



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M. DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS

Las autoridades de la Facultad de Ingeniería, por conducto del jefe de la División de Educación Continua, otorgan una constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso.

El control de asistencia se llevará a cabo a través de la persona que le entregó las notas. Las inasistencias serán computadas por las autoridades de la División, con el fin de entregarle constancia solamente a los alumnos que tengan un mínimo de 80% de asistencias.

Pedimos a los asistentes recoger su constancia el día de la clausura. Estas se retendrán por el periodo de un año, pasado este tiempo la DECFI no se hará responsable de este documento.

Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece la División están planeados para que los profesores expongan una tesis, pero sobre todo, para que coordinen las opiniones de todos los interesados, constituyendo verdaderos seminarios.

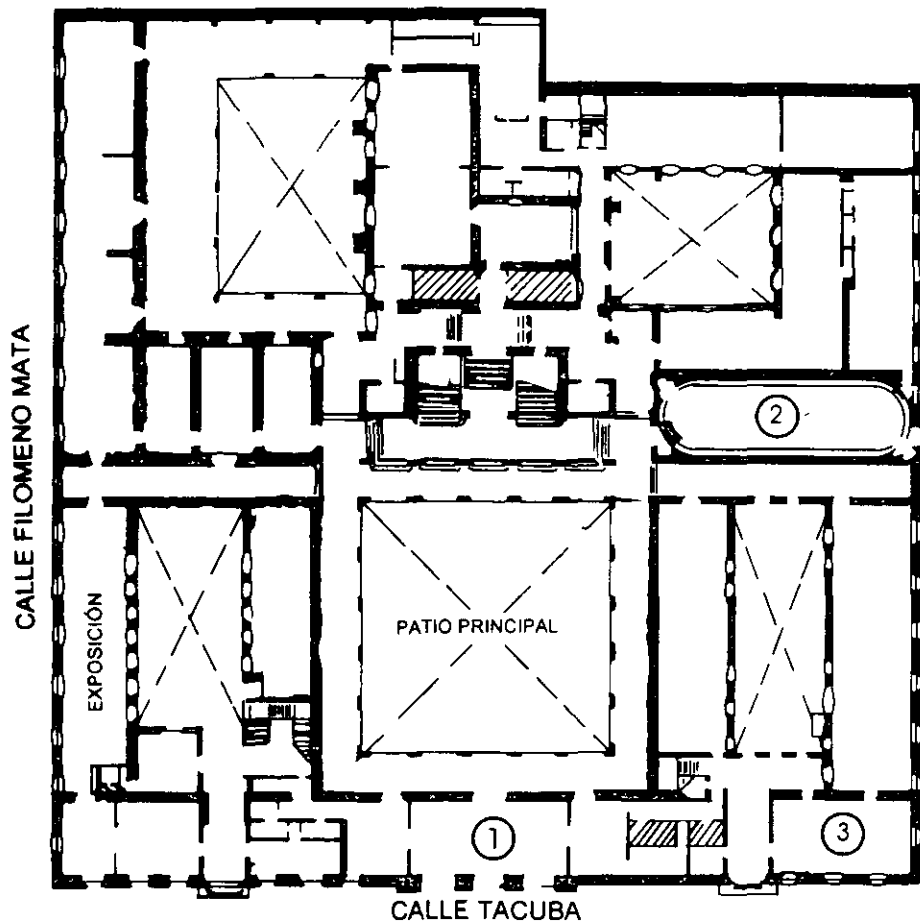
Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso, información que servirá para integrar un directorio de asistentes, que se entregará oportunamente.

Con el objeto de mejorar los servicios que la División de Educación Continua ofrece, al final del curso deberán entregar la evaluación a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos.

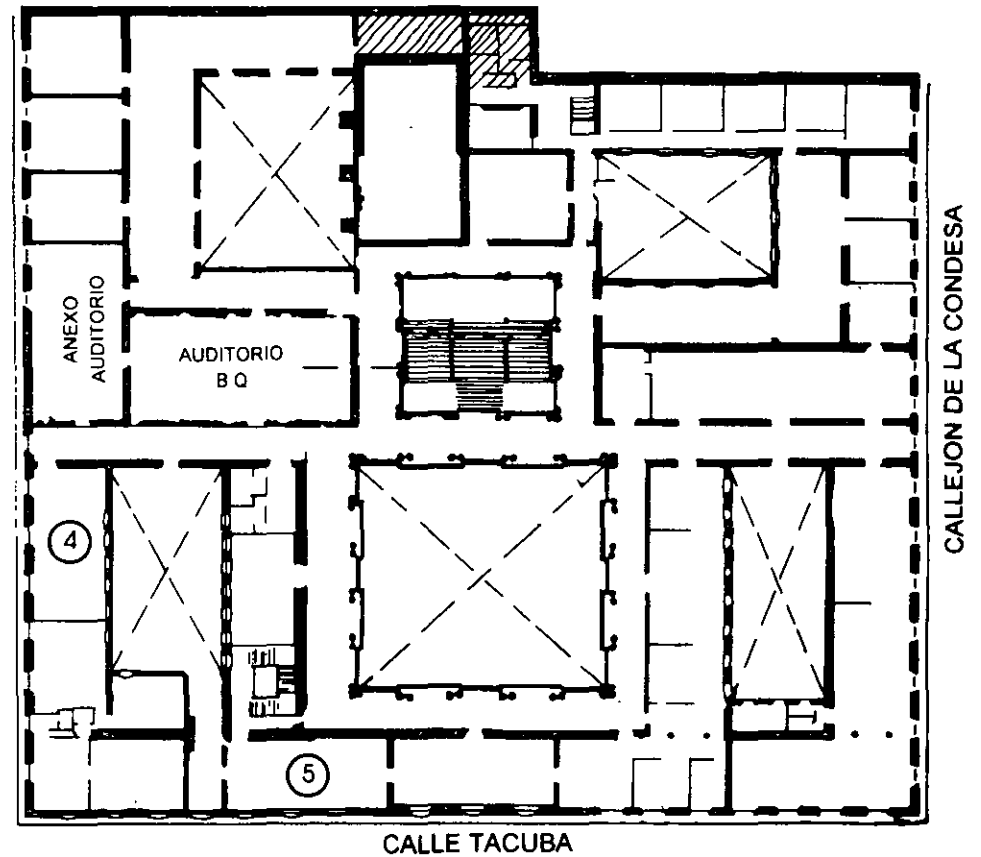
Se recomienda llenar dicha evaluación conforme los profesores impartan sus clases, a efecto de no llenar en la última sesión las evaluaciones y con esto sean más fehacientes sus apreciaciones.

**Atentamente
División de Educación Continua.**

PALACIO DE MINERIA



PLANTA BAJA



MEZZANINNE



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

**DIPLOMADO INTERNACIONAL EN
RIESGO AMBIENTAL**

**MODULO III
CA 087**

**MÉTODOS DE ANÁLISIS Y CUANTIFICACIÓN
DE RIESGOS AMBIENTALES**

TEMA

**MÉTODOS DE ANÁLISIS, EVALUACIÓN
(CUANTIFICACIÓN) DE RIESGOS**

**EXPOSITOR: ING. BERNARDO AGUILAR CALVO
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO DEL 2002**

El método APR, debe considerarse preliminar de otros estudios complementarios de confiabilidad; por lo general, cuando se detecta un peligro mayor o cuando se necesita ahondar más profundo en este problema, se recurre a otros métodos de análisis predictivo de confiabilidad.

El análisis preliminar, puede también ser usado para definir entidades que tienen que ser analizadas en detalle o eventos indeseables, cuyas causas tienen que ser detectadas a través de un análisis de árbol de fallas.

El "análisis preliminar de riesgo", incluye una estimación precisa o gruesa de la probable ocurrencia de situaciones peligrosas y accidentes potenciales; este tipo de análisis, se vuelve indispensable si se desean adoptar medidas preventivas contra los accidentes potenciales más probables.

En la industria aeronáutica, los riesgos y sus causas están caracterizados por los siguientes conceptos:

- entidades peligrosas;
- situaciones peligrosas;
- accidentes potenciales.

Una entidad peligrosa (combustible), debe reunirse o juntarse con ciertos eventos o condiciones (electricidad estática), para llevar a una situación peligrosa; esta situación, también necesita estar asociada con otro evento o condición, para volverse un accidente potencial.

Los resultados del APR se presentan en la forma de una tabla con columnas, según Tabla 1, la cual no es diferente al análisis de modos de falla y efectos, AMFE. Para el APR, se usa una lista-guía de entidades y situaciones peligrosas, como se muestra en la Tabla 2.

Con relación a la Tabla 1, las columnas corresponden a las siguientes nociones:

- Función o sistema.- Es la identificación del objeto estudiado.
- Fase.- Identificación de las fases o los modos de utilización del sistema, o de las funciones durante las cuales ciertas entidades, pueden ser una fuente de riesgo. (arranque, funcionamiento, paro, etc.).
- Entidades peligrosas.- Identificación de las entidades del sistema o de la cual, un peligro intrínseco puede ser asociado.
- Eventos causantes de una situación peligrosa.- Identificación de condiciones, eventos indeseables, fallas o errores, que pueden transformar una entidad peligrosa en una situación peligrosa
- Situación peligrosa.- Identificación de situaciones peligrosas, resultantes de la interacción de una entidad peligrosa y el sistema como un todo, después de la ocurrencia de un evento descrito previamente.
- Eventos que llevan a un accidente potencial.- Identificación de las condiciones de eventos indeseables, fallas o errores, que pueden transformar una situación peligrosa en un accidente.

