstos.

### 5.1.2.3 TIPO DE INFORMACIÓN REQUERIDA PARA DESARROLLAR EL ANÁLISIS

Hay dos condiciones que definen que información se encuentra disponible para el equipo de evaluación de riesgos.

1. La fase de vida de un proceso o actividad se encuentra en la situación de estudio
2. La documentación actualizada y de calidad se encuentra disponible.

La primera condición se fija por un estudio de evaluación de riesgos y el analista no puede hacer nada para cambiar esto. La segunda condición se encuentra determinada por la calidad y la cotidianidad de la documentación existente. Este aspecto está por encima de todo programa de análisis y es parte importante en el soporte de estos estudios.

Es importante que desde un inicio (desde la etapa conceptual del proyecto) se realice una buena planeación para crear una buena fuente de información y de esta forma evitar demoras en la evaluación futura de estudios de riesgo.

### 5.1.2.4 CARACTERÍSTICAS DEL ANÁLISIS DEL PROBLEMA

El analista que efectúa la evaluación de riesgos debe tener presentes ciertas características de la planta o proceso cuando elige una técnica de evaluación. Estas características pueden incluirse dentro de cinco áreas.

1.- **Complejidad y el tamaño del sistema** Esto es importante debido a que algunas técnicas de evaluación de riesgos pueden tener algunas limitaciones cuando se aplican en el análisis de problemas extremadamente complicados. La complejidad y el tamaño del sistema se determinan en función de

- El número de procesos o sistemas que se analizan
- El número de piezas del equipo en cada proceso o sistema
- El número de pasos de operación y
- El número y tipos de riesgos y efectos que están siendo analizados (tóxicos, fuego, explosión, económicos, ambientales)

Además, es importante que el analista seleccione un nivel de resolución de acuerdo con el propósito del estudio. Si se analiza una actividad externa el analista debe dividirla en secciones pequeñas para facilitar el análisis. Así, se pueden utilizar diferentes técnicas para cada una de las partes del proceso en base a sus características.

Si el propósito del estudio es eliminar los riesgos, el analista debe elegir un nivel de resolución que se enfoque en sistemas, más que en componentes.

individuales. Es importante considerar que para algunas metodologías, el analizar una gran cantidad de equipos o pasos de operación incrementaría el tiempo y esfuerzos necesarios para el estudio.

**2 - Tipo de proceso.** El tipo de proceso también afecta en la selección de una técnica particular de análisis. Algunos procesos individuales están compuestos por uno o más tipos de procedimiento. Es por ello que se debe conocer lo mejor posible cada una de las técnicas de evaluación de riesgos ya que algunas se adecuan más a un tipo de proceso que otras, e incluso, algunas pueden frenarse en ciertas situaciones más complejas o bien pueden ser utilizadas en un análisis pero pueden llevarse más tiempo que otras.

**3 - Tipo de operaciones incluidas en el proceso.** Este aspecto también es determinante en la elección de una técnica de análisis en particular. Generalmente, se pueden dividir estas operaciones de la siguiente manera:

- a) Una actividad fija o un sistema de transportación
- b) Una actividad permanente o temporal y
- c) Continua, semicontinua o por lotes

**4.- Naturaleza de los riesgos inherentes.** Este aspecto influye en menor grado sobre la selección de una técnica de estudios de riesgos. Entre los riesgos asociados a un proceso o actividad en general se encuentran los de toxicidad, fuego, explosión y reactividad y estos pueden ser analizados por cualquier técnica o a través de índices que cubren solo cierto tipo de riesgo.

**5.- Accidentes acontecidos y las situaciones riesgosas.** Durante el desarrollo de una evaluación de riesgos se presenta una gran cantidad de tipo de fallas, así como evento o situaciones riesgosas. Algunas técnicas se basan en la experiencia de situaciones semejantes para aplicarla al sistema en estudio y otras determinan aquellos riesgos más peligrosos y algunos otros ayudan a determinar los caminos por los cuales se pueden mitigar tales riesgos.

#### **5.1.2.5 RIESGOS PERCIBIDOS DEL PROCESO O ACTIVIDAD**

Si todos los estudios de evaluación de riesgos fueran perfectos entonces no importaría que técnica se emplee e inclusive quien realice el análisis. Desafortunadamente ninguna de las técnicas o de los analistas son perfectos, y no se puede garantizar que se encuentre la totalidad de los eventos o situaciones peligrosas en un proceso que ha sido bien estudiado y esto se debe a que cada una de las técnicas tiene limitaciones importantes.

Algunos organismos intentan reducir estas limitaciones de dos maneras

- A) Utilizan equipos interdisciplinarios para efectuar el análisis, capitalizando así la experiencia combinada. Esta estrategia es la clave para efectuar estudios donde existe una gran cantidad de elementos que involucran distintas áreas dentro de un proceso.
- B) Algunos tienden a utilizar técnicas más sistemáticas en aquellos procesos en los que se piensa tienen mayor riesgo o en aquellas situaciones que presentan consecuencias severas. Esto conlleva a que lo más importante es utilizar técnicas que minimicen o mitiguen una situación de riesgo potencial.

Una organización cuenta con distintos tipos de información que pone a la disposición del analista para ayudar a detectar aquellos riesgos inherentes de un proceso o actividad. Aquí, tenemos tres aspectos importantes.

- El grado de experiencia con el proceso.
- La naturaleza de la experiencia que se tiene.
- La continuidad de dicha experiencia.

#### 5.1.2.6 RECURSOS DISPONIBLES Y PREFERENCIAS

Existe una gran variedad de factores que no han sido tratados aquí y que sin embargo pueden afectar el desempeño de cualquier proceso. La selección de una técnica adecuada de evaluación de riesgos, así como su aplicación. Dentro de estos factores se pueden considerar los siguientes:

1. Disponibilidad de personal práctico y calificado.
2. Información objetiva, así como datos adecuados disponibles para el analista.
3. Recursos financieros.
4. Preferencias de los analistas de riesgos.
5. Preferencia de los gerentes que solicitan el estudio.

En la evaluación de los riesgos, dos tipos de personal se consideran los más viables para evaluarlo: unos son los líderes prácticos y profesionales y otra es el personal calificado en el proceso o actividad que va a ser analizada. Sin embargo, aunque existe personal altamente capacitado en cada una de las etapas de un proceso, puede ser peligroso el utilizarlos para efectuar un estudio de riesgo. Es más recomendable utilizar personal capacitado en técnicas de evaluación de riesgos y que ellos aprovechen la capacidad del personal importante de la planta para conjuntamente solucionar el problema. Es cierto que algunas técnicas requieren de líderes con menos práctica que otras. Sin embargo, la experiencia ha demostrado a lo largo del tiempo que el utilizar a un líder en un equipo de evaluación de riesgos incrementa la probabilidad de éxito.

Algunas técnicas requieren la interacción creativa de cada uno de los integrantes del equipo. Estas reuniones pueden llevarse días, semanas o meses y son función directa de la complejidad del proceso. Otras técnicas pueden desarrollarse por un solo individuo y no puede ser buena idea el utilizar algún equipo en este tipo de técnicas, ya que es necesario crear algunos modelos realistas de las causas de accidentes potenciales. Sin embargo, estos modelos pueden construirse basándose en la información derivada de una reunión de equipo y posteriormente pueden revisarse en una reunión informal.

La calidad de los resultados de una evaluación de riesgos esta en función de la calidad de los esfuerzos del equipo. También, es importante considerar estimados realistas para poder planear la forma en que se llevará a efecto la evaluación de los riesgos. Estos estimados se proporcionan con la finalidad de dar una idea aproximada de la escala relativa de esfuerzos que el equipo debe realizar para cubrir los objetivos planteados para el análisis. Es necesario recalcar que debido a algunos otros factores que influyen en el tiempo de ejecución del estudio y en el esfuerzo, el analista debe considerar estos estimados con gran precaución, es decir, el tiempo actual requerido para el análisis puede ser mayor o menor dependiendo de la situación en estudio.

Cuando el personal interno no esta en la mejor disponibilidad de intervenir en un estudio de riesgos, la empresa debe proporcionar el adiestramiento para su posible analista de riesgos o bien utilizar consultores externos para guiar o documentar estos estudios.

Es preferible que los equipos de evaluación de riesgos utilicen técnicas con las que se encuentren más familiarizados. Sin embargo, el líder del equipo puede tener alguna preferencia por alguna técnica específica y es importante que evite disputas no productivas en cuanto a la selección de una técnica con la que se encuentren familiarizados los demás integrantes y en cambio enfocarse a educarlos en el manejo de esta técnica con ejemplos tangibles de los beneficios, esfuerzos, limitaciones y costos relativos. En la figura 5.1 se muestran en forma esquemática los factores que influyen en la selección de una técnica de evaluación de riesgos descritos anteriormente.



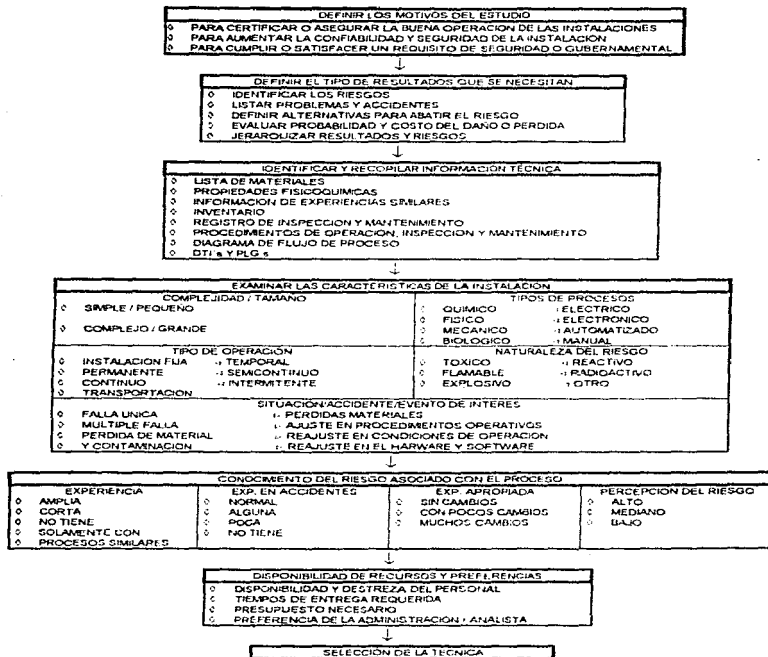


Figura 5.1 Criterios para la Selección de Técnicas de Evaluación de Riesgos.

### 5.1.3 MODELIZACIÓN DE LOS EVENTOS PROBABLES DE RIESGO

Una vez que se han identificado las fallas principales de un proceso a través de las técnicas de análisis descritas en el Capítulo 4, debe emplearse la mejor tecnología disponible de cuantificación de riesgos para producir perfiles peligrosos para fuego, explosión, liberación de sustancias peligrosas, etc. Los modelos que se utilicen deben contemplar:

- Condiciones de la liberación.
- Condiciones ambientales.
- Efectos del terreno local.