IV. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE RIESGOS

Las definiciones de análisis establecidas en los diccionarios, esencialmente se refieren al examen de un complejo, sus elementos y sus relaciones, así como conocer los principios o elementos de que está formado un todo.

También se estableció anteriormente, que el propósito del Análisis de Riesgos es la identificación de los posibles resultados de decisiones.

Tanto en las definiciones de diccionarios, como en el propósito del análisis de Riesgos no se consideran los cálculos de cuantificación, porque éstos cálculos se establecen en los estudios de evaluación de Riesgos.

De conformidad con lo anterior, en éste Capítulo se consideran los métodos de análisis siguientes:

1. Análisis Preliminar de Riesgos (APR)
2. Listas de Verificación (Check-List)
3. Que pasa si....?(What if....)
4. Hazop
5. Análisis de modos de falla y efectos (AMFE)

1. ANÁLISIS PRELIMINAR DE RIESGO (APR).

El análisis preliminar de riesgo (o peligro), se originó en EUA a principios de los 1960's, en el marco de los análisis de seguridad de misiles a propulsión con combustible líquido; posteriormente; fue formalizado por la industria aeronáutica; especialmente por la Boeing Co. En la actualidad, se ha extendido a muchos otros campos como las industrias nuclear, aeronáutica, química, etc. Los propósitos del método APR son los siguientes:

- identificar los riesgos de una instalación industrial, así como también sus causas, por ejemplo, entidades riesgosas, situaciones peligrosas, accidentes potenciales;
- evaluar la severidad de las consecuencias de situaciones peligrosas y potencial de accidentes

Posteriormente, es necesario determinar todos los medios y vías posibles de corregir, controlar o eliminar las situaciones peligrosas y accidentes potenciales, que fueron identificados previamente

El método de APR puede ser dirigido hacia los aspectos de seguridad de una planta, y se recomienda iniciarlo en la etapa temprana de diseño, explotando todos los datos disponibles. Este análisis, debe ser checado y actualizado periódicamente durante la vida de la planta

Se debe hacer uso de la experiencia y juicios, para identificar riesgos y referirse a listas guías obtenidas de cada campo preciso, que regularmente aumentan cada día.

TABLA 1.- ANÁLISIS PRELIMINAR DE RIESGO

| 1 Sistema o Función | 2 Fase | 3 Entidades Peligrosas | 4 Eventos causando una situación peligrosa | 5 Situación Peligrosa | 6 Eventos que llevan a accidente potencial | 7 Accidente Potencial | 8 Efectos o consecuencias | 9 Clasificación en orden de severidad | 10 Medidas Preventivas | 11 Implantación de medidas Preventivas |
|---------------------------|-----------|-------------------------------------|--|-----------------------------|--|-----------------------------|------------------------------------|---|------------------------------|--|
| | | | | | | | | | | |

- Accidente potencial.- Identificación de accidentes potenciales, que pueden resultar de situaciones peligrosas, después de la ocurrencia de un evento previamente descrito.

- Efectos o consecuencias - Identificación de los efectos o consecuencias de accidentes potenciales cuando ocurren.
- Clasificación en orden de severidad.- Evaluación de la severidad de los efectos o consecuencias, de acuerdo a la siguiente clasificación:
 - i. Menor
 - ii. Significativo
 - iii. Crítico
 - iv. Catastrófico
- Implantación de medidas preventivas.- Recolección de información relacionada con las medidas preventivas propuestas, verificando que sean eficientes y se incorporen al sistema.

En la industria química, el APR normalmente toma en cuenta los riesgos inherentes en:

- Los diferentes productos usados (materia prima, bienes acabados y semiacabados, desechos) y sus propiedades intrínsecas (corrosión, combustión, toxicidad, etc.)
- Procesos usados (reacciones químicas y diversas operaciones) o aún en el equipo (recipientes a presión, reactores químicos).

2. LISTAS DE VERIFICACIÓN (CHECK LIST)

Es un método de análisis de Riesgos de comparación de materiales y equipos, con datos y códigos establecidos por la experiencia - Las características principales de éste método son las siguientes:

- Compara contra la experiencia.
- Identifica Riesgos obvios en grandes áreas en el menor tiempo posible.
- Alcance limitado

En el flujograma de la Fig 1, se muestran las actividades del método de listas de verificación (check list); estas listas, son específicas para cada tipo de proceso o instalación, aunque pueden utilizarse las mismas listas en instalaciones similares con procesos similares. Existen listas para las siguientes áreas de ingeniería.

- Diseño
- Construcción
- Operación, producción
- Mantenimiento
- Seguridad
- Transporte
- Etc.

Para la elaboración y definición de las listas de verificación, deben considerarse las características de lo siguiente

- Tipo de proceso
- Materiales a manejar
- Tipo de operación (manual, automática)
- Arreglos de la planta

TABLA 2.- LISTA DE CHEQUEO (CHECKLIST) DE ENTIDADES Y SITUACIONES PELIGROSAS

| ENTIDADES PELIGROSAS | SITUACIONES PELIGROSAS |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Combustibles • Propulsores • Iniciadores • Cargas explosivas • Capacitores eléctricos cargados • Baterías • Recipientes a presión • Dispositivos de resorte cargado • Sistemas de suspensión • Generadores eléctricos y de gas • Objetos que caen • Objetos catapultados • Dispositivos de calentamiento • Bombas • Ventiladores, sopladores • Maquinaria rotatoria • Dispositivos de actuación • Dispositivos nucleares • Reactores • Fuentes de energía | <ul style="list-style-type: none"> • Aceleración • Contaminación • Corrosión • Disociación química • Electricidad (choque, activación inadvertida, falla de la fuente de potencia, etc.) • Explosión • Fuego • Calor y temperatura (alta temperatura, baja temperatura, variaciones de temperatura) • Fugas • Humedad (alta humedad, baja humedad) • Oxidación • Presión (alta presión, baja presión, cambios rápidos de presión) • Radiación (térmica, electromagnética, etc.) • Shock mecánico • Vibración, ruido. |

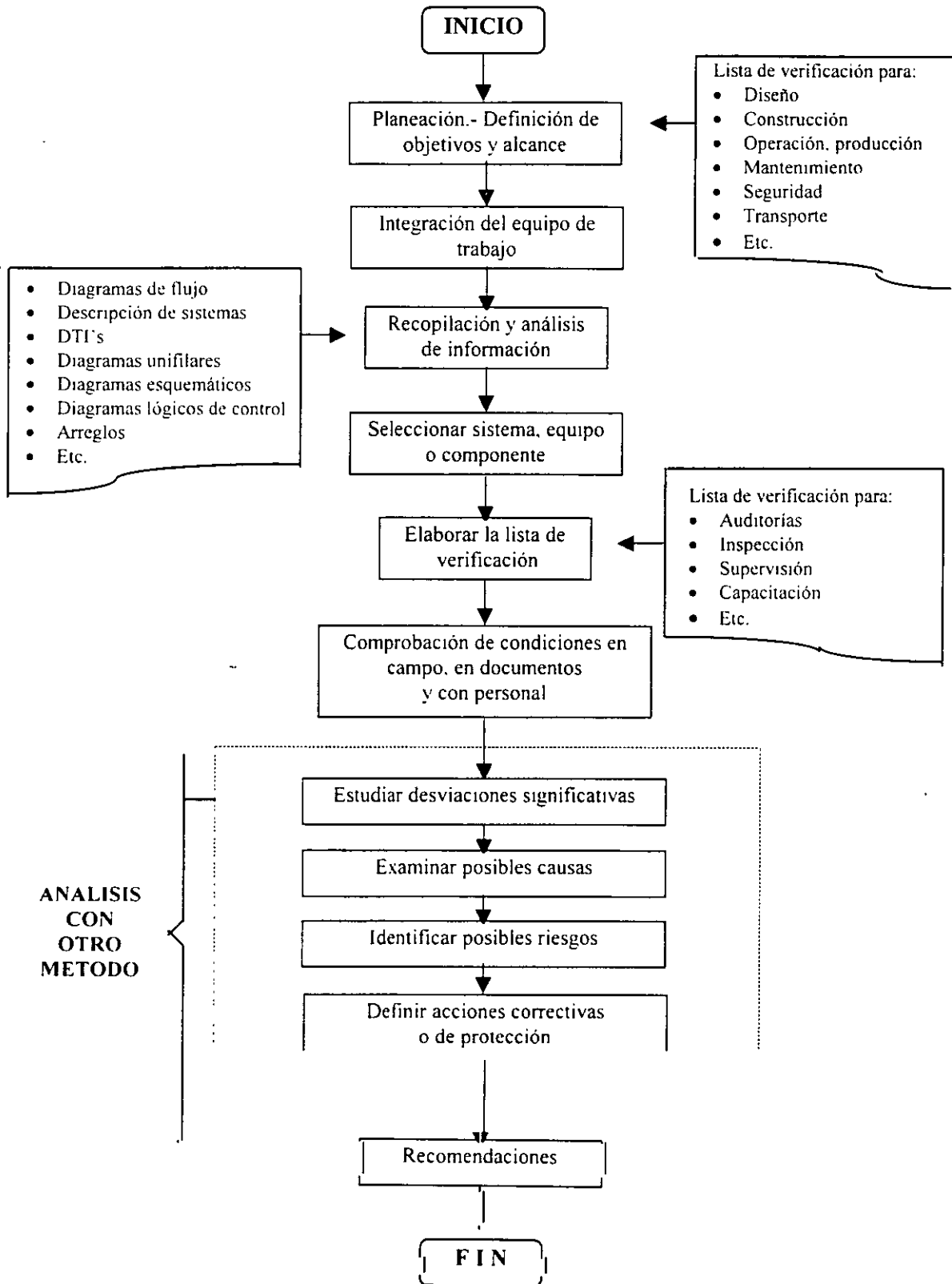


FIG. 1.- FLUJOGRAMA DEL METODO "LISTA DE VERIFICACION (CHECK LIST)"

- Sitio o ubicación
- Sistemas de protección
- Etc.

Aún cuando puede elaborarse una lista de verificación general para toda la planta, esto no se recomienda por lo compleja de su estructura y aplicación, recomendándose hacerlas por campo de aplicación (auditorías, riesgos, diseño, operación, puesta en servicio, etc.)

El empleo de éste método para el análisis de Riesgos, puede dar mejores resultados cuando se emplea como apoyo a lo siguiente:

- Auditorías a proyectos. El momento adecuado para su aplicación, es cuando el diseño se ha concluido y antes de que sea revisado a través de la metodología HAZOP, ya sea la Ingeniería Básica o de Detalle, con el fin de verificar que los conceptos importantes han sido contemplados. Es factible su aplicación en la revisión previa al arranque, aunque probablemente existan condiciones difíciles de modificar, por el grado de avance de la construcción.
- Auditorías a plantas en operación. Antes de aplicar cualquier método de identificación de riesgos, es muy recomendable realizar una inspección de las instalaciones, aplicando listas de verificación para verificar desviaciones contra los estándares de diseño, construcción y operación, a fin de eliminarlas, como parte de la premisa de cumplir con bases previamente aceptadas.

En ambos casos, la aplicación de las listas debe ser realizada por un grupo multidisciplinario, a fin de enriquecer con conocimientos y experiencia los resultados.

Secuencia de aplicación de las listas de verificación.

La ejecución del análisis de riesgos mediante listas de verificación, consta de las siguientes etapas:

- A. Definición de objetivos y alcance.
- B. Selección del grupo de trabajo.
- C. Preparación previa del análisis
- D. Ejecución del análisis.
- E. Registro de resultados

A. Definición de objetivos y alcance.

Debido a que se puede contar con una gran cantidad de listas de verificación, es importante definir el objetivo y alcance de lo que se va a realizar, para así evitar pérdida de tiempo, confusión de lo que se revisa, emisión de recomendaciones de equipos o procesos de otras áreas.

Es recomendable que el alcance y objetivos se orienten a cubrir una sola lista de verificación, por ejemplo: almacenamiento, sistema contra incendios, etc.

B. Selección del grupo de trabajo.

Aún cuando la aplicación de las listas de verificación puede ser realizada por las disciplinas en forma individual, lo cual es recomendable, en ciertas etapas los diversos resultados serán mas significativos cuando se aplican por un grupo multidisciplinario, ya que podrán ser conjuntados los diferentes puntos de vista, lo que permitirá identificar la mayor parte de los riesgos. El grupo puede estar integrado por:

- Ingeniería.
- Seguridad.
- Procesos.
- Mantenimiento.
- Producción.

C. Preparación previa del análisis.

El responsable de la coordinación del análisis, juega un papel muy importante en la facilitación del trabajo y es el encargado de conjuntar los elementos de apoyo que se requieran para ello. Sus actividades son:

- Tener claramente definidos los objetivos y alcance del trabajo.
- Preparar las listas de verificación a utilizar y contar con un ejemplar de ellas para cada uno de los miembros del equipo.
- Contar con el plano de distribución de la planta, con las áreas especificadas a revisar.
- Información relativa a los procesos, instalaciones, equipos y operaciones de la planta o unidad a revisar (Diagramas de flujo, DTI's, Descripción del proceso, Procedimientos de operación y seguridad, Planos de clasificación eléctrica, etc.).
- Planeación de las secciones de trabajo, contemplando: lugar, fecha y hora, así como quienes participaran en el análisis.
- Recopilación de recomendaciones y resultados del análisis, así como seguimiento para su cumplimiento.

D. Ejecución del análisis.

El procedimiento general para su aplicación es:

- a) Selección del área de la planta a revisar.
- b) Selección de una lista de verificación.
- c) Revisar el análisis (en campo y en escritorio).
- d) Revisar el resultado.
- e) Registrar las desviaciones
- f) Repetir b - e para todas las listas de verificación.
- g) Repetir de a - f para todos los equipos e instalaciones del área.
- h) Resumir todas las desviaciones identificadas.

E. Registro de resultados.

En los puntos e y h del procedimiento, se analiza el riesgo de todas las desviaciones identificadas, con las cuales se genera un plan de acción para su cumplimiento. En la Tabla 3, se muestra un ejemplo de lista de verificación para checar la seguridad de un proceso.

TABLA 3.- LISTA DE VERIFICACION (CHECK LIST)

PLANTA O INSTALACION _____

SISTEMA _____

EQUIPO _____

COMPONENTE _____ VERIFICACION DE (Seguridad, etc) FECHA _____

Hoja 1 de 7

| AREA O PARTE | NUM | PARTE, ACTIVIDAD | CUMPLE O SE TIENE? | | | OBSERVACIONES |
|--|-----|---|--------------------|----|----|---------------|
| | | | SI | NO | NA | |
| M A T E R I A L E S | 1. | Hay materiales de proceso que son inestables y espontáneamente inflamables? a) Se hicieron evaluaciones sobre la sensibilidad a los impactos? b) Se han hecho evaluaciones sobre la posibilidad de reacciones y descomposiciones incontrolables? c) Se manejan materiales pirofóricos? | | | | |
| | 2. | Hay datos disponibles sobre la cantidad y el índice de generación de calor, durante la descomposición de cualquier material que está en proceso? | | | | |
| | 3. | Hay las precauciones necesarias para los materiales inflamables, incluye almacenamiento y los sistemas de tubería? | | | | |
| | 4. | Hay peligros de polvos inflamables? | | | | |
| | 5. | Hay materiales altamente tóxicos? | | | | |
| | 6. | Se aseguro que los materiales de construcción (fabricación) son compatibles con los materiales de los procesos químicos con que están relacionados? | | | | |
| | 7. | El control de mantenimiento es el necesario, para asegurarse que los reemplazos de materiales no producirán corrosión excesiva, ni compuestos peligrosos con los reactivos? | | | | |
| | 8. | Se han producido cambios en la composición de las materias primas y ha producido cambios esto sobre el proceso? | | | | |
| | 9. | Se asegura un control eficiente sobre la identificación y la calidad de la materia prima? | | | | |
| | 10. | Pueden surgir riesgos por la falta de suministro de una materia prima o de más de una? | | | | |
| | 11. | Hay seguridad de que pueda lograrse un suministro adecuado de materia prima? | | | | |
| | 12. | Pueden presentarse riesgos por la falta de gas para la purga, el mantenimiento o para inertizar? Es seguro el suministro de gas? | | | | |
| | 13. | Hay las precauciones necesarias para lograr la estabilidad de todos los materiales que están almacenados? | | | | |
| | 14. | Hay agentes extintores compatibles con los materiales de proceso? | | | | |
| | 15. | a) Se cuenta con un suministro confiable de gas inerte para purgar, inhibir o desactivar? (Referencia NFPA No 69) b) Qué medidas existen para rectificar el barrido mediante la purga en paro y arranque? | | | | |

| AREA O PARTE | NUM | PARTE, ACTIVIDAD | CUMPLE O SE TIENE? | | | OBSERVACIONES |
|--|-----|---|-----------------------|----|----|---------------|
| | | | SI | NO | NA | |
| R E A C C I O N E S | 1. | a) Se definen las reacciones potencialmente peligrosas? b) Se aíslan? c) Son prevenidas? | | | | |
| | 2. | a) Las variables del proceso se podrían aproximar, o se aproximan a las condiciones límites para crear un peligro? b) Se proporcionan las medidas de seguridad para controlar tales variables? | | | | |
| | 3. | Hay reacciones indeseables y peligrosas, que pueden producirse debido a un flujo o a una condición de proceso anormal o a una contaminación? | | | | |
| | 4. | Hay mezclas combustibles que pueden producirse dentro de los equipos? | | | | |
| | 5. | Se toman precauciones para los procesos que se realizan dentro o cerca de los límites de inflamabilidad? | | | | |
| | 6. | a) Hay márgenes de seguridad en el proceso de todos los productos reactivos intermedios? b) Se podrían producir consecuencias por la pérdida de ingredientes o una proporción incorrecta de reactivos? | | | | |
| | 7. | Hay datos sobre la velocidad de la reacción disponibles, ante posibles reacciones normales o anormales? | | | | |
| | 8. | Se conoce la cantidad de calor que debe eliminarse de las posibles reacciones exotérmicas normales o anormales? | | | | |
| | 9. | Se sabe acerca de la química de los procesos, incluyendo las reacciones deseables e indeseables?(Ver NFPA No 491 M, Manual de las Reacciones Químicas peligrosas"). | | | | |
| | 10. | Hay materias extrañas que pueden contaminar el proceso y crear peligros? | | | | |
| | 11. | Se han tomado medidas de seguridad para la eliminación rápida de reactivos si esto fuese necesario debido a una emergencia de la planta? | | | | |
| | 12. | Se han tomado precauciones para controlar una reacción en cadena (o fuera de cauce) que se avecina o para detener una que ya haya empezado? | | | | |
| | 13. | Qué reacción peligrosa puede presentarse como resultado de la falla mecánica de un equipo (bomba, agitador, etc)? | | | | |
| | 14. | Hay condiciones peligrosas del proceso que pueden resultar de la obstrucción gradual o repentina de un equipo, incluyendo líneas? | | | | |
| | 15. | Existen medidas para la remoción o prevención de obstrucciones? | | | | |
| | 16. | Hay materias primas o materiales del proceso que pueden ser afectados debido a condiciones extremas del tiempo? | | | | |
| | 17. | Se han hecho cambios en el proceso desde que se hizo la última revisión de seguridad? | | | | |