Los modelos desarrollados se clasifican dentro de tres grupos que son:

1. Modelos teóricos rigurosos
2. Modelos de solución de ecuaciones diferenciales, y
3. Modelos algebraicos empíricos

**Modelos Teóricos Rigurosos.** Dentro de estos modelos se pueden incluir modelos de tipo químico, los cuales pretenden determinar características explosivas de una mezcla, tóxicas, así como los puntos de detonación, contenido energético, etc.; también trabajos aerodinámicos cuyo interés es describir las afectaciones que pueden ocasionar ondas de choque, radiaciones, alcances de las detonaciones en diferentes medios considerando los campos supersónicos que se producen, etc.

**Modelos de Solución de Ecuaciones Diferenciales.** Estos modelos parten de las ecuaciones diferenciales que describen el transporte de propiedades de un medio fluido y, por medio de técnicas numéricas de aproximación e imponiendo ciertas restricciones de solución se evalúan dichas ecuaciones. Existe más de un método matemático de solución, además de muchas diferentes suposiciones que pueden imponerse sobre las ecuaciones generales de transporte, por lo que es muy amplia la gama de modelos que dentro de este grupo pueden clasificarse. El desarrollo y complejidad de cada uno de los modelos planteados depende principalmente de la finalidad que persigue cada modelo.

**Modelos Algebraicos Empíricos.** Estos modelos son los más ampliamente utilizados, ya que no requieren del uso de técnicas numéricas especiales para su solución. Sin embargo, los resultados que proporcionan son limitados y en ocasiones insuficientes. Su principal ventaja es la rapidez y facilidad de cálculo y entre sus desventajas se encuentra la carencia de generalidad, la falta de exactitud de los resultados y la imposibilidad de incluir ciertos parámetros físicos reales que en ocasiones son determinantes.

Existe en el mercado una amplia gama de software desarrollado para realizar análisis de consecuencias y análisis de riesgos. Dentro de los más comunes existe el PHAST (Process Hazard Analysis Tool) y el SIRIA (Sistema de Información Rápida de Impacto Ambiental)

El PHAST es un sistema que permite examinar el desarrollo de un accidente potencial desde la fuga o derrame inicial, hasta la dispersión de la nube de vapor o derrame total. Utilizando el PHAST, se puede identificar rápidamente los incidentes potenciales más importantes ya sean nubes explosivas, derrames, incendios o fugas de materiales tóxicos. Los resultados que entrega el programa son tablas que indican las concentraciones, efectos de radiaciones, considerando distintos rangos de condiciones ambientales y velocidades de viento. Tiene también, muchas opciones para la elaboración de gráficos que ilustran más claramente los resultados.

Una vez capturada la información que indica las características del compuesto, dimensiones de la línea o equipo, etc. el PHAST calcula las velocidades de descarga y dispersión para posteriormente computar las concentraciones a lo largo de la ruta de fuga. También, se calculan los efectos de explosión y radiación en el caso de compuestos inflamables.

De igual forma que para las fugas de materiales inflamables, el PHAST determina las distancias a las cuales se presentan diferentes concentraciones de materiales tóxicos, indicando claramente los grados de toxicidad de cada compuesto.

En el caso de incendios se determina su tipo en base al porcentaje de material quemado y a la velocidad de la flama. Además, calcula los límites inferior y superior de flamabilidad y determina que tipo de incidente puede ocurrir.

Bajo determinadas circunstancias, la flama alcanza grandes velocidades provocando una onda de sobrepresión. Si la velocidad de la flama alcanza la velocidad del sonido entonces se produce una detonación. El PHAST calcula la sobrepresión de una explosión basándose en una comparación equivalente a unidades de TNT. Las distancias calculadas para diferentes sobrepresurizaciones se estiman desde la orilla de la nube considerando la dispersión de la nube acorde a la velocidad del viento y condiciones atmosféricas.

El Sistema de Información Rápida de Impacto Ambiental (SIRIA) no tiene los alcances del PHAST, pero es muy útil para realizar evaluaciones preliminares de riesgo. Con la misma filosofía que el PHAST calcula las concentraciones de sustancias peligrosas y materiales tóxicos en el aire y cuerpos receptores de efluentes, determinándose de esta manera, la toxicidad y peligros potenciales a la salud a distintas distancias del cuerpo emisor.

De manera similar al PHAST, calcula las sobrepresiones y radiaciones que, como consecuencia de un incidente planteado, se presentan a diferentes distancias.

Debido a que la modelización es un tema bastante extenso y que además queda fuera de los alcances y visión de este trabajo a continuación se presenta una breve descripción de ciertas situaciones modelizadas para dar una idea general de lo que tratan.

Para mayor información sobre este tema, le recomendamos al lector que acuda a las instalaciones del Instituto Nacional de Ecología.

## **1.- Modelos de Dispersión en Aire**

**A.- Modelo de Dispersión de Fugas y Derrames** Este modelo se aplica para efectuar estimaciones de concentraciones de sustancias peligrosas, a nivel de piso, provenientes de una fuga gaseosa o del derrame de un líquido que se evapora. los resultados a la salida del modelo son: la distancia de la pluma para alcanzar una concentración dada, el área de exclusión o área de riesgo, dentro de la cual se pueden tomar acciones preventivas de evacuación de la población en caso de accidente.

**B.- Modelo de Dispersión de un Puff o Burbuja** Este modelo considera la dispersión de un puff tridimensional o burbuja, formado por la masa de una sustancia que es liberada a la atmósfera en unos cuantos segundos, tal como una nube de gas provocada por una explosión o ruptura de una esfera de almacenamiento.

El modelo da como salidas la distancia recorrida por el puff, el tiempo de recorrido y la concentración en el centro del mismo a nivel de piso.

**2.- Modelos de Nubes Explosivas** El modelo considera como posibles formadores de nubes explosivas:

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

El modelo lleva implícitas las siguientes suposiciones:

- 1) la fuga es instantánea y no se considera el caso de un escape de gas paulatino, excepto para fugas en tuberías de gran capacidad con material transportado desde instalaciones alejadas.

ii) El material fugado se evapora instantáneamente y la nube se forma también instantáneamente, de acuerdo a las condiciones termodinámicas del gas o líquido inflamable antes de la fuga

iii) La nube adquiere una forma cilíndrica cuya altura es un eje vertical. No se consideran dispersiones ocasionadas por viento o por estructuras y edificios presentes

iv) La nube tiene una composición uniforme y su concentración en el aire está en el punto medio entre los límites inferior y superior de explosividad del material.

v) Se tomará el calor de combustión del TNT (200 BTU/lb) para convertir el calor de combustión del material a un equivalente en peso de TNT.

vi) La temperatura ambiente es constante e igual a 21°C.

#### 5.1.4 EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS GENERADAS POR LOS RIESGOS

El alcance de los riesgos predichos en la modelización combinado con la probabilidad de ocurrencia de esos eventos, condiciones ambientales del lugar, terreno, datos de población, determinan un número de fatalidades y estimados del daño a la planta para cada evento de falla específico, asumiendo que cada evento de falla ocurre. La frecuencia con la que se dan los eventos de falla se conoce como frecuencia de falla y está se estima empleando una combinación de la experiencia histórica de la planta, datos de relaciones de falla en tipos similares de equipos, juicios ingenieriles, factores de servicio, etc. Si se trata de la falla de un componente se puede determinar de bases de datos de relaciones de falla; para múltiples componentes de falla, se puede utilizar el método Árbol de Fallas para determinarla. En el anexo II se presentan algunos valores de frecuencias de falla.

Los estimados de fatalidades esperadas y daños a la propiedad para cada evento puede entonces ser combinada con la probabilidad anual de ocurrencia para cada evento de riesgo (esto es, una combinación de la frecuencia del accidente y la severidad del mismo) para producir los siguientes indicadores de riesgo

- Curva  $f/N$  ( frecuencia vs Número de fatalidades)
- Perfiles de riesgo
- Promedio anual de riesgo individual

Debido a que cada una de estas técnicas implicarían el desarrollo de otro texto, sólo serán descritas brevemente.

**Curva  $f/N$ .** Una curva  $f/N$  es una representación gráfica de riesgo en la que se representa la frecuencia de un accidente,  $f$ , contra el número esperado de

fatalidades para ese accidente,  $N$ , generando una serie de puntos. La curva  $f/N$  se genera por la unión de dichos puntos utilizando sólo los del contorno.

En general los accidentes con altas frecuencias de ocurrencia causan menores fatalidades que aquellos con bajas frecuencias de ocurrencia. La ventaja de este tipo de curvas es que ilustran claramente esta relación entre frecuencia de accidente y la severidad del accidente. La desventaja es que son difíciles de comparar para los riesgos asociados con otras actividades o eventos.

**Perfiles de Riesgo.** Este método de presentación de riesgo es un intento por cubrir la principal desventaja del concepto individual de riesgo, mientras se procede para una fácil comparación para los riesgos de otras actividades o eventos. Durante la computación del número esperado de fatalidades para cada accidente, el número total de fatalidades dentro de cada sector del diagrama de pétalos es considerado. Esto se hace para todos los sectores potencialmente expuestos a una o más zonas de riesgo letales y se muestran en un plano del área circundante a la instalación.

**Promedio de Riesgo Individual.** El promedio de riesgo individual se mide por el nivel de promedio anual de riesgo de la población potencialmente expuesta al accidente. El promedio individual de riesgo se calcula por la división del número esperado de fatalidades por año entre el total del número de público expuesto.

La ventaja del concepto de promedio individual de riesgo es que el resultado es un número fácilmente comparable con el riesgo asociado con algunas otras actividades o eventos peligrosos, tales como manejar un carro, fumar cigarrillos, etc. La principal desventaja de este concepto es que se basa en el total de la población potencialmente expuesta a una amplia zona de riesgo. Una persona que viva cerca de la instalación podría ser afectada en forma potencial por diferentes accidentes, pero una persona que habite a una distancia mucho mayor podría ser afectada solamente por un accidente catastrófico con muy pocas probabilidades de ocurrencia. Dentro del concepto del promedio individual de riesgo puede decirse que ambas personas están expuestas al mismo nivel de riesgo, pero es obvio que las personas que viven más cerca de instalaciones que manejen materiales peligrosos están expuestas a altos niveles de riesgo que aquellas personas que viven más lejos. Es por esto que se desarrolló el concepto de perfiles de riesgo para considerar únicamente a la población directamente afectada por un accidente catastrófico.

Los indicadores de riesgo habilitan a los responsables de tomar decisiones para evaluar los riesgos asociados con una actividad industrial específica. Los perfiles de riesgo y las curvas  $f/N$  para una planta y el promedio anual de riesgo individual pueden ser comparados con riesgos de otras actividades humanas para asistir la toma de decisiones juzgando la aceptabilidad del riesgo asociado con un proyecto particular.

#### **5.1.4.1 ACEPTABILIDAD DEL RIESGO**

La aceptabilidad de los riesgos que presenta cualquier industria puede ser juzgada por la comparación del promedio anual de riesgo individual estimado con los riesgos asociados con algunos accidentes y actividades comúnmente estudiadas.