| AREA O PARTE | NUM | PARTE, ACTIVIDAD | CUMPLE O SE TIENE? | | | OBSERVACIONES |
|---|-----|---|-----------------------|----|----|---------------|
| | | | SI | NO | NA | |
| E Q U I P O S | 1 | Fueron adecuadas las medidas del equipo asegurado en vista de los cambios en el proceso realizados desde la última revisión de seguridad? | | | | |
| | 2 | Hay procedimientos para asegurar un nivel adecuado de líquido en los obturadores de los líquidos? | | | | |
| | 3. | Hay riesgos potenciales de incendios externos que podrían crear condiciones peligrosas en el proceso interno? | | | | |
| | 4. | Se tiene un mecanismo supresor de explosiones para detener una explosión después de que se ha iniciado? | | | | |
| | 5. | Se necesitan arretasflamas y dispositivos para contener detonaciones? | | | | |
| | 6. | Se protegen contra los derrames los equipos que trabajan con fuegos abiertos en sectores restringidos? | | | | |
| | 7. | Se mantiene el control de seguridad en las zonas de almacenamiento? | | | | |
| | 8. | Puede usarse un material más durable en caso de que haya equipos de vidrios o de otro material frágil? Si no es así, Está adecuadamente protegido el material frágil para reducir peligros de ruptura? Qué peligro podría producir una ruptura? Hay medidas para manejar esta situación? | | | | |
| | 9. | Se usan visores o mirillas de vidrio en los reactores sólo en caso de que sean absolutamente necesarios? | | | | |
| | 10. | Hay válvulas e interruptores de emergencia que no pueden alcanzarse con facilidad? | | | | |
| | 11. | Se verificó el régimen de presión especialmente de los equipos que trabajan bajo presión? | | | | |
| | 12. | Hay peligros que puedan producir las fallas de los agitadores? | | | | |
| | 13. | Puede ocurrir taponamiento en las tuberías y cuáles serían los peligros? | | | | |
| | 14 | Se toman precauciones para drenar totalmente los equipos a fin de que los trabajos de mantenimiento puedan efectuarse con seguridad? | | | | |
| | 15 | Están diversificados los sistemas de ventilación y de ser así puede esto crear algún peligro? | | | | |
| | 16. | Se estableció que la ventilación es adecuada? | | | | |
| | 17. | Se tomaron medidas para disipar la electricidad estática a fin de evitar chispas? | | | | |
| | 18 | Hay necesidad de instalar resguardos o barreras de concreto, para aislar a los equipos altamente susceptibles y proteger las instalaciones adyacentes contra la desorganización de las operaciones? | | | | |
| | 19 | Se han tomado medidas para aliviar las fuerzas explosivas dentro de los edificios, equipos o en zonas operativas? | | | | |

| AREA O PARTE | NUM | PARTE, ACTIVIDAD | CUMPLE O SE TIENE? | | | OBSERVACIONES |
|---|-----|---|-----------------------|----|----|---------------|
| | | | SI | NO | NA | |
| | 20 | Cumplen los equipos de presión con los requerimientos locales y nacionales? | | | | |
| | 21. | Están registrados todos los equipos de acuerdo a los requerimientos locales y nacionales? | | | | |
| | 22. | Fueron inspeccionados visualmente, calibrados, radiografiados, probados de una manera hidrostática, etc., los equipos? | | | | |
| | 23. | Se ha revisado completamente el historial de todos los equipos? | | | | |
| J N S T R U M E N T A C I O N | 1 | Se presentarían peligros si todas las fuentes de fuerza motriz que hacen funcionar los instrumentos fallaran casi simultáneamente? | | | | |
| | 2 | Hay margen de seguridad suficiente para toda la operación, si todos los instrumentos fallasen simultáneamente? | | | | |
| | 3. | Se han tomado medidas para la seguridad del proceso, cuando un instrumento que funciona tanto en la seguridad como en el control del proceso, es retirado de servicio a fin de efectuarle tareas de mantenimiento? Se toman medidas cuando tal instrumento pase por un periodo de inactividad por calibración o cuando, por otra razón, la lectura del instrumento no está disponible? Se hacen previsiones para mantener la seguridad operacional? | | | | |
| | 4 | Se minimizó el tiempo que tardan en reaccionar los instrumentos que son directa o indirectamente significativos para la seguridad del proceso? Se encuentran todos los instrumentos que son directa o indirectamente significativos o mecanismos de control apoyados por un instrumento independiente o por un método de control que funciona de una manera totalmente distinta? Están estos dos métodos de control de un proceso crítico apoyados por un tercer dispositivo final de paro? | | | | |
| | 5. | Se han considerado integralmente la función de seguridad de los instrumentos, con la función de los mecanismos de control del proceso en el diseño de la planta? | | | | |
| | 6. | Hay efectos adversos para condiciones extremas de humedad y temperatura atmosférica sobre los instrumentos? | | | | |
| | 7. | a) Hay manómetros, medidores y registradores que no pueden leerse fácilmente? b) Se están efectuando modificaciones para solucionar este problema? | | | | |
| | 8 | Está el sistema totalmente exento de visores de vidrio, de niveles de vidrio lectura directa o de otros dispositivos que al romperse puedan permitir el escape de los materiales del sistema? | | | | |
| | 9 | a) Se está haciendo algo efectivo para verificar que los sellos de los instrumentos están correctamente instalados? b) Están los instrumentos conectados a tierra? | | | | |

| AREA O PARTE | NUM | PARTE, ACTIVIDAD | CUMPLE O SE TIENE? | | | OBSERVACIONES |
|---|-----|--|--------------------|----|----|---------------|
| | | | SI | NO | NA | |
| | | c) Están debidamente diseñados para el ambiente? | | | | |
| | 10. | a) Se han establecido procedimientos para probar el funcionamiento de los instrumentos? | | | | |
| | | b) Tienen una frecuencia establecida? | | | | |
| | 11 | Se programan pruebas periódicas para controlar el buen funcionamiento de los instrumentos? | | | | |
| | 12 | Están protegidas las reacciones altamente exotérmicas por un sistema de instrumentos dobles e independientes, que incluye alarmas y dispositivos de paro? | | | | |
| O P E R A C I O N E S | 1. | Se revisan y actualizan los procedimientos escritos de operación? | | | | |
| | 2. | Se entrena el personal nuevo y se mantiene actualizado al personal experimentado sobre los procedimientos operativos, especialmente para las puestas en marcha y paros de plantas, así como para casos de imprevistos y emergencias? | | | | |
| | 3. | Se efectuaron modificaciones en la planta desde la última revisión de seguridad del proceso? | | | | |
| | 4 | Existen necesidades especiales de limpieza antes de la puesta en marcha y cómo se les controla? | | | | |
| | 5 | Hay válvulas e interruptores de emergencia que no pueden alcanzarse fácilmente? Existen medidas para solucionar estas situaciones? | | | | |
| | 6 | Se necesitan medidas de seguridad para cargar líquidos en los tanques o para descargarlos de ellos? Se han tomado las medidas necesarias para evitar la generación de electricidad estática? | | | | |
| | 7. | Introducen peligros en el proceso los procedimientos rutinarios de mantenimiento? Se revisan los procedimientos para eliminar estos peligros? | | | | |
| | 8. | Se ha efectuado evaluación sobre los peligros de los materiales que van a las alcantarillas o drenajes, durante las operaciones normales y anormales? | | | | |
| | 9. | Son confiables los suministros de gas inerte y con cuánta facilidad estos pueden interrumpirse hacia las unidades individuales? | | | | |
| | 10 | Se han reducido márgenes de seguridad debido a revisiones del diseño o la construcción en un esfuerzo por eliminar "cuellos de botella" en las operaciones, reducir costos, aumentar la capacidad o mejorar la calidad? | | | | |
| | 11 | Contiene medidas el manual de operaciones para las puestas en marcha, paros, imprevistos y emergencias? | | | | |
| | 12 | La evaluación económica ha influenciado en la elección entre un proceso discontinuo y uno continuo? | | | | |