El concepto de riesgo aceptable se enfoca en que los trabajadores, el público y las agencias regulatorias acepten los riesgos presentes en la empresa. La aceptación del riesgo por parte de la sociedad es aproximadamente igual a la aceptación de muerte por deceso. Cada individuo tiene una diferente percepción del riesgo y esto se debe a que existen varios factores que influyen en la percepción individual del riesgo. Dentro de estos podemos encontrar el aspecto cultural y educativo, así como el social, ya que estos pueden influenciar sobremanera y además son inherentes a cada individuo. Otro factor es el beneficio económico que se percibe de la actividad, es decir, que muchas personas aceptan un alto nivel de riesgo ya que ellos creen que el beneficio que se percibe es suficiente para justificar el riesgo.

Debido a esto las agencias regulatorias se han dado a la tarea de establecer ciertos parámetros para asegurar que las actividades consideradas como riesgosas se encuentren dentro de los límites permitidos para garantizar el mejor desempeño del personal sin poner en riesgo su propia vida. En la evaluación de riesgos se dice que un nivel de riesgo es aceptable cuando el daño que este pudiera causar no sobrepase estos límites y cuando existen los parámetros de seguridad apropiados que no permiten que el peligro se transforme en un riesgo.

#### **5.1.5 TOMA DE DECISIONES**

Una cualidad específica del mando es la decisión. Toda decisión supone renuncia. Decidir es escoger con pleno conocimiento de causa, aunque ello exija sacrificar algo.

Así, la toma de decisiones es por así decirlo, la llave final de todo proceso administrativo: ningún plan, ningún control, ningún sistema de organización tiene efecto mientras no se de una decisión.

La toma de decisiones está vinculada a la determinación del objetivo, a la investigación de los caminos que nos conducen a él, y a la fijación de alternativas.

La toma de decisiones debe basarse en dos tipos de elementos:

- a) Los hechos, tales como descripciones, observaciones, técnicas, conocimientos, etc

- b) Los valores, tales como opiniones, juicios, objetivos individuales, ideales, conceptos éticos, conceptos morales, etc.

Toda decisión debe basarse en ambos elementos y no debe ignorarlos bajo pena de ser incorrecta e inaplicable

Cualquier problema que requiera toma de decisiones tiene ciertos elementos esenciales. Primero hay diferentes maneras de resolver el problema, o sea dos o más acciones o alternativas posibles, sino no habría problema de decisión. Segundo: debe haber metas u objetivos que trata de alcanzar el que toma las decisiones Tercero debe haber un proceso de análisis mediante el cual las alternativas se evalúen en función de las metas Entonces las personas encargadas de tomar las decisiones pueden escoger la alternativa que mejor conduzca a sus metas.

Probablemente no existe una técnica universal para lograr decisiones buenas y eficientes. Puede haber una serie de enfoques distintos para la toma de decisiones: el enfoque psicológico, el enfoque económico, el enfoque lógico, el enfoque matemático, etc. Aunque, los dos primeros analizan los motivos que nos conducen a la decisión y a la búsqueda de maximización de resultados, respectivamente.

Algunas ayudas generales para la toma de decisiones acertadas son las siguientes:

1. Debe identificarse con claridad el problema sobre el que se deba decidir, haciendo una buena definición de este basándose en los hechos. Ya que el buen planteamiento del problema conlleva el 50% de su solución.
2. Garantizar que se cuenta con la información necesaria para poder decidir.
3. Plantear con claridad, las diversas posibilidades de acción y ponderarlas. Esto es, para escoger entre diversas alternativas, es necesario conocer todas esas alternativas para compararlas y ponderar sus ventajas y desventajas.
4. Se deben examinar las diversas consecuencias, considerando todos los hechos así como su influencia, para ir eliminando las diversas alternativas de acuerdo a su valor práctico decreciente.
5. Decidir sin olvidar los objetivos de la empresa y tomar todas las decisiones complementarias.
6. Establecer un sistema de control de resultados de las decisiones principales para ver sus efectos y corregir o mejorar lo previsto.

Para todo esto el proceso de la toma de decisiones hace uso de datos estadísticos con el propósito de añadirlos al conocimiento científico general y para ayudar en forma racional a dicho proceso, ya que la función estadística es ayudar



a decidir cuales datos son necesarios y como se recopilarán, tabularán, analizarán e interpretarán.

También, se utilizan modelos en el proceso de análisis, los cuales son una representación artificial de la realidad. En algunas ocasiones los modelos son intuitivos cuando las acciones a decidir son sencillas. Para decisiones más importantes se usan modelos más formales, que especifican en detalle las variables importantes y las relaciones existentes entre ellas. Por lo general, los modelos no representan exactamente a la realidad, para hacerlo tendrían que incluir demasiados factores que los harían muy complejos. Sin embargo, para que un modelo sea útil, solo se necesita que represente las variables importantes que influyan en la decisión que se deba tomar en un momento dado.

Dentro de los elementos empleados en la toma de decisiones para los aspectos de seguridad, los indicadores de riesgo pueden ayudar en este aspecto en la evaluación de la efectividad de medidas alternativas de reducción del riesgo. El propósito de la administración de riesgos es determinar los cambios necesarios para hacer que el nivel de riesgo sea aceptable y que los costos de estos cambios o acciones sean razonables. Dichas acciones pueden involucrar la reducción de la probabilidad de que ocurra un accidente o la reducción de la severidad, ya que el riesgo está definido como el producto de la probabilidad de ocurrencia del accidente y la severidad del mismo.

#### **5.1.5.1 IMPLEMENTACION DE ACCIONES RECOMENDADAS**

Uno de los aspectos más importantes para la implementación de las acciones recomendadas es el priorizar los resultados proporcionados por las técnicas de evaluación de riesgos. Algunas veces se dificulta el clasificar las sugerencias para mejorar la seguridad del sistema, debido a que las técnicas no proveen características cuantitativas definitivas útiles para propósitos de clasificación.

Existen tres tipos básicos de resultados que generan las técnicas de evaluación de riesgos: (1) Listas de riesgos identificados, problemas percibidos, o accidentes potenciales; (2) Descripciones del significado de los problemas o accidentes; y (3) Sugerencias para reducir el riesgo asociado con estos problemas o accidentes. No todas las técnicas de estudio proporcionan los tres tipos de resultados, de hecho algunos objetivos de ciertas técnicas pueden complementarse por una simple identificación de problemas potenciales. En la tabla 5.1 se muestran los atributos de priorización de las técnicas de evaluación de riesgos.

El tipo de resultados disponibles de un estudio de evaluación de riesgos está influenciado por varios factores, uno de los cuales es la técnica de análisis que se utilice para desarrollar el trabajo. Otras técnicas requieren que el analista

comprenda el significado de un accidente potencial de una manera sistemática y detallada. Para ayudar al entendimiento de este significado los analistas pueden examinar las causas y efectos potenciales de un accidente.

Un problema frecuente al que se enfrenta la dirección de una empresa son los largos listados de recomendaciones que algunos equipos de evaluación les presentan, debido a que no saben por donde empezar, o simplemente no saben cuales son las acciones a implementar más importantes. Un sistema desarrollado por el departamento de energía de los E.U.A evalúa y documenta las acciones correctivas recomendadas desarrolladas como parte del estudio, estableciendo prioridades para implementar dichas recomendaciones y para su monitoreo. Este procedimiento emplea una matriz de códigos de riesgo combinando la probabilidad de ocurrencia de un accidente particular y la severidad relativa de las consecuencias del accidente. La severidad puede relacionarse a uno o todos los puntos siguientes:

- Seguridad Pública
- Seguridad del trabajador
- Tiempo fuera de operación de la instalación
- Impacto ambiental

La frecuencia y severidad se combinan utilizando una matriz de códigos de riesgo como se muestra en la figura 5.2, para obtener un índice de riesgo. Los índices de riesgo pueden ser utilizados para priorizar las recomendaciones.

**Acciones Correctivas de Alta Prioridad** Las desviaciones con índice de riesgo de 1 a 2 se les asigna una alta prioridad para implementar las acciones correctivas. Una alta prioridad significa que se requiere de la implementación de una acción inmediata para mitigar la ocurrencia de un accidente o consecuencia.

**Acciones Correctivas de Prioridad Media** A las desviaciones con índice de riesgo de 3, 4, o 5 se les asigna una prioridad media para implementar las acciones correctivas. Una orden de prioridad media significa que una acción es recomendada y la dirección debe evaluar las recomendaciones en base a costos y a la reducción del riesgo, y también tomar acción o aceptar el riesgo como parte de las acciones de la administración.

**Acciones Correctivas de Baja Prioridad** A las desviaciones con índices de riesgo de 6, 7, u 8 se les asigna una prioridad baja para implementar acciones correctivas. Una prioridad baja significa que dicha acción correctiva puede mejorar la seguridad pero el proceso puede ser operado en forma segura aunque la acción no sea implementada. La dirección debe evaluar las recomendaciones en base al balance costo-beneficio que esto genere.

Tabla 5.1 Atributos de Priorización de las Técnicas de Evaluación de Riesgos.

Técnica	¿Proporciona información del escenario de accidente?	¿Proporciona información de frecuencia?	¿Proporciona información de consecuencias?	¿Es posible la categorización del evento?	Observaciones
Lista de Verificación	No, específica escenarios usualmente no identificados.	No	No	No	
Encuesta de Seguridad	No, específica escenarios usualmente no identificados.	No	No	No	
Indices Dow, Mond, Merit	Si, basándose en una unidad o sistema motor	No	Si	Categorización de las consecuencias	
A Preliminar de riesgos	No, específica escenarios usualmente no identificados.	No	Si	Si	
What-If y What-If/Lista de Verificación	No, específica escenarios usualmente no identificados.	No	Si	Categorización de las consecuencias	
HAZOP	Si	Si	Si	Categorización de las consecuencias	Es posible hacer una categorización del riesgo.
TAMVA	Si	Si	Si	Categorización de las consecuencias	
Árbol de Fallas	Si	Si, basándose en el tamaño y número de conjuntos de corte y tipos de fallas involucradas.	No	Categorización de la frecuencia basándose en la importancia estructural.	Existen técnicas para estimar la frecuencia del evento top.
Árbol de Eventos	Si	Si, basándose en el número de escenarios de accidente y tipos de fallas involucradas.	Si se asignan categorías para cada escenario.	Si	Existen técnicas para estimar las frecuencias de los escenarios de accidente.
Análisis de Consecuencia	Si	Si, basándose en el número de escenarios de accidente y número y tipo de fallas.	Si se asignan categorías de consecuencias para cada escenario.	Si	Existen técnicas para estimar las frecuencias del escenario del accidente.
Centralidad Humana	Si	Si, basándose en el número y longitud de escenarios y tipos de errores humanos.	No	Categorización de la frecuencia.	Existen técnicas para estimar la probabilidad del error humano.