| AREA O PARTE | NUM | PARTE, ACTIVIDAD | CUMPLE O SE TIENE? | | | OBSERVACIONES |
|--|--|---|--------------------|----|----|---------------|
| | | | SI | NO | NA | |
| MAL FUN-CIONA-MIENTO | 1. | Podría crear riesgos la pérdida de una alimentación y la pérdida simultánea de dos o varias alimentaciones? | | | | |
| | 2. | Podría causar riesgos la pérdida de un servicio auxiliar (agua, vapor, aire, gas inerte) y la pérdida simultánea de dos o más de estos servicios? | | | | |
| | 3. | Sería el incidente probable más grave, por ejemplo, la peor combinación imaginable de trastornos razonables que podrían ocurrir? | | | | |
| | 4. | Hay riesgos de derrames y qué peligros pueden derivarse de ellos? | | | | |
| DISPO-SITI-VOS PARA ALIVIO DE PRESIO-NES | 1. | Existen arrestaflamas en la descarga de las válvulas de alivio o de los discos de ruptura de recipientes presurizados? Normalmente NO deben ser instalados en la descarga de estos dispositivos | | | | |
| | 2. | a) Existen medidas para retirar, inspeccionar y reemplazar las válvulas de seguridad y los discos de ruptura? | | | | |
| | | b) Existe un procedimiento programado? | | | | |
| | 3. | a) Hay necesidad de instalar mecanismos de alivio para emergencias como son líneas de venteo o respiraderos, válvulas de seguridad, discos de ruptura y sellos de líquidos? | | | | |
| | | b) Sobre qué base se establecen las medidas? | | | | |
| | 4. | Se establecen las medidas con respecto a la capacidad y al diseño del tanque donde se usan los discos de ruptura para evitar daños por explosiones? | | | | |
| | 5. | Se está haciendo algo efectivo para asegurarse de que la medida es adecuada, con respecto a la dinámica del alivio donde los discos de ruptura tienen líneas de entrega hacia el disco y desde este? Qué se hace para evitar "latigazos" en el extremo de la línea? | | | | |
| | 6. | Están las descargas de los venteos, válvulas de seguridad, discos de ruptura y chimeneas ubicadas de forma tal que no constituyen un peligro para los equipos y el personal? | | | | |
| | 7. | El equipo u operación a presión está propensa a desarrollar presiones internas por imprevistos del proceso y no está protegido por un dispositivo de alivio y cuál es el motivo? | | | | |
| 8. | Están las tuberías de descarga y las válvulas de seguridad apoyadas independientemente? Las tuberías deben ser lo más cortas posibles y tener el menor cambio posible de dirección, soportadas adecuadamente para prevenir el doblamiento y los latigazos en los desfuegos de alivio | | | | | |
| 9. | Se han instalado conexiones de drenaje para la tubería de descarga de las válvulas de seguridad donde podría acumularse condensado? | | | | | |

AUTORES:

ING. MARTINIANO AGUILAR RODRÍGUEZ
 ING. BERNARDO AGUILAR CALVO

| AREA O PARTE | NUM | PARTE, ACTIVIDAD | CUMPLE O SE TIENE? | | | OBSERVACIONES |
|--------------------------|-----|---|--------------------|----|----|---------------|
| | | | SI | NO | NA | |
| | 10 | Se han instalado válvulas de seguridad en la descarga de las bombas de desplazamiento positivo, entre los compresores de desplazamiento positivo y las válvulas de bloqueo; entre las bridas de escape de las turbinas de contra-presión y las válvulas de bloqueo, y en cualquier equipo en donde el líquido pueda estar detenido o estancado y calentado posteriormente? | | | | |
| | 11. | Donde los discos de ruptura están en serie con las valvulas de seguridad. Para evitar la corrosión de la válvula o fugas de materiales tóxicos deberá instalarse discos de ruptura después del recipiente y el monitor de la sección de la tubería que está entre el disco y la válvula de seguridad; además deberá existir un manómetro y una línea de purga Hay algún disco de ruptura instalado en la descarga de la válvula de seguridad? | | | | |
| UBICACIÓN Y DISTRIBUCION | 1. | Están los equipos adecuadamente espaciados y ubicados de manera tal que permitan un mantenimiento anticipado durante las operaciones sin peligro para el proceso? | | | | |
| | 2 | Podría haber daños para la comunidad en caso que ocurra un derrame imprevisible? | | | | |
| | 3 | Hay riesgos para las zonas vecinas debido a los materiales que se derraman en las alcantarillas y drenajes? | | | | |
| GENERAL | 4. | Existen riegos públicos por la generación de nieblas, humos y ruidos? Y Cómo han sido controlados y reducidos? | | | | |
| MIRILLAS DE VIDRIO | 1. | Son necesarias mirillas de vidrio en equipo de proceso (sujetos a condiciones peligrosas)? Ejemplo: condiciones inflamables, tóxicas, de alta presión, temperaturas extremas, etc | | | | |

3. QUÉ PASA SI (WHAT IF)

Este método de análisis de Riesgos, utiliza el principio de revisión de las partes del proceso por un equipo experto multidisciplinario. Las principales características de éste método son las siguientes:

- Análisis cualitativo de fallas obvias de un sistema.
- Estructura y alcance limitado.

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

Con este método, se supone que ocurre una falla sin considerar qué fue lo que la causó.

Se buscan fallas tales como las siguientes :

¿Qué pasa si hay una

- pérdida de servicios (agua de enfriamiento, agua de proceso, vapor, aire de instrumentos o de proceso)?
- pérdida de energía eléctrica?
- pérdida de electricidad de emergencia?
- pérdida del sistema de cómputo de control del proceso?
- descarga de una válvula de relevo o un disco de ruptura? (¿capacidad suficiente? ¿calibración? ¿dónde descargará?)
- reacción de descomposición o polimerización incontrolada?
- pérdida del sistema de agua contra incendio?
- explosión o un incendio interno?
- ¿qué pasaría si el operador falla al efectuar una operación crítica?

Contestando estas u otras preguntas clave, se tendrá una evaluación de los efectos de fallas de equipo, errores en procedimientos, desastres naturales, etc; los resultados dependerán de la experiencia y de la capacidad imaginativa del grupo de análisis.

Los aspectos relacionados con el proceso, que normalmente se cuestionan son principalmente los siguientes:

- Materiales
- Condiciones del proceso
- Equipos
- Servicios
- Instrumentación
- Control del proceso
- Instalaciones y equipos vecinos
- Etc.

Para el uso apropiado de la técnica, cada parte de la operación debe ser evaluada por los miembros del grupo de trabajo, quienes harán la pregunta ¿qué pasa si . . . ? a cada operación o etapa del proceso, para determinar los efectos de fallas en los equipos o errores de operación en el proceso.

La metodología puede ser utilizada para revisar un proceso completo o partes de él, dependiendo de su complejidad. El grupo de especialistas con experiencia y conocimientos en varios aspectos, examinan intensivamente el proceso para identificar posibles riesgos de exposición del personal o la propiedad. El grupo de trabajo, enfatiza en factores detectables a través de observación visual, tales como limitaciones de las reacciones químicas, efectos de impurezas, cambios en el proceso, efectividad de los dispositivos de prevención y control de incendios y explosiones, materiales de construcción, procedimientos de operación, etc.

El procedimiento, incluye las siguientes etapas, como se muestra en el flujograma de la Fig. 2.

- Definición de objetivos y alcance
- Selección del grupo de trabajo
- Preparación previa del análisis
- Ejecución del análisis
- Seguimiento
- Registro de resultados

Definición de objetivos y alcance

Los objetivos y alcance del análisis deben ser explícitos, tanto como sea posible. Algunos ejemplos son revisar o verificar:

- Ingeniería básica
- Ingeniería de detalle
- Plan de arranque
- La operación normal de una planta
- Operaciones de arranque y paro
- Trabajos de mantenimiento mayor
- Procedimientos de operación

En ocasiones, dependiendo de la complejidad del proceso, es conveniente definir el tipo de riesgos que se pretende identificar, por ejemplo:

- Al ambiente
- A la salud de los trabajadores
- A la integridad física de los trabajadores
- A las instalaciones y equipo
- A la comunidad
- A la calidad del producto

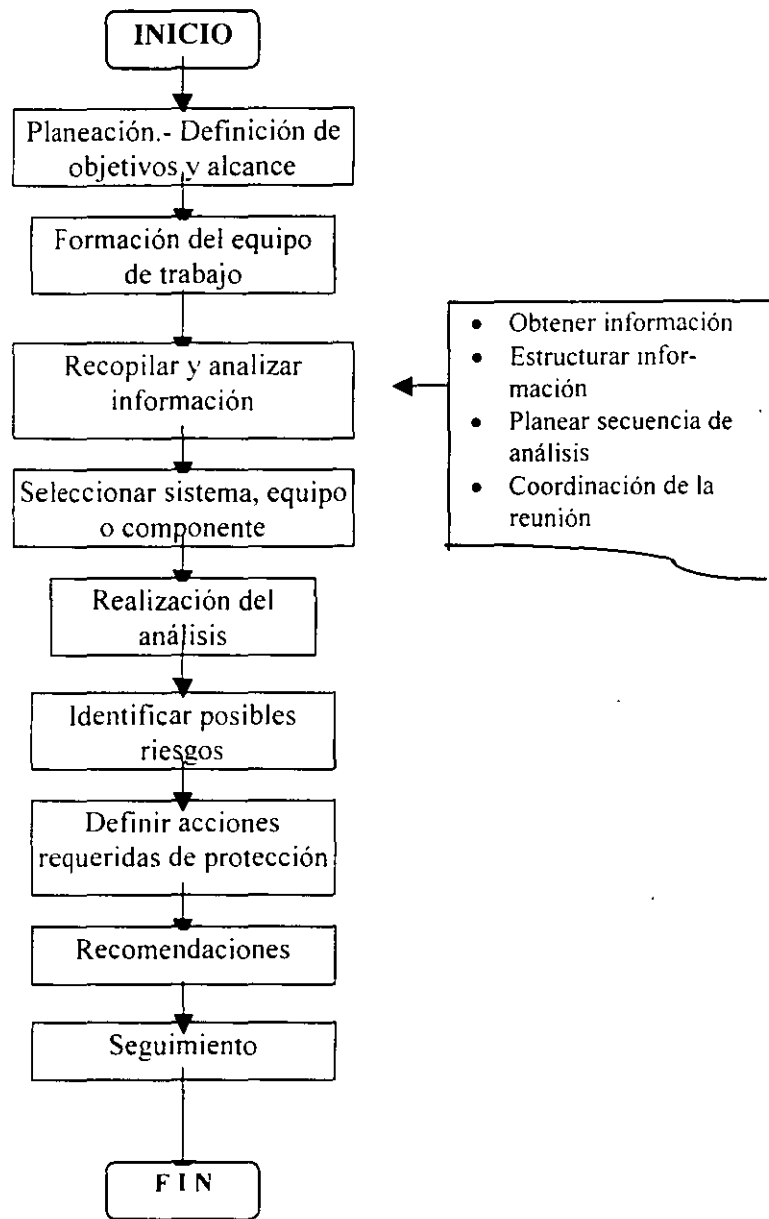


FIG. 2.- FLUJOGRAMA DEL METODO "QUE PASA SI . . . (WHAT IF . . .)"

Los límites físicos de la planta a ser analizada deben definirse y cuando existan interacciones con los vecinos, se deben incluir en el análisis. Deben contemplarse las premisas económicas que prevalecen en el momento del análisis, por los posibles efectos en la toma de decisiones

Los objetivos y alcances generales para un análisis, son normalmente establecidos por la persona responsable del proyecto o la planta.

Selección del grupo de trabajo

Los análisis de riesgos utilizando la metodología ¿qué pasa si ? , son normalmente ejecutados por grupos multidisciplinarios, pero bajo ciertas circunstancias y como una aplicación preliminar, puede ser aplicada por disciplinas en forma individual, aunque esto hace que el resultado tenga poca confiabilidad al no identificarse todos los posibles riesgos.

La mezcla de disciplinas puede variar dependiendo del tipo de proyecto o planta, siendo el equipo base el siguiente:

- Ingeniería
- Mantenimiento
- Producción
- Procesos
- Seguridad e Higiene

En ocasiones se requiere incluir, sobre todo en proyectos, disciplinas tales como.

- Eléctrica
- Instrumentación
- Ingeniería Civil
- Ingeniería en Seguridad
- Higiene Industrial
- Ingeniería Ambiental
- Etc.

Dentro del grupo de trabajo debe de existir una persona que coordine la revisión, verificando que la metodología sea aplicada apropiadamente.

El coordinador del grupo de trabajo tiene algunas funciones a cubrir durante el análisis:

- Asesorar en la definición de los objetivos y alcance
- Ayudar en la selección del grupo.
- Coordinar la recopilación de información previa.
- Moderar las discusiones.

Preparación previa del análisis

El trabajo de preparación depende del tamaño y complejidad de la planta o proyecto y consiste en cuatro etapas:

- Obtención de información
- Estructuración de la información
- Planeación de la secuencia del análisis
- Coordinación de la reunión

Información - Esta normalmente consta de la descripción del proceso, diagramas de flujo, balance de materia y energía, diagramas de tuberías e instrumentación, diagramas de

arreglos de la instalación, manual de operación. El tipo de información puede variar dependiendo de la etapa del proyecto, en el caso de nuevos diseños.

La información deberá estar actualizada y reflejar fielmente las condiciones reales del diseño.

Estructuración de la información.- Una vez recopilada, se deberá hacer llegar una copia a cada uno de los miembros del grupo de trabajo, con la suficiente anticipación para que la reunión sea ágil y productiva.

Planeación de la secuencia de análisis. El coordinador del grupo de trabajo, debe establecer una agenda que permita cumplir con el objetivo y los alcances de la reunión. La secuencia normalmente lleva el orden normal del proceso.

Coordinación de la reunión. El coordinador debe seleccionar el lugar de trabajo, auxiliares para la reunión (rotafolio, proyectores, etc.) y dependiendo del proyecto o condiciones de la planta, debe incluir, como parte de la reunión, la visita a las instalaciones.

Las sesiones de trabajo deben efectuarse en un lugar bien iluminado y ventilado, con instalaciones adecuadas para revisar planos, explicar diagramas y comodidades que permitan un trabajo agradable, libre de ruido y distracciones.

Ejecución del análisis

Una vez explicado el objetivo y alcance de la reunión y la agenda preparada previamente, el coordinador explica la secuencia de análisis, selecciona una parte del proceso y define la primera etapa a revisar. Consecutivamente se le pide al grupo hacer la pregunta ¿qué pasa si ? , a los conceptos que cada especialista considere pertinente.

Se da la palabra a uno de los miembros y se solicita que exponga su cuestionamiento, entonces el grupo discute las posibles respuestas y propone soluciones para los riesgos detectados.

Inicio

- a) Seleccionar una parte del proceso
- b) Explicar la intención de la parte seleccionada
- c) Seleccionar una etapa u operación del proceso
- d) Explicar la intención de la etapa u operación
- e) Aplicar la pregunta ¿qué pasa si . . . ?
- f) Dar las respuestas posibles (consecuencias)
- g) Evaluar si las consecuencias son un riesgo
- h) Proponer las acciones para eliminar o reducir el riesgo
- i) Marcar la etapa u operación analizada
- j) Repetir c-i para todas las etapas u operaciones de la parte del proceso seleccionado
- k) Repetir a-j para todo el proceso

Seguimiento

Normalmente existirán acciones pendientes de evaluar, puntos de desacuerdo por concluir o información que recopilar. Se debe elaborar una lista de los pendientes, indicando los responsables y fechas compromiso para su ejecución. Transcurrido el tiempo necesario se lleva a cabo una sesión de revisión, en la cual se evalúa el plan de acción propuesto para reducir o eliminar los riesgos identificados.

Las acciones propuestas, generalmente son cambios o modificaciones de cuatro tipos:

- En el proceso (recipientes, materiales, instrumentación, etc.).
- En los procedimientos de operación.
- En las condiciones del proceso (temperatura, presión).
- En el diseño físico.

Cuando las acciones han sido definidas, es muy útil separarlas en dos grupos:

- Las que eliminan las causas del riesgo
- Las que reducen sus consecuencias

Registro de resultados

Una actividad importante del grupo de trabajo es el registro de los resultados del análisis, para lo cual es recomendable integrar un expediente conteniendo:

- Una copia de los diagramas y descripción del o los procesos.
- Una copia de las hojas de registro de las preguntas, respuestas (consecuencias) y acciones propuestas, como se muestra en la Tabla 4

TABLA 4.- QUÉ PÁSA SI (WHAT IF)?

PLANTA O INSTALACION _____ SISTEMA _____ EQUIPO _____
COMPONENTE _____ PROPOSITO _____ FECHA _____

Hoja de

| NUM | QUE PASA SI ? | CONSECUENCIAS | PROTECCION ACTUAL | RECOMENDACIONES |
|-----|-----------------------|---------------|-------------------|-----------------|
| | | | | |

4. ANÁLISIS TIPO HAZOP (HAZARD AND OPERABILITY STUDY)

La técnica HAZOP fue desarrollada inicialmente por la Imperial Chemical Industries ICI, al principio de los años de 1970's.

El HAZOP se aplica con más frecuencia a los sistemas térmico-hidráulicos, y consiste en el llenado de una tabla; esta tabla contiene un número de "palabras guía" para ayudar al análisis. El significado de las palabras guía se muestra en la Tabla 5.

A cada nueva etapa del estudio y con la ayuda de estas palabras guía, las causas posibles de fallas y sus efectos (o consecuencias), se listan para un primer examen de los parámetros significativos de las facilidades y sus posibles variaciones. Se identifican las causas de las variaciones, para las fallas esperadas de los componentes, y entonces se consideran los efectos de las causas de fallas.

Si en un primer análisis se ve que una falla es muy importante por su probabilidad de ocurrencia o sus efectos, se especifican y proveen las medidas necesarias para bajar su probabilidad y/o abatir sus efectos.

El método HAZOP, puede ser considerado como una adaptación específica del AMFE a los sistemas térmico-hidráulicos, pero también como una técnica del tipo causa-consecuencias.

Las palabras guía usadas como referencia, son algo similares a las pérdidas de función de subsistemas o sistemas; un análisis, primeramente deductivo, se realiza para inventariar todos los probables modos de fallas de componentes que tienen efectos correspondientes a las palabras guía. Posteriormente, se aplica un análisis estrictamente inductivo a estos componentes, para identificar todos los efectos de sus modos de falla.

Esta técnica, tiene la ventaja de señalar rápidamente los componentes cuyos efectos de modos de falla pueden ser corregidos; a diferencia del AMFE, ésta técnica no requiere de un estudio sistemático de los modos de falla de cada componente y de sus efectos. El análisis del sistema parece ser simple, sin embargo, el uso de este método aumenta un número de problemas, por ejemplo, es difícil asignar a cada palabra guía una porción bien delineada del sistema y de las causas de falla, y pueden producir errores en el análisis.

En la Fig 3, se muestra el flujograma del método de análisis HAZOP.

En el método HAZOP, se parte de una desviación al intento del diseño, que lleva aun modo de falla y se analizan sus posibles efectos, repercusiones o consecuencias.

Se puede definir al "intento del diseño", como el propósito por el cual se realiza el diseño para que cumpla su función dentro de ciertos parámetros.