El primer paso del equipo de evaluación de riesgos es asignar a la acción correctiva una prioridad alta, media o baja y preparar los formatos correspondientes. Una vez completados estos formatos se deben enviar al nivel apropiado de dirección para su revisión. Los formatos de acciones correctivas de alta prioridad deben ser enviadas a la alta dirección de la planta para asegurar que estos directivos sean informados de los problemas significativos de seguridad. Después de revisar los formatos proporcionados, los directivos deben asignar al grupo más apropiado para que implemente las acciones necesarias.

De manera similar, las acciones correctivas de prioridad media se envían a la dirección del departamento afectado para su revisión. Las acciones correctivas de baja prioridad deben ser enviadas a la dirección del área de seguridad general de la planta. Generalmente, en este último caso se acepta el riesgo y por lo general no se efectúa ningún cambio. Todo esto se puede llevar a cabo a través de un programa que se enfoque en dar seguimiento al progreso de la implementación de las acciones recomendadas para mejorar la seguridad de la planta y es recomendable que su revisión sea en forma mensual.

Finalmente, se debe preservar los estudios efectuados para un uso posterior y se debe proporcionar evidencia de que el estudio de evaluación de riesgos ha sido desarrollado de acuerdo con las prácticas ingenieriles y basados en los requerimientos jurídicos de la zona.

Figura 5.2. Matriz de Índices de Riesgo

CATEGORIA DE SEVERIDAD	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA		FRECUENTE (A)	PROBABLE (B)	OCASIONAL (C)	INPROBABLE (D)
			Estimado de uno o más acontecimientos dentro de los primeros 10 años de operación (probabilidad $\times 10^1$ )	Estimado de uno o más acontecimientos dentro de los primeros 50 años de vida del complejo, pero menor que 1 en los primeros 10 años ( $p = 10^{-1} \times 2 \times 10^1$ )	Estimado menor a un acontecimiento dentro de los primeros 50 años, pero uno o mas acontecimientos dentro de los siguientes 500 años ( $p = 2 \times 10^{-2} \pm 2 \times 10^{-3}$ )	Estimado menor a un acontecimiento dentro de los siguientes 500 años ( $p < 2 \times 10^{-4}$ )
<b>CATASTRÓFICO (I)</b>						
PERSONAL DE OPERACIÓN - Muerte PÚBLICO - Expuesto a accidentes que amenazan la vida AMBIENTE - Derrame de grandes cantidades de fluidos peligrosos los cuales no se pueden contener EQUIPO - Daños que ocasionen el cese de operación durante 90 días o más					<b>4</b>	<b>6</b>
<b>CRÍTICO (II)</b>						
PERSONAL DE OPERACIÓN - Incapacidad lesión severa PÚBLICO - expuesto a accidentes que pueden causar lesiones AMBIENTE - derrame de materiales peligrosos que no se pueden contener EQUIPO - Daños que resulten en el cese de operación por un periodo >10 días pero < a 90			<b>3</b>		<b>5</b>	<b>7</b>
<b>MARGINABLE (III)</b>						
PERSONAL DE OPERACIÓN - Tiempo perdido por lesiones que involucrian incapacidad PÚBLICO - No impacta AMBIENTE - Poca peligro de derrame de fluidos que no se pueden contener EQUIPO - Daños que resulten en el cese de operación de 1 a 10 días		<b>4</b>	<b>5</b>		<b>6</b>	<b>8</b>
<b>INSIGNIFICANTE (IV)</b>						
PERSONAL DE OPERACIÓN - Lesiones que no ocasionen pérdida de tiempo y que puedan ser tratadas por un año dentro de las instalaciones PÚBLICO - No impacta AMBIENTE - Derrame de fluidos peligrosos que pueden ser contenidos EQUIPO - Daños que resulten en el cese de operación insignificante	<b>6</b>		<b>7</b>		<b>8</b>	<b>9</b>

D. 12



Alto: Requiere acción



Moderado: Requiere acción o un estudio posterior



Bajo: No requiere acción

## CAPITULO 6

### CONCLUSIONES

Satisfacer las necesidades de una sociedad cambiante demanda un rápido aprovechamiento de los recursos y una búsqueda de nuevas formas energéticas teniendo como resultado la creación de nuevas tecnologías las cuales requieren para su correcta aplicación, personal mejor calificado. Este repentino cambio junto con el deterioro de las plantas ya existentes han propiciado accidentes que han dejado una huella profunda de dolor que en sus momentos conmovieron al mundo entero. El incremento de estos accidentes de magnitudes catastróficas ha marcado a la industria como a uno de los peores enemigos de esta sociedad

Algunas industrias internacionales preocupadas por mejorar su imagen se han empeñado en ocuparse más de la seguridad de sus instalaciones y de esta forma preservar su estancia en el negocio y obtener el respeto del mundo circundante. Para lograrlo, han generado metodologías de Evaluación de Riesgos que les ayuden a identificar aspectos que dañen sus intereses. Es así como la evaluación de riesgos se ha posicionado en los últimos años como un elemento importante dentro del desarrollo óptimo de toda empresa que desee alcanzar la calidad total que permite un mayor adelanto tecnológico y sobre todo un compromiso real por la seguridad de sus intereses, personal operativo, sociedad y medio ambiente. La inversión que se realiza a mediano y largo plazo permite la permanencia de las unidades productivas y por lo tanto de los negocios

Hoy en día existen en el mercado una gran variedad de técnicas de Evaluación de Riesgos aplicables a cualquier etapa durante la vida de un proceso. Estas técnicas proporcionan diferentes tipos de resultados dependiendo de los objetivos trazados por la empresa.

Si sólo se desea obtener un estimado general de las condiciones de seguridad prevalentes, las técnicas más adecuadas son:

- Análisis Preliminar de Riesgos
- Lista de Verificación
- Revisión de la Seguridad
- Clasificación Relativa

Estas realizan una comparación de los atributos de la planta con las prácticas estándares de diseño, operación y mantenimiento. Algunas son tan versátiles que pueden ser aplicadas cotidianamente y únicamente generan resultados cualitativos.

Cuando existen discrepancias de consideración con respecto a las prácticas estándares o cuando se desea conocer el grado de seguridad de la planta o cuando se han detectado zonas potenciales de riesgo es necesario realizar un estudio más detallado para analizar sus causas, consecuencias y posibles medidas de mitigación. Para este propósito pueden emplearse las siguientes técnicas.

- What-If?
- What-If?/Lista de Verificación
- HAZOP
- FMEA

A través de ellas se detectan riesgos específicos en dispositivos, equipos y sistemas que pueden requerir de un estudio posterior más minucioso. Los resultados generados son cualitativos.

Para detectar las rutas del proceso de falla de un sistema en específico existen técnicas tan detalladas como el.

- Árbol de Fallas
- Árbol de Eventos
- Análisis Causa-Consecuencia
- Análisis de la Confiabilidad Humana

Los resultados que generan son estimados probabilísticos basados en las frecuencias de falla de cada elemento del sistema, los cuales son de gran importancia para la priorización de acciones correctivas sugeridas.

Es importante aclarar aquí, que puede aplicarse una técnica o conjunto de ellas, pero su uso debe ser selectivo con el fin de optimizar sus resultados. También se deben analizar sus ventajas y desventajas, preguntándonos invariablemente si nos dará las respuestas esperadas en función de la profundidad, tiempo, costo y utilidad de sus resultados.

El proceso selectivo se basa en criterios específicos que toman en consideración los siguientes puntos:

- Motivo del estudio.
- Tipo de resultados requeridos.
- Tipo de información disponible.
- Características del problema
- Riesgos percibidos asociados
- Recursos disponibles y preferencias.

Consideramos que el más significativo es el motivo por el cual se pretende aplicar una Evaluación de Riesgos, ya que de esta manera se define el grado de profundidad que se desea alcanzar. Este puede ser de tipo jurídico, económico, social, ambiental, etc., pero el motivo principal debe ser el compromiso real por parte de los dueños de una empresa por establecer el nivel de seguridad más alto posible de tal manera que sea parte integral del funcionamiento de la empresa. Esto logrará que se cumpla con otra premisa importante: garantizar la óptima protección a la propiedad, personal operativo, sociedad y medio ambiente.

Es importante hacer una selección adecuada de las técnicas a emplear en cada proceso u operación, ya que se puede sobreestudiar un problema si se emplea una técnica que proporcione mayor información de la necesaria o una que no cubra la mínima necesaria. Indudablemente en ambos casos se desperdician recursos. Por esta razón es importante que un experto en la evaluación de riesgos sea quien elija y conduzca las técnicas de evaluación de riesgos pertinentes logrando con ello la obtención de resultados óptimos para la creación de propuestas de soluciones efectivas y lograr el balance óptimo entre el costo del control del riesgo y la efectividad en su eliminación o reducción ya que el costo de la seguridad afectará los costos de operación globales de la empresa.

Los beneficios de un programa de Evaluación de Riesgos pueden ser sustanciales, sin embargo no pueden ser medidos sobre un periodo corto de tiempo. Estos incluyen:

- Pocos accidentes durante la vida de un proceso.
- Reducción de las consecuencias de posibles accidentes.
- Mejoras en la respuesta a emergencias.
- Mejoras en el adiestramiento y conocimiento del proceso.
- Efectuar operaciones más eficientes y productivas.
- Mejorar las relaciones con las autoridades y con la comunidad.
- La creación de una imagen respetable de la empresa.

Sin embargo, estos beneficios no se pueden obtener sin una investigación significativa. Dependiendo del tamaño y complejidad del sistema una evaluación puede requerir desde varias horas hasta algunos meses de trabajo. Además, la



documentación, adiestramiento y recursos requeridos por el staff de evaluación pueden ser extensos.

Aunque las evaluaciones de riesgos sean de la más alta calidad y se ejecuten en forma cotidiana durante la vida de un proceso no se puede garantizar que no ocurran accidentes, siendo esta su principal desventaja. A pesar de esto proporcionan información útil para la toma de decisiones que manejada de manera objetiva puede ayudar a generar un nivel de seguridad aceptable. Además, enfocan los esfuerzos de las empresas para crear una base sólida y confiable para el monitoreo y crecimiento constante de los planes y programas de seguridad que toda empresa debe tener.

Por desgracia en nuestro país no se considera todo lo anterior como una ventaja competitiva, sino más bien como una carga económica más que el gobierno les implanta a los industriales para minimizar sus utilidades netas. Incluso PEMEX no toma muy en serio la Evaluación de Riesgos, ya que en los últimos años ha sido el centro de atención por los constantes accidentes ocurridos en varias de sus instalaciones por no contar con programas básicos de monitoreo y mantenimiento efectivos. Esto refleja el interés que el sector industrial tiene con los aspectos de seguridad. Por otro lado, los mecanismos jurídicos existentes para controlar los riesgos han demostrado ser ineficientes, ya que las autoridades y organismos creados para este propósito no están realmente interesados en que se cumpla con los requerimientos de seguridad. Aunque se han generado ciertos intentos de reglamentar el manejo y procesamiento de sustancias peligrosas no se ha logrado reglamentar correctamente su aplicación, de tal forma que a la fecha no existe un reglamento específico y definido en materia de control de riesgos industriales.