El modo de falla de un componente, se define como el efecto por el cual se observa una falla

TABLA 5.- PALABRAS GUIA O PALABRAS CLAVE DEL METODO HAZOP

| PALABRAS GUIA | SIGNIFICADO | OBSERVACIONES |
|---------------------|-----------------------------------|--|
| NO, NADA | Completa negación al intento. | No ocurre ninguna parte del intento del diseño (no flujo, no energía) |
| MAS, MAYOR | Aumento cuantitativo | Se refiere al aumento de cualquier parámetro físico, tanto a cantidades y propiedades (flujo, temperatura, presión) como a actividades (calentamiento, reacción, enfriamiento) |
| MENOS, MENOR | Disminución cuantitativa | Decremento de cualquier parámetro físico. Se refiere tanto a propiedades y cantidades (flujo, temperatura, presión) como a actividades (calentamiento, reacción, enfriamiento) |
| ADEMAS DE | Aumento cualitativo | Se realiza todo el intento del diseño junto con una actividad adicional (impurezas, fases adicionales, reacción secundaria) |
| PARTE DE | Disminucion cualitativa | Solo se realizan algunas partes del intento del diseño (flujo correcto con baja presión) |
| INVERSO | Opuesto a la lógica del intento. | Se aplica tanto a propiedades como a actividades (calentamiento en lugar de enfriamiento, adición de catalizador en lugar de inhibidor) |
| DISTINTO, EN VEZ DE | Completa sustitución del intento. | Nada del intento original ocurre, aunque si algo diferente (material diferente, equipo distinto, operación diferente) |

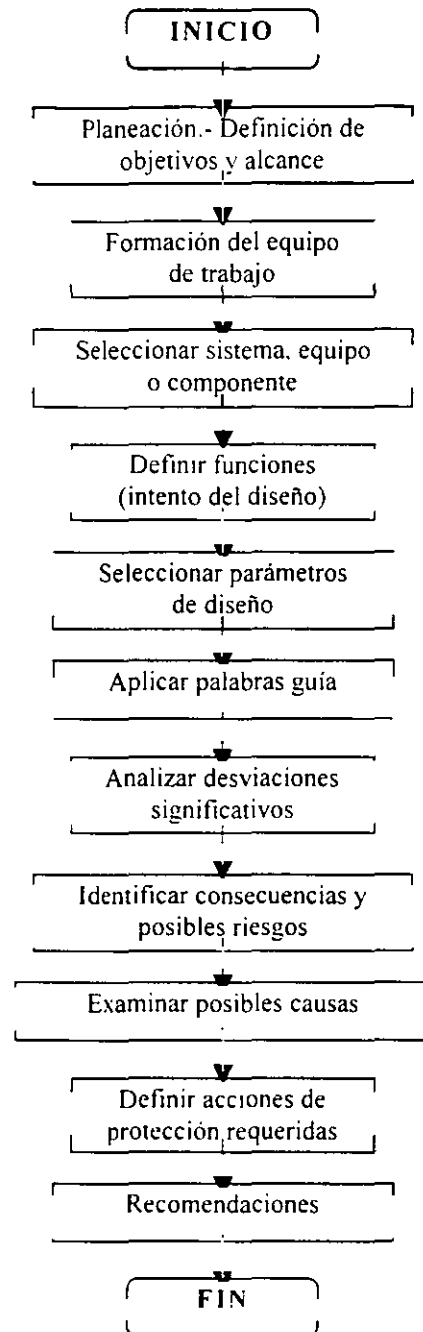


FIG. 3.- FLUJOGRAMA DEL METODO HAZOP

El método HAZOP, cuestiona en forma metódica y sistemática la operación correcta (con diseño correcto), y que riesgos se tienen cuando no se cumple el intento del diseño.

A cada una de las partes de un sistema o planta se le aplican las "palabras guía", para evaluar el intento del diseño y determinar que podría pasar si no se cumple (el intento del diseño) o se cumple parcialmente, así como las consecuencias.

Las palabras guía actúan como estímulo para cuestionar los parámetros de diseño mas relevantes, como:

- Materiales
- Flujo (cantidad y dirección)
- Condiciones de operación (presión, temperatura, tiempo)
- Otros.

Para ayudar a considerar y registrar las principales desviaciones, se puede utilizar una matriz de aplicación de las palabras guía, como se muestra en la Tabla 6.

Si no se tiene una causa objetiva posible y probable, que origine desviaciones al intento del diseño al aplicar las palabras guía, entonces la desviación no puede ocurrir.

Durante la aplicación de las palabras guía, no se deben tomar en cuenta los dispositivos y protecciones existentes que pueden evitar la causa de la desviación; el método considera la existencia de la desviación, aún si no fallan las protecciones.

Principios Básicos de la Metodología

Esta metodología, funciona a través de utilizar la imaginación de los miembros de un grupo multidisciplinario, para visualizar las rutas en que una planta puede operar en forma indeseable. Es lo suficientemente flexible para aplicarse a todo tipo de plantas, procesos, equipos, etc.

La metodología, puede ser aplicada en el diseño final de una planta o en algunos diseños intermedios, al realizar trabajos de mantenimiento mayor o reparaciones complejas y en operaciones de paro, arranque o condiciones normales de operación.

Debido a que el proceso de aplicación de la metodología es complejo y altamente estructurado, es recomendable su aplicación en forma selectiva, considerando actividades como:

- Manejo de materiales peligrosos
- Ubicación de la planta en zonas de asentamientos humanos
- Posibles efectos a industrias vecinas
- Posibles afectaciones a mantos acuíferos y vías de agua

Esencialmente, el procedimiento de análisis consiste en revisar la descripción completa de los procesos, cuestionando sistemáticamente cada una de sus partes, para descubrir como las desviaciones del intento del diseño pueden ocurrir e identificar cuales de estas pueden dar por resultado un riesgo.

TABLA 6.- MATRIZ DE APLICACIÓN DE “PALABRAS GUIA”

| PALABRA GUÍA PARÁMETRO | NO NADA | MAS, MAYOR | MENOS MENOR | ADEMAS DE | PARTE DE | INVERSO | DISTINTO, EN VEZ DE |
|---------------------------|------------|---------------|----------------|--------------|-------------|---------|------------------------|
| Presión | | | | | | | |
| Temperatura | | | | | | | |
| Flujo | | | | | | | |
| Tiempo | | | | | | | |
| Densidad | | | | | | | |
| Velocidad | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Cada parte del diseño se somete a una serie de preguntas formuladas en base a las "palabras guía", las cuales son utilizadas para garantizar que todos los caminos posibles, para que ocurra una desviación del intento del diseño, son explorados. Esto normalmente genera una serie de desviaciones teóricas y cada desviación es considerada para identificar sus causas, posibles consecuencias y las acciones a seguir para su eliminación o reducción.

El propósito del análisis es identificar todas las posibles desviaciones con respecto al intento del diseño y todos los riesgos asociados a estas desviaciones, así como el proponer las alternativas viables para eliminarlos o reducirlos.

El éxito de la metodología depende de:

- La exactitud de los diagramas y datos utilizados como base del estudio.
- La habilidad técnica y perspicacia del grupo.
- La habilidad del grupo en el uso de la metodología como una ayuda a su imaginación en la visualización de desviaciones, sus causas y consecuencias.
- La habilidad del grupo para mantener el sentido de proporción, no minimizando o exagerado la severidad de las consecuencias de los riesgos identificados.

Procedimiento para el Análisis

Los principios descritos son puestos en practica a través de un procedimiento que consiste en las siguientes etapas:

- Definición de objetivos y alcance
- Selección del grupo de trabajo
- Preparación previa del análisis
- Ejecución del análisis
- Seguimiento
- Registro de resultados

Definición de Objetivos y Alcance

Los objetivos y alcance de una análisis deben ser explícitos tanto como sea posible, por ejemplo:

- Revisar un diseño
- Decidir cuándo y dónde construir una planta
- Obtener una lista de verificación para seleccionar un proveedor
- Verificar procedimientos de operación
- Mejorar las condiciones de seguridad de plantas existentes

Es necesario definir el tipo de riesgos que se pretenden identificar, por ejemplo:

- Al personal que trabaja en la planta
- A la planta y equipo
- A la calidad del producto
- A la comunidad

- Al ambiente

Los límites físicos de la planta a ser analizada deben definirse y cuando existen interacciones con los vecinos, todos deberán incluirse en el análisis. Deben ser contempladas las condiciones económicas que prevalecen en el momento del análisis por los posibles efectos en la toma de decisiones.

Selección del Grupo de Trabajo

Los estudios de los riesgos y operación son normalmente ejecutados por grupos multidisciplinarios. Dentro de estos grupos existen dos tipos de participantes: los que realizan la contribución técnica y los que asesoran y establecen las reglas de funcionamiento del grupo.

Personal técnico. El análisis requiere de la participación de personal con conocimientos y experiencia en ciertas áreas, algunas de ellas relacionadas con el diseño y otras con la operación de la planta. La metodología genera una gran cantidad de preguntas que requieren la participación de personal, con un grado alto de conocimientos y experiencia en:

- Ingeniería
- Mantenimiento
- Producción
- Procesos
- Seguridad e Higiene
- Riesgos

La mezcla de disciplinas puede variar dependiendo del tipo del proyecto o planta. Algunas ocasiones se requiere de la inclusión de disciplinas tales como:

- Ingeniería Eléctrica
- Instrumentación
- Ingeniería Civil
- Ingeniería en Seguridad
- Higiene Industrial
- Ingeniería Ambiental
- Etc.

El grupo no debe ser muy grande y el número ideal de personas está entre 3 y 6.

Personal de Soporte Debido a que las sesiones de análisis son altamente estructurada y muy sistemáticas, es necesario tener a alguien que modere las discusiones. Esta persona se conoce como el "Lider del Grupo"

El líder del grupo tiene algunas funciones a cubrir durante el análisis:

- Asesorar en la definición de los objetivos y el alcance del análisis.
- Ayudar en la selección del grupo y su entrenamiento.

- Coordinar la recopilación de información previa y verificar que se cuente con toda la necesaria para el análisis.
- Moderar las discusiones dentro de lo establecido por la metodología.