Podrían citarse una gran cantidad de accidentes relevantes, pero esto no es lo importante, sino más bien, el que invariablemente en todos ellos se han combinado (en grados distintos) la corrupción y la decidia de funcionarios y empresarios, y la inexistencia de un sistema de protección civil y de prevención de desastres.

Cuando los accidentes ocurren con frecuencia dejan de ser "accidentales". Esto demuestra que no es válido llamar accidente lo que en realidad es el fruto del incumplimiento del deber estricto. Las investigaciones exhaustivas deben darse antes de que ocurran las catástrofes. Esas son las investigaciones exhaustivas que se requieren.

Si en verdad se quiere compenetrar a la Evaluación de Riesgos como parte importante de la práctica industrial consideramos que es necesario implementar las siguientes acciones

1. Una adecuada planificación urbana, en la que se delimiten con claridad las áreas residenciales y las industriales.
2. Creación de mecanismos para evitar que la ineptitud de las autoridades permitan la integración caótica de ambos usos del suelo.
3. Hacer que se cumplan las regulaciones para la operación industrial.
4. Auditorías sorpresa de seguridad
5. Incentivos fiscales para las empresas que implementen un programa de seguridad global para evitar catástrofes
6. Creación de programas de prevención de accidentes entre las empresas, autoridades y la comunidad para saber que hacer en caso de emergencias.
7. Aplicación efectiva del marco jurídico en cuestión de riesgo industrial y monitoreo constante por parte de la autoridades. Esto implica, fuertes sanciones económicas a aquellos que no cumplan.
8. Concientización de la comunidad afín en cuanto a lo que representa el riesgo industrial.
9. Creación de un Organismo de Consultoría en materia de Riesgo Industrial.
10. Formulación de una reglamentación más completa e integral.
11. Creación de un organismo en peritaje de Evaluación de Riesgos y descartar de este a empresas especializadas en seguridad industrial e impacto ambiental.
12. Obligar a los dueños de una empresa a entregar planes de entrenamiento del personal durante la operación normal y en situaciones de emergencia que se presenten en las instalaciones, incluyendo una evaluación de su desempeño y habilidad para lograr minimizar los errores humanos.

México es un país de intenciones, pero esto no sirve de nada si no se les acompaña de un propósito y acciones bien definidas para entonces lograr frutos trascendentes que lo lleven a posicionarse dentro de un nivel respetable internacionalmente.

## ANEXO I

### GUÍAS PARA LA ELABORACIÓN DE INFORMES DE RIESGO EN SUS TRES MODALIDADES

#### 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 existen 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 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 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.- 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 \_\_\_\_\_ (m<sup>2</sup>) requerida \_\_\_\_\_ (m<sup>2</sup>)

II.2.4.- Origen legal del predio (compra, venta, concesión, expropiación, arrendamiento, etc.)

II.2.5.- Descripción de accesos (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 usos del suelo, etc.).

Anexar comprobantes

## III.- ASPECTOS DEL MEDIO NATURAL Y SOCIOECONOMICO.

Describe el sitio seleccionado para la realización del proyecto dentro de 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, río, 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? ¿Cuáles son? \_\_\_\_\_
- III.13.- ¿Se encuentra incluido el sitio seleccionado para el proyecto en un programa de planificación adecuada 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 ( incluyendo la minería).
  - ( ) Actividades comerciales o de negocios
  - ( ) Centros urbanos.
  - ( ) Núcleos residenciales.
  - ( ) Centros rurales
  - ( ) Zona de uso restringido (por motivos culturales, históricos, reservas ecológicas y arqueológicas)
  - ( ) Cuerpos de agua
- III.15.- ¿Está el lugar ubicado en una zona susceptible a:
- ( ) Terremotos (sismicidad)?
  - ( ) Corrimiento 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?
- III.16.- ¿Ha habido informes sobre contaminación del aire, de las aguas o por residuos sólidos debido a otras actividades en la zona de 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? Describa en términos de su composición biológica, física y su grado actual de degradación.

III.21. - ¿Es la economía del área exclusivamente de subsistencia?

III.22. - ¿Cuál es el ingreso medio anual per capita de los habitantes del área del proyecto (en un radio de 10 Km ) en relación con el resto del país? Describa así mismo, los aspectos demográficos y socioeconómicos del área de interés

III.23. - ¿Crearé el proyecto una demanda excesiva de:

- Fuerza de trabajo de la localidad?
- Servicios 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 la 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. - ETAPA DE CONSTRUCCIÓN.

IV.1.1 - Construcción (desglose por etapas) y mantenimiento

IV.1.2 - Materiales requeridos por etapa de proyecto

IV.1.3 - Funcionarios.

IV.1.4. - Técnicos.

IV.1.5. - Empleados

IV.1.6. - Obreros

IV.1.7 - Equipos requeridos por etapa de proyecto (en cantidad, tiempo estimado de uso, y descripción).

IV.1.8. - REQUERIMIENTO DE AGUA Y ENERGÍA

IV.1.8.1 - Agua (origen, fuente, suministro, cantidad, almacenamiento)

IV.1.8.2 - Agua cruda

IV.1.8.3 - Agua potable

IV.1.8.4 - Electricidad (origen, fuente de suministro, potencia, voltaje).

IV.1.8.5 - 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 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 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 los componentes

IV.3.1.2.- Número CAS

IV.3.1.3.- Número de Naciones Unidas.

IV.3.1.4.-Especificar si algún componente tiene efectos cancerígenos y/o teratogénicos.

IV.3.1.5.- Límite Máximo permisible de concentración

IV.3.1.6.- Nombre del fabricante o importador.

IV.3.1.7.- En caso de emergencia comunicarse al teléfono o fax No. \_\_\_\_\_

#### IV.3.2.- PRECAUCIONES ESPECIALES.

IV.3.2.1.- Precauciones que deben ser tomadas para el manejo y almacenamiento

IV.3.2.2.- Especificar cumplimiento de acuerdo con la reglamentación de transporte.

IV.3.2.3.- Especificar cumplimiento de acuerdo con las reglamentaciones ecológicas

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 (butilacetato=1).

IV.3.3.10.- Temperatura de autoignición (°C).

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.- Por ciento 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/m<sup>3</sup>)

CPT (TLV 8 horas) \_\_\_\_\_ (ppm o mg/m<sup>3</sup>)

CCT (TLV 15 min.) \_\_\_\_\_ (ppm o mg/m<sup>3</sup>)

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 de Trabajo y Previsión Social u otros. Especificar.

**IV.3.5. - RIESGOS DE FUEGO O EXPLOSIÓN.**

IV.3.5.1.- Medio de extinción:

( ) Niebla de agua

( ) Espuma

( ) Agua

( ) CO<sub>2</sub>

( ) Polvo químico seco

( ) Otros.

IV.3.5.2.- Equipo especial de protección para combate de incendios.

IV.3.5.3.- Procedimiento especial de combate de incendios.

IV.3.5.4.- Condiciones que conducen a un peligro de fuego y/o explosión no usuales.

IV.3.5.5.- Productos de la 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). Así mismo anexar plano del 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: 5,000

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 verificación 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. - Usos del 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.

## 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 existen 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 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 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. - Naturaleza del Proyecto (descripción general, capacidad proyectada, inversión, vida útil).

II.1.2. - 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 de 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 \_\_\_\_\_(m<sup>2</sup>) requerida \_\_\_\_\_(m<sup>2</sup>)
- II.2.4.-Origen legal del predio (compra, venta, concesión, expropiación, arrendamiento, etc)
- II.2.5.- Descripción de accesos (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 usos del suelo, etc.).  
Anexar comprobantes

### III.- ASPECTOS DEL MEDIO NATURAL Y SOCIOECONÓMICO

Describe el sitio seleccionado para la realización del proyecto dentro de 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, río, 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? ¿Cuáles son? \_\_\_\_\_
- III.13.- ¿Se encuentra incluido el sitio seleccionado para el proyecto en un programa de planificación adecuada o aplicable (por ejemplo el plan de Ordenamiento Ecológico del Área)? \_\_\_\_\_
- III.14.-¿Dentro de un radio aproximado de 10 Km. de! área del proyecto, qué actividades se desarrollan ?
- ( ) Tierras cultivables
  - ( ) Bosques
  - ( ) Actividades industriales ( incluyendo la minería).

- Actividades comerciales o de negocios.
  - Centros urbanos
  - Núcleos residenciales
  - Centros rurales
  - Zona de uso restringido (por motivos culturales, históricos, reservas ecológicas y arqueológicas)
  - Cuerpos de agua
- III.15.- ¿Está el lugar ubicado en una zona susceptible a
- Terremotos (sismicidad)?
  - Corrimiento de tierra?
  - Derrumbamientos o hundimientos?
  - Efectos meteorológicos adversos (inversión térmica, niebla, etc.)?
  - Inundaciones (histórica 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?
- III.16.- ¿Ha habido informes sobre contaminación del aire, de las aguas o por residuos sólidos debido a otras actividades en la zona de proyecto? Especificar.
- 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? Describa en términos de su composición biológica, física y su grado actual de degradación. \_\_\_\_\_
- III.21.- ¿Es la economía del área exclusivamente de subsistencia? \_\_\_\_\_
- III.22.- ¿Cuál es el ingreso medio anual per capita de los habitantes del área del proyecto (en un radio de 10 Km.) en relación con el resto del país? Describa así mismo, los aspectos demográficos y socioeconómicos del área de interés.
- III.23.- ¿Crearé el proyecto una demanda excesiva de:
- Fuerza de trabajo de la localidad?
  - Servicios 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.- ¿Contará 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 la 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.- ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

IV.1.1 - Construcción (desglose por etapas) y mantenimiento

IV.1.2 - Materiales requeridos por etapa de proyecto

IV.1.3 - Funcionarios

IV.1.4 - Técnicos

IV.1.5 - Empleados

IV.1.6 - Obreros

IV.1.7 - Equipos requeridos por etapa de proyecto (en cantidad, tiempo estimado de uso, y descripción)

IV.1.8 - REQUERIMIENTO DE AGUA Y ENERGÍA

IV.1.8.1 - Agua (origen, fuente, suministro, cantidad, almacenamiento)

IV.1.8.2 - Agua cruda

IV.1.8.3 - Agua potable

IV.1.8.4 - Electricidad (origen, fuente de suministro, potencia, voltaje)

IV.1.8.5 - Combustibles (origen, suministro, cantidad, características, almacenamiento)

##### IV.2.- ETAPA DE OPERACION

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 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 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 los componentes

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 No. \_\_\_\_\_

##### IV.3.2.- PRECAUCIONES ESPECIALES

IV.3.2.1 - Precauciones que deben ser tomadas para el manejo y almacenamiento

IV.3.2.2 - Especificar cumplimiento de acuerdo con la reglamentación de transporte.

IV.3.2.3 - Especificar cumplimiento de acuerdo con las reglamentaciones ecológicas.

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 (T1) \_\_\_\_\_ (g/ml).  
IV.3.3.6.- Punto de ebullición \_\_\_\_\_ (°C).  
IV.3.3.7 - Calor de vaporización a (T2) \_\_\_\_\_ (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.3.3.10 - Temperatura del líquido en proceso \_\_\_\_\_ (°C).  
IV.3.3.11 - Volumen a condiciones normales \_\_\_\_\_ (ft<sup>3</sup>).  
IV.3.3.12 - Volumen del proceso \_\_\_\_\_ (gal).  
IV.3.3.13 - Presión de vapor. (mmHg a 20°C)  
IV.3.3.14 - Densidad de vapor. (aire=1)  
IV.3.3.15 - Reactividad en agua  
IV.3.3.16 - Velocidad de evaporación. (butil-acetona=1)  
IV.3.3.17 - Temperatura de autoignición  
IV.3.3.18 - Temperatura de fusión (°C)  
IV.3.3.19 - Densidad relativa  
IV.3.3.20 - Solubilidad en agua  
IV.3.3.21 - Estado físico, color y olor  
IV.3.3.22 - Punto de inflamación.  
IV.3.3.23 - Por ciento de volatilidad  
IV.3.3.24 - 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.3.4.5 - Toxicidad

iDLH \_\_\_\_\_ (ppm o mg/m<sup>3</sup>)  
CPT (TLV 8 horas) \_\_\_\_\_ (ppm o mg/m<sup>3</sup>)  
CCT (TLV 15 min) \_\_\_\_\_ (ppm o mg/m<sup>3</sup>)

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 de Trabajo y Previsión Social u otros. Especificar.

IV.3.5 - RIESGOS DE FUEGO O EXPLOSIÓN

- IV.3.5.1 - Medio de extinción  
( ) Niebla de agua.  
( ) Espuma.

- ( ) Agua.
- ( ) CO<sub>2</sub>.
- ( ) Polvo químico seco.
- ( ) Otros.

**IV.3.5.2.-** Equipo especial de protección (general) para combate de incendios.

**IV.3.5.3.-** Procedimiento especial de combate de incendios.

**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.-** Estabilidad de las sustancias.

**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 - 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.-** Usos del 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.

**IV.5.- CONDICIONES DE OPERACIÓN**

**IV.5.1.-** Características de instrumentación y control (debiendo incluir diagrama lógico de control y planos 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 deberán incluir: (temperaturas extremas de operación, presiones extremas de operación y estado físico de las diversas corrientes del proceso).

IV.5.5.- Características del régimen operativo 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.2.1.- Metodología usada para la jerarquización de los riesgos (descripción y memoria de cálculo de la misma).

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.- Modelización matemática de el o los eventos máximos probables de riesgo.

V.5.- Descripción de riesgos que tengan afectación potencial al entorno de la planta. Asimismo se deberá anexar el diagrama de pátalos, señalando el área de afectación en un plano de localización a escala 1:5,000.

V.6.- Descripción de medidas de seguridad y operación para abatir el riesgo.

V.7.- Describir los dispositivos de seguridad con que se cuenta para el control de eventos extraordinarios

V.8.- Descripción de normas de seguridad y operación para captación y traslado de materias primas, productos y subproductos utilizados que se consideren tóxicos, inflamables, explosivos, etc.

V.9.- Descripción de rutas de traslado de sustancias que se consideren tóxicas, inflamables, explosivas, etc.

V.10.- Descripción del entrenamiento para capacitación de los operarios de los transportes.

V.11.- Definición y justificación de las zonas de protección alrededor de la instalación.

V.12.- Respuesta a la lista de verificación detallada de seguridad.

V.13.- Descripción de auditorías de seguridad.

V.14.- DRENAJES Y EFLUENTES ACUOSOS

V.14.1.- Planos de distribución de drenajes.

V.14.2.- Diagrama de la instalación del sistema de segregación de drenajes.

V.14.3.- Frecuencia de monitoreo de la calidad fisicoquímica de los efluentes y parámetros analizados en los mismos.

V.14.4.- Registro y medición de los gastos volumétricos de los efluentes.

V.14.5.- Tratamiento o disposición actual de los efluentes.



V.14.6.- Manifiesto y condiciones particulares de descarga de efluentes.

V.14.7.- Colectores o cuerpos de agua de descarga de sus efluentes.

**VI.- CONCLUSIONES.**

VI.1.- Hacer un resumen de la situación general que presenta la planta o proyecto, en materia de riesgo ambiental, señalando las desviaciones encontradas, metodologías utilizadas para la identificación y evaluación de riesgos y áreas de afectación.

VI.2.- Recomendaciones para corregir, mitigar, eliminar o reducir los riesgos identificados.

**VII.- ANEXAR MEMORIA FOTOGRÁFICA DEL SITIO DE UBICACIÓN DE LA PLANTA O PROYECTO.**

## GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO DE RIESGO MODALIDAD ANÁLISIS DE FALLADO DE RIESGO

### I.- DATOS GENERALES

(La información solicitada en este apartado, es necesario escribirla sin abreviaturas y legible; cuando existen 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 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 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 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 DE LA PLANTA.

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. - 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 \_\_\_\_\_ (m<sup>2</sup>) requerida \_\_\_\_\_ (m<sup>2</sup>)
- II.2.4. - Origen legal del predio (compra, venta, concesión, expropiación, arrendamiento, etc.) \_\_\_\_\_
- II.2.5. - Descripción de accesos (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 usos del suelo, etc.). Anexar comprobantes.
- III. - ASPECTOS DEL MEDIO NATURAL Y SOCIOECONÓMICO
- Describa el sitio seleccionado para la realización del proyecto dentro de 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, río, 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? ¿Cuáles son? \_\_\_\_\_
- III.13. - ¿Se encuentra incluido el sitio seleccionado para el proyecto en un programa de planificación adecuada 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 ( incluyendo la minería).
  - ) Actividades comerciales o de negocios.
  - ) Centros urbanos.
  - ) Núcleos residenciales.
  - ) Centros rurales.
  - ) Zona de uso restringido (por motivos culturales, históricos, reservas ecológicas y arqueológicas).
  - ) Cuerpos de agua
- III.15.- ¿Está el lugar ubicado en una zona susceptible a:
- ) Terremotos (sismicidad)?
  - ) Corrimiento de tierra?
  - ) Derrumbamientos o hundimientos?
  - ) Efectos meteorológicos adversos (inversión térmica, niebla, etc.)?
  - ) Inundaciones (históricas 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?
- 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? Especificar.
- 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? Describa en términos de su composición biológica, física y su grado actual de degradación. \_\_\_\_\_
- III.21 - ¿Es la economía del área exclusivamente de subsistencia? \_\_\_\_\_
- III.22 - ¿Cuál es el ingreso medio anual per capita de los habitantes del área del proyecto, en un radio de 10 Km . en relación con el resto del país? Describa así mismo, los aspectos demográficos y socioeconómicos del área de interés.
- III.23 - ¿Crearé el proyecto una demanda excesiva de:
- ) Fuerza de trabajo de la localidad?
  - ) Servicios 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 aislaré 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 la 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.- ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

IV.1.1.- Construcción (desglose por etapas) y mantenimiento.

IV.1.2.- Materiales requeridos por etapa de proyecto:

IV.1.3.- Funcionarios.

IV.1.4.- Técnicos.

IV.1.5.- Empleados.

IV.1.6.- Obreros.

IV.1.7.- Equipos requeridos por etapa de proyecto (en cantidad, tiempo estimado de uso, y descripción).

IV.1.8 - REQUERIMIENTO DE AGUA Y ENERGÍA

IV.1.8.1 - Agua (origen, fuente, suministro, cantidad, almacenamiento).

IV.1.8.2.- Agua cruda.

IV.1.8.3.- Agua potable.

IV.1.8.4.- Electricidad (origen, fuente de suministro, potencia, voltaje).

IV.1.8.5.- Combustibles (origen, suministro, cantidad, características, almacenamiento).

IV.2.- DISEÑO DEL PROCESO

IV.2.1.- Elaborar una breve descripción de la historia del proceso.

IV.2.2.- Describir en forma detallada la selección de la ingeniería básica del proceso tomando como base las características de los materiales involucrados.

IV.3.- SUSTANCIAS INVOLUCRADAS EN EL PROCESO.

IV.3.1.- COMPONENTES RIESGOSOS.

IV.3.1.1.- Porcentaje y nombre de los componentes.

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 No.: \_\_\_\_\_

IV.3.2.- PRECAUCIONES ESPECIALES.

IV.3.2.1.- Precauciones que deben ser tomadas para el manejo y almacenamiento.

IV.3.2.2.- Especificar cumplimiento de acuerdo con la reglamentación de transporte.

IV.3.2.3.- Especificar cumplimiento de acuerdo con las reglamentaciones ecológicas.

IV.3.2.4.- Otras precauciones.

IV.4.- PROPIEDADES FÍSICAS.

Datos de las sustancias peligrosas que se manejan como: materia prima, producto y subproducto.

IV.4.1. - Nombre comercial \_\_\_\_\_ Nombre químico \_\_\_\_\_

IV.4.2. - Sinónimos \_\_\_\_\_

IV.4.3. - Fórmula química \_\_\_\_\_ Estado físico \_\_\_\_\_

IV.4.4. - Peso molecular \_\_\_\_\_ (g/gmol).

IV.4.5. - Densidad a temperatura inicial (T1) \_\_\_\_\_ (g/ml).

IV.4.6. - Punto de ebullición \_\_\_\_\_ (°C).

IV.4.7. - Calor de vaporización a (T2) \_\_\_\_\_ (cal/g).

IV.4.8. - Calor de combustión (como líquido) \_\_\_\_\_ (BTU/lb).

IV.4.9. - Calor de combustión (como gas) \_\_\_\_\_ (BTU/lb).

IV.4.10. - Temperatura del líquido en proceso \_\_\_\_\_ (°C).

IV.4.11. - Volumen a condiciones normales \_\_\_\_\_ (ft<sup>3</sup>).

IV.4.12. - Volumen del proceso \_\_\_\_\_ (gal).

IV.4.13. - Presión de vapor. (mmHg a 20°C).

IV.4.14. - Densidad de vapor. (aire=1).

IV.4.15. - Reactividad en agua.

IV.4.16. - Velocidad de evaporación. (butil-acetona=1).

IV.4.17. - Temperatura de autoignición.

IV.4.18. - Temperatura de fusión. (°C).

IV.4.19. - Densidad relativa.

IV.4.20. - Solubilidad en agua.

IV.4.21. - Estado físico, color y olor.

IV.4.22. - Punto de inflamación.

IV.4.23. - Por ciento de volatilidad.

IV.4.24. - Otros datos.

IV.5. - RIESGO PARA LA SALUD.

IV.5.1. - Ingestión accidental.

IV.5.2. - Contacto con los ojos.

IV.5.3. - Contacto con la piel.

IV.5.4. - Absorción.

IV.5.5. - Inhalación.

IV.5.6. - Toxicidad.

IDLH \_\_\_\_\_ (ppm o mg/m<sup>3</sup>)

CPT (TLV 8 horas) \_\_\_\_\_ (ppm o mg/m<sup>3</sup>)

CCT (TLV 15 min.) \_\_\_\_\_ (ppm o mg/m<sup>3</sup>)

IV.5.7. - Daño genético: Clasificación de sustancias de acuerdo a las características carcinogénicas en humanos, por ejemplo, Instructivo No. 10 de la Secretaría de Trabajo y Previsión Social u otros. Especificar.

IV.6. - DATOS DE RIESGO DE FUEGO O EXPLOSIÓN.

IV.6.1. - Medio de extinción.

( ) Niebla de agua

( ) Espuma.

( ) Agua.

( ) CO<sub>2</sub>.

( ) Polvo químico seco.

( ) Otros.

IV.6.2.- Equipo especial de protección para combate de incendios.

IV.6.3.- Procedimiento especial de combate de incendios.

IV.6.4.- Condiciones que conducen a un peligro de fuego y/o explosión no usuales.

IV.6.5.- Productos de combustión.

IV.6.6.- Flamabilidad:

Límite Superior de Flamabilidad (%) \_\_\_\_\_

Límite Inferior de Flamabilidad (%) \_\_\_\_\_

IV.7.- DATOS DE REACTIVIDAD

IV.7.1.- Clasificación de sustancias por su actividad química, reactividad con el agua y potencial de oxidación.

IV.7.2.- Estabilidad de las sustancias.

IV.7.3.- Condiciones a evitar.

IV.7.4.- Incompatibilidad (sustancias a evitar).

IV.7.5.- Descomposición de componentes peligrosos.

IV.7.6.- Polimerización peligrosa.

IV.7.7.- Condiciones a evitar.

IV.8.- CORROSIVIDAD.

Clasificación de sustancias por su grado de corrosividad.

IV.9.- RADIOACTIVIDAD.

Clasificación de sustancias radioactivas.

IV.10.- Describir las características termodinámicas del proceso.

IV.11.- Describir las características de diseño y operativas de los equipos de alto riesgo, (reactores, equipos de destilación, sistemas de refrigeración y transferencia térmica).

IV.12.- Describir la cinética de las reacciones llevadas a cabo en el proceso, bajo condiciones normales y anormales.

IV.13.- Descripción en forma detallada sobre plantas piloto.

IV.14.- Anexar diagramas de flujo de proceso, así como también el balance de materia y energía.

IV.15.- 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.16.- Indicar las sustancias que se consideren de riesgo involucradas en el proceso y sus cantidades de almacenaje.

IV.16.1.- Proceso.

IV.16.2 Almacenaje (tipo, capacidad, etc.)

IV.17.- ARREGLO GENERAL DE LA PLANTA

IV.17.1.- Anexar plano a escala con la distribución de los diversos equipos de proceso en función de los accidentes probables.

IV.17.2.- Describir e identificar los riesgos más relevantes del proceso.

IV.17.3.- Anexar plano (diagrama de pétalos), que muestre las áreas afectadas, por el riesgo más relevante del proceso.

IV.17.4.- Describir justificación de accesos y escapes.

#### IV.18.- DISEÑO MECÁNICO

IV.18.1.- Anexar planos de detalle de los principales equipos de proceso.

IV.18.2.- Anexar plano a escala de instrumentación y tuberías.

IV.18.3.- Describir Normas de materiales y diseño de los equipos y sistemas de conducción.

IV.18.4.- Describir los sistemas de desfogue existentes en la planta.

#### IV.19.- DISEÑO DEL SERVICIO

IV.19.1.- Anexar planos generales de los sistemas de servicio.

IV.19.2.- Descripción de análisis de confiabilidad de los servicios externos e internos.

IV.19.3.- Descripción y justificación de los sistemas redundantes de servicios.

#### IV.20.- DISEÑO CIVIL Y ESTRUCTURAL

IV.20.1.- Describir el diseño sísmico de la instalación.

IV.20.2.- Describir Normas y especificaciones de los materiales de construcción.

IV.20.3.- Especificar en forma detallada las bases de diseño para el cuarto de control.

#### IV.21.- DISEÑO DE LA INSTALACIÓN

IV.21.1.- Indicar las bases de diseño de los sistemas de instrumentación utilizados.

IV.21.2.- Especificaciones de los principales elementos del sistema de instrumentación.

#### IV.22.- DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE ACCIDENTES

IV.22.1.- Describir las bases de diseño de los sistemas de aislamiento y contención.

IV.22.2.- Anexar planos generales de los sistemas de aislamiento y contención.

#### IV.23.- SISTEMAS CONTRA INCENDIO

IV.23.1.- 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.23.2.- 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.

#### V.2.- EVALUACIÓN DE RIESGO



Descripción de los probables eventos de alto riesgo y las posibles fallas primarias que dan origen.

**V.3 - MODELIZACIÓN DEL (O LOS) EVENTO(S) MÁXIMO(S) PROBABLE(S) DE RIESGO**

**VI.- AUDITORIAS DE SEGURIDAD**

VI.1.- Presentar reporte del resultado de auditorías de seguridad practicadas a todas las instalaciones de la planta

VI.2.- Describir las medidas de prevención y 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 acuerdo 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 del plan de ayuda mutua.

VII.6.- Descripción del entrenamiento para la capacitación de los operarios de los transportes

## ANEXO II

### DATOS DE FRECUENCIAS DE FALLA DE ALGUNOS COMPONENTES

#### DEFINICIÓN DE FRECUENCIA DE FALLA

Las liberaciones de materiales peligrosos pueden ocurrir debido a la falla de un componente del equipo o a fallas en cascada. En la tabla II.1 se presenta una lista extensa de frecuencias de falla para un componente. Cuando se lea en la tabla II.1, un valor de  $3/10^6$  significa que el modo de falla ocurre aproximadamente tres veces en 1,000,000 horas, y  $4/10^2$  D significa que el modo de falla ocurre aproximadamente cuatro veces en 100 demandas. Para equipos en operación, los datos de frecuencia de falla se dan por horas de operación, para equipos que pueden estar en o fuera de operación, los datos de frecuencia de falla se dan por demanda.

Los datos de frecuencia de falla de la tabla II.1 son de propósito general, basados en las aplicaciones del lugar de origen. La tabla II.2 muestra un listado de los factores de servicio por los cuales deben ser multiplicados los datos de frecuencia de falla de la tabla II.1 para obtener datos de falla para componentes que se encuentran a otras condiciones. Por ejemplo, las frecuencias de falla para componentes que se encuentran en buques son dos veces mayores que si se encuentran en tierra. La diferencia radica en la severidad del servicio a bordo.

La frecuencia (o probabilidad) de una liberación en un escenario que se inicia por la falla de un simple componente (p.e., la falla de un empaque, ruptura de una tubería, ruptura de la manguera de transferencia de combustible) se estima directamente de los datos de relaciones de falla para el componente. Cuando se trata de eventos combinados (p.e., para que se presente un derrame en un tanque de almacenamiento requiere de varios eventos como puede ser la falla del operador, indicador de nivel, alarma de nivel y tal vez del control de la bomba) la probabilidad de que se de la liberación se determina a través de un árbol de fallas

haciendo uso de los datos de relaciones de falla para cada componente. En la tabla II.3 se da un listado de algunos estimados de las frecuencias de errores humanos. Note que los valores más altos se dan bajo condiciones de un alto nivel de estrés (como en emergencias) y durante actividades de muy bajo estrés (como en inspecciones pasivas).

Tabla II.1 Datos de Relaciones de Falla

COMPONENTE	MODO DE FALLA	VALOR INTERMEDIO	BAJO	ALTO	COMENTARIOS
Alarma audible		7.5/10 <sup>c</sup>			
Alarma de caja	Falla al iniciar la demanda	10/10 <sup>b</sup> H			
Compresor	Falla al arrancar	806/10 <sup>a</sup>			
Máquina diesel	Falla al iniciar la demanda	3/10 <sup>2</sup> D	1/10 <sup>2</sup> D	1/10 D	
Máquina a diesel	Falla durante la operación	6,960/10 <sup>b</sup> H	151/10 <sup>5</sup> H	11,500/10 <sup>5</sup> H	
Turbina de gas	Falla durante la operación	577/10 <sup>b</sup> H	40/10 <sup>6</sup> H	1,520/10 <sup>6</sup> H	
Junta de expansión	Fuga/ruptura	3/10 <sup>7</sup> H	40/10 <sup>8</sup> H	1/10 <sup>7</sup> H	
Empaques	Fuga de 1" x 1/1"	3/10 <sup>6</sup> H	1/10 <sup>8</sup> H	100/10 <sup>8</sup> H	
	Fuga mayor	1/10 <sup>7</sup> H			Ajustado desde la fuga menor
	Falla total	3/10 <sup>7</sup> H			Ajustado desde la fuga menor
Mangueras	Ruptura	20/10 <sup>5</sup> H	4/10 <sup>8</sup> H	40/10 <sup>6</sup> H	Alto si no se reemplaza regularmente
	Fuga de 1/2"	30/10 <sup>6</sup> H			Ajustado desde la ruptura
	Fuga de 1/8"	40/10 <sup>4</sup> H			Ajustado desde la ruptura
Luz parpadeante		16/10 <sup>6</sup> H			
Brazo de carga típico	Fuga	3/10 <sup>5</sup> H			
	Ruptura	3/10 <sup>8</sup> H			
Tubo multiplicador		10/10 <sup>6</sup> H			
Motores eléctricos	Falla durante la operación	65/10 <sup>9</sup> H	37/10 <sup>c</sup> H	161/10 <sup>9</sup> H	
Boquillas		1/10 <sup>6</sup> H			

COMPONENTE	MODOS DE FALLA	VALOR INTERMEDIO	BAJO	ALTO	COMENTARIOS
Sensores de oxígeno con alarma		40/10 <sup>6</sup> H			
Proporcionador del motor de agua		333/10 <sup>6</sup> H			
Empaque de la válvula	Fuga mayor	0.6/10 <sup>7</sup> H			Ajustado desde la fuga mayor
	Fuga pequeña	3/10 <sup>5</sup> H			
Altavoces		20/10 <sup>5</sup> H			
Bombas centrífugas	Fallan arrancar normalmente	298/10 <sup>5</sup> H	113/10 <sup>5</sup> H	550/10 <sup>5</sup> H	
Bombas de desplazamiento positivo	Fallan iniciar	1/10 <sup>3</sup> D	3/10 <sup>4</sup> D	3/10 <sup>3</sup> D	
	Falla arrancar normalmente	152/10 <sup>5</sup> H	61/10 <sup>5</sup> H	485/10 <sup>6</sup> H	
Tuberías (>3") (<3")	Ruptura	1/10 <sup>10</sup> H	3/10 <sup>12</sup> H	3/10 <sup>9</sup> H	
	Ruptura	1/10 <sup>9</sup> H	3/10 <sup>11</sup> H	3/10 <sup>9</sup> H	
Tanque, AFFF		2.75/10 <sup>5</sup> H			
Tanque	Fuga/ruptura	3/10 <sup>9</sup> H			
Turbina de vapor	Falla normalmente al arrancar	53/10 <sup>5</sup> H			
Válvula de bloqueo (bola)		4/10 <sup>5</sup> H			
Válvula de bloqueo (compuerta)		4/10 <sup>5</sup> H			Ajustado desde ambiente estable un
Válvula Check	Falla al abrir	1/10 <sup>4</sup> D	3/10 <sup>5</sup> D	3/10 <sup>6</sup> D	
	Fuga inversa	3/10 <sup>7</sup> H	1/10 <sup>7</sup> H	1/10 <sup>6</sup> H	
	Fuga externa o ruptura	1/10 <sup>8</sup> H	1/10 <sup>9</sup> H	1/10 <sup>7</sup> H	
Válvula manual	Falle al abrir	1/10 <sup>4</sup> D	3/10 <sup>5</sup> D	3/10 <sup>6</sup> D	
	Fuga a través de la válvula	1/10 <sup>5</sup> H	1/10 <sup>7</sup> H	5/10 <sup>6</sup> H	
	Fuga externa o ruptura	1/10 <sup>8</sup> H	1/10 <sup>9</sup> H	1/10 <sup>7</sup> H	

COMPONENTE	MODOS DE FALLA	VALOR INTERMEDIO	BAJO	ALTO	COMENTARIOS
Válvulas operadas por motor	Falla al operar	1/10 <sup>3</sup> D	3/10 <sup>4</sup> D	3/10 <sup>3</sup> D	
	Fuga a través de la válvula	1/10 <sup>6</sup> H	1/10 <sup>7</sup> H	5/10 <sup>6</sup> H	
	Taponadura	1/10 <sup>4</sup> D	3/10 <sup>5</sup> D	3/10 <sup>4</sup> D	
	Fuga externa o ruptura	1/10 <sup>4</sup> H	1/10 <sup>9</sup> H	1/10 <sup>7</sup> H	
Válvulas operadas por solenoide	Falla al operar	1/10 <sup>3</sup> D	3/10 <sup>4</sup> D	3/10 <sup>3</sup> D	
	Falla al operar	100/10 <sup>5</sup> H			
	Fuga cruzando la válvula	1/10 <sup>6</sup> H	1/10 <sup>7</sup> H	5/10 <sup>6</sup> H	
	Taponadura	1/10 <sup>4</sup> D	3/10 <sup>5</sup> D	3/10 <sup>4</sup> D	
Válvulas de mitigación de vacío	Fuga externa o ruptura	1/10 <sup>6</sup> H	1/10 <sup>7</sup> H	1/10 <sup>7</sup> H	
	Falla al operar	3/10 <sup>5</sup> D	1/10 <sup>5</sup> D	1/10 <sup>4</sup> D	
Válvula de relevo	Falla al operar	1/10 <sup>5</sup> D	3/10 <sup>5</sup> D	3/10 <sup>5</sup> D	También aplica a bypass regulados por presión
	Apertura prematura	1/10 <sup>5</sup> H	3/10 <sup>6</sup> H	3/10 <sup>5</sup> H	
	Fuga externa o ruptura	1/10 <sup>5</sup> H	1/10 <sup>9</sup> H	1/10 <sup>7</sup> H	
Recipientes a presión (general) (estándar alto)		3/10 <sup>8</sup> H			
		0 3/10 <sup>5</sup> H			
	Falla potencialmente peligrosa	8/10 <sup>9</sup> H			
	Falla catastrófica	2/10 <sup>8</sup> H			
Soldadura	Fuga de 8" x 1/16"	3/10 <sup>9</sup> H	1/10 <sup>10</sup> H	1/10 <sup>7</sup> H	
	Fuga de 1"x1/16"	3/10 <sup>5</sup> H			Ajustado desde la fuga mayor

**Tabla II.2. Factores de Servicio para Diversas Situaciones de Operación**

Situación	Factor de Servicio
Ideal, condición estática	0.1
Libre de vibración, ambiente controlado	0.5
Propósito general base terrestre	1.0
Buque	2.0
Carretera	3.0
Rieles	4.0
Aéreo	10.0
Proyectil	100.0

**Tabla II.3. Datos de Frecuencias de Errores Humanos Generales**

Descripción o Actividad Típica	Frecuencia de Error Promedio
Activación de un switch	$10^{-3}$
Activación de la llave para operar un switch	$10^{-4}$
Error humano de omisión	$10^{-2}$
Error de monitoreo o inspección	$10^{-1}$
Error humano de observación	0.05
Error de velocidad en actividades de alto estrés las cuales ocurren rápidamente	0.25
Error en un recorrido de inspección pasiva	0.50

$10^{-3}$  = un error por 1,000 decisiones.

## BIBLIOGRAFÍA

- **A Short Course Hazard Assessment and Risk Analysis Techniques for Process at Instituto Mexicano del Petróleo, México City, Mexico, June 7-10, 1994.** Continuing Engineering Studies, College of Engineering, The University of Texas at Austin.
- **A Short Course HAZOP Study Methodology at Instituto Mexicano del Petróleo, México City, Mexico, June 7-10, 1994.** Continuing Engineering Studies, College of Engineering, The University of Texas at Austin.
- **Administración de Empresas. Teoría y Práctica.** Agustín Reyes Ponce. Ed. Limusa, 23ª reimpresión, México 1985.
- **Análisis de Riesgos para la Determinación de la Franja de Seguridad de la Terminal de Almacenamiento y Distribución de Productos Limpios "Ambato".** Reporte Ejecutivo, SIPE, IMP Tungurahua, Ecuador Julio 1994.
- **Control de Riesgos de Accidentes Mayores.** Manual Práctico Organización Mundial del Trabajo, Impreso en Suiza, 1990. 304 pp.
- **Determinación de Modelos Matemáticos para la Simulación de Formación de Nubes Explosivas Considerando Amortiguadoras Naturales o Artificiales.** Rina Aguirre Saldivar, Hipólito Pérez Eugenio Instituto de Ingeniería U.N.A.M. septiembre, México, 1988.
- **El Oficio de Mandar.** Gabriel Barcárcel Matutano. Ed. Limusa, México 1977.
- **Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis.** Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, U.S.A. 1989.
- **Guidelines for Engineering Design for Process Safety.** Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, U.S.A., 1993. 560 pp.
- **Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, Second Edition with Worked Examples.** Center for Chemical Process Safety of American Institute of Chemical Engineers, New York, U.S.A. 1992. 500 pp.
- **Historia del Tiempo. Del Big Bang a los Agujeros Negros.** Stephen W. Hawking, Ed. Grijalbo, México 1988. 245 pp.
- **Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.**
- **Manual II. Análisis de Seguridad en Procesos.** Dirección de Ingeniería, Seguridad e Higiene Industrial, Gerencia Corporativa de Seguridad, CELANESE MEXICANA, S.A., México 1983.

- Nuestra Constitución, Historia de la Libertad y Soberanía del Pueblo Mexicano. Instituto Nacional de Estudios Históricos de la Revolución Mexicana, México 1990
- Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000, Poder Ejecutivo Federal Secretaría de Hacienda y Crédito Público, México, 1995 Talleres Gráficos de México, 177 pp
- Recommended Practice for Design and Hazard Analysis for Offshore Production Facilities API Recommended Practice 14J (RP14J). First edition, september 1, 1993. American Petroleum Institute, Washinton D.C., U.S.A. 81 pp
- Serie Monográfica No. 5 Prevención y Preparación de la Respuesta en Caso de Accidentes Químicos en México y en el Mundo SEDESOL-INE 1994.
- System Safety Engineering and Management, Harold E. Roland, Brian Moriarty, 2° de., Ed. Jhon Wiley and Sons, Inc. U.S.A. 1992. 367 pp
- Toma de Decisiones en Administración Mediante Métodos Estadísticos, William A. Spurr, Charles P. Bonini. Ed Limusa. 1980, México

## REVISTAS

- Análisis Comparativo de los Procedimientos para Modelado de Incidentes de Fuga y Explosión en Plantas e Instalaciones Industriales. Departamento de Ingeniería de Sistemas. Instituto Mexicano del Petróleo, México, Noviembre de 1993
- Análisis de Riesgos en Plantas Petroquímicas. Manuel Chavez Guerra XXXIII Convención Nacional del IMIQ. Villahermosa Tabs. 11 Nov. 1993.
- Análisis de Riesgos. Subdirección de Ingeniería de Proyectos de Explotación, Instituto Mexicano del Petróleo, México, 1995
- Batch Process Safety. Norbert Gibson. Chemical Engineering / May 1991, pag. 120-128.
- Clasificación y Priorización de Riesgos Laborales. J.J. Viscarret Urchulutegui. Gabinete de prevención y salud laboral de AIN (Asociación de la Industria Navarra)
- Diplomado de Gestión Ambiental. Módulo. "Análisis de Riesgos Ambientales". Armando Minor Córdova. Fernando Riveros Cruz. Instituto Nacional de Ecología. México, Octubre 1995
- Eliminación de Peligros Potenciales en Procesos Químicos. Abraham Klip Moshinsky. Series Técnicas No.1. Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos. México 1987, pp.31.
- Eliminating Potencial Process Hazards Trevor A. Kletz. Chemical Engineering/April 1, 1985, pag 48-68



- Hazard Identification, Analysis and Control. Henry Ozog, Chemical Engineering / February 18, 1985, pag. 161-170.
- HAZOP Mecanizado para una Firma de Ingeniería Jorge Aguilar González, Juan Alférez Estrada. XXXIV Convención Nacional del IMIQ
- Ingeniería en Prevención de Riesgos en Instalaciones y Procesos Industriales. Facultad de Ingeniería. U.N.A.M. División de educación continua, Febrero de 1994.
- La ingeniería de proyecto en la prevención y control de accidentes en la industria petrolera. Subdirección de Ingeniería de Proyecto. Instituto Mexicano del Petróleo, México 1995.
- Ley Ambiental Participativa, el Reto de Aplicar la Legislación Ambiental en Países en Desarrollo Julia Carabias, Ponencia presentada en la tercera Conferencia Internacional de Aplicación Obligatoria de la Legislación Ambiental, Oaxaca Abril, 1994
- Notas Sobre Legislación Ambiental Mexicana. Miguel A. Gil Bouletine, publicación del INE, Nueva Época No. 1, Septiembre 1994
- Risk and the CPI. Irene Kim, Stephen Moore and Gerald Ondery. Chemical Engineering / February 1995, pag 26-29
- Risk-analysis Procedures Ensure System Safety. Mahboobul Mannan, Dwight B Pfenning. C. Dale Zinn. Oil and Gas Journal, June 3, 1991, pag 83-87
- Safety Management : A project manager's role. A.E. Kerridge, Hydrocarbon Processing/ October 1994, pag. 53-58
- Seguridad Industrial. Métodos para la Evaluación de Riesgos de Proceso. Héctor Vega Pérez, Raúl Pimentel López. Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos, Año XXIX, vol.6, México, pp 47.
- Use "what-if" method for process hazard analysis. L. Zoller, J.P. Esping, Hydrocarbon Processing January 1993, pag 132-b-132-g.