Es importante que los miembros del grupo tengan una actitud positiva y constructiva, dado que los resultados dependen de su inventiva e imaginación.

Preparación Previa del Análisis

El trabajo de preparación depende del tamaño y complejidad de la planta y consiste de cuatro etapas:

- Obtención de información
- Estructuración de la información
- Planeación de la secuencia del análisis
- Coordinación de las reuniones

Información. Esta normalmente consta de diagramas de flujo, balance de materia y energía, diagramas de tubería e instrumentación, diagramas de distribución de la planta (lay out), cinética química de las reacciones involucradas, descripción detallada del proceso, manual de procedimientos de operación, especificaciones y características fisicoquímicas de los materiales utilizados y producidos, hojas de especificación equipos y programas de mantenimiento preventivo. Esta información debe estar actualizada.

Una vez que la información se ha recopilado y estructurado, el líder del grupo está en la posibilidad de realizar la planeación de la secuencia del análisis. La primera etapa será estimar las horas hombre que se requerirán, lo cual se puede lograr de varias maneras. Una regla general es que cada parte a ser estudiada (línea, recipiente, etc.), toma aproximadamente 15 minutos del tiempo del grupo. Una forma de estimar el tiempo es considerando el número de líneas y de recipientes.

Ejecución del Análisis

Las sesiones de análisis son altamente estructuradas, con el líder del grupo controlando la discusión, para el seguimiento de su plan predeterminado. Si la ejecución está basada en diagramas de tubería e instrumentación, el líder del equipo selecciona el primer recipiente y pide al grupo que describa su función. Selecciona una línea u otro elemento del diseño y solicita al grupo establecer la intención de la parte seleccionada. Esta secuencia se sigue en forma similar en un estudio basado en los procedimientos de operación.

El líder del grupo aplica la primera palabra clave y la discusión del grupo se inicia. Algunas veces es necesario, particularmente cuando se trata de un grupo inexperto, para el líder del grupo orientar la discusión haciendo preguntas tal como ¿Puede no haber flujo? o ¿Qué puede ocurrir si no hay flujo?. El grupo no sólo deberá proporcionar las respuestas técnicas, si no que debe orientarse hacia la creatividad y hasta todas las posibles desviaciones y riesgos.

Una vez que los riesgos son identificados, el líder del grupo debe asegurarse que sean claramente comprendidos por el grupo. Todos los problemas detectados durante el análisis deben ser resueltos, pero pueden subsistir algunos problemas por falta de información o necesidad de profundizar en la puesta de alternativas de solución. Existen dos posiciones extremas:

- Una solución es definida para cada riesgo detectado, antes de pasar a la identificación del riesgo siguiente.
- No proponer soluciones hasta que todos los riesgos han sido identificados.

Seguimiento

Normalmente existirán acciones pendientes de evaluar, puntos de desacuerdo por concluir o información que recopilar. Se deberá elaborar una lista de ello, indicando los responsables de su ejecución y fechas de cumplimiento. Transcurrido el tiempo necesario, se llevará a cabo una sesión de "Evaluación de las Recomendaciones a Seguir", en la cual se revisarán puntos pendientes y se revisarán las acciones que se tomaran, para eliminar o minimizar los riesgos identificados. Las acciones propuestas generalmente son de cuatro tipos:

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

Cuando las acciones han sido definidas, es muy útil separarlas en dos grupos:

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

Existirán acciones que no requieren de una evaluación detallada, dado que el riesgo es claro y las acciones son obvias en su corrección, pero suele ocurrir que para ciertos riesgos existen diferentes alternativas (unas más caras que otras, reducen más el riesgo, etc.) que será necesario evaluar su costo beneficio. Para ayudar en la toma de decisiones, se recomienda evaluar el riesgo, así como su modificación con las alternativas propuestas, mediante metodologías como:

- Arbol de fallas
- Índice Dow
- Índice Mond
- AMFEC

El uso de estas metodologías debe ser selectivo y sólo en caso estrictamente necesario, debido a su complejidad y el tiempo que se requiere para su aplicación.

Registro de Resultados

Una actividad importante del grupo de trabajo es registrar los resultados del análisis. Una forma útil es la generación del "Expediente HAZOP", que contiene:

- Una copia de los diagramas de tuberías e instrumentación, utilizados por el grupo durante el análisis.
- Una copia de todas las hojas de trabajo, preguntas, recomendaciones, rediseños, etc., generadas durante las sesiones de trabajo.

La hoja de trabajo se muestra en la Tabla 7 y en la Fig. 4 la secuencia detallada de la metodología HAZOP.

TABLA 7.- METODO DE ANALISIS HAZOP

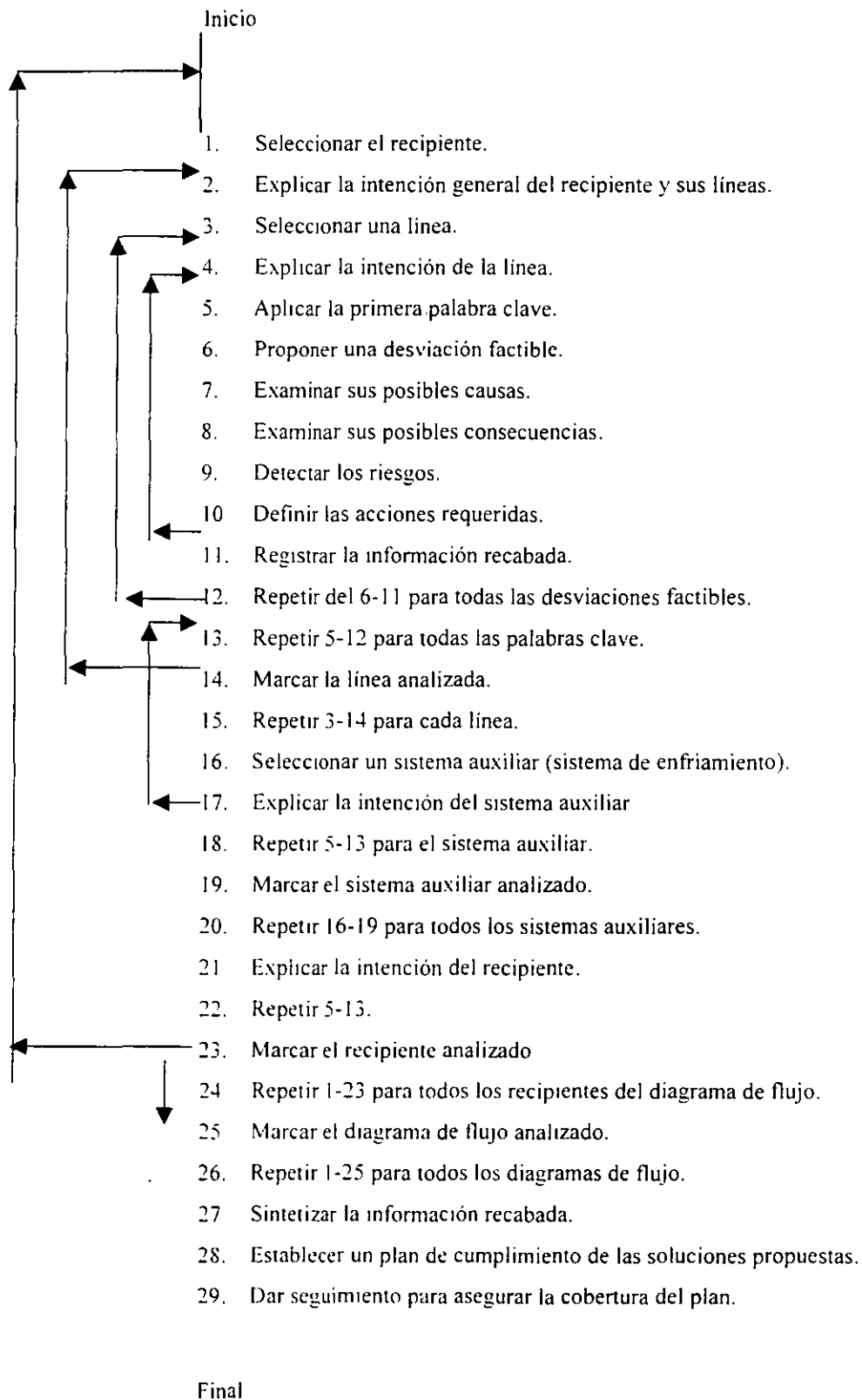
PLANTA O PROYECTO _____ SISTEMA _____
EQUIPO _____ PARTE _____ COMPONENTE _____

FUNCION _____ DIAGRAMA O PLANO _____

FECHA _____
HOJA _____ DE _____

| PALABRA CLAVE | DESVIACION | CONSECUENCIAS | CAUSA PROBABLE | ACCION O PROTECCION REQUERIDA | RECOMENDACIONES |
|---------------|------------|---------------|----------------|-------------------------------|-----------------|
| | | | | | |

FIG. 4.- SECUENCIA DETALLADA DE LA METODOLOGÍA HAZOP



V. MÉTODOS DE EVALUACION (CUANTIFICACION) DE RIESGOS

Los principales objetivos de la evaluación o cuantificación de Riesgos son los siguientes:

- La estimación de la probabilidad de ocurrencia y el tamaño de los posibles resultados.
- La evaluación de los cursos de acción alternativos.

La definición de Riesgo en la literatura científica especializada más aceptada es la siguiente:

“Es la medida de un peligro, combinando una medición de la probabilidad de ocurrencia de un evento indeseable con una medida de sus efectos o consecuencias”

Los métodos de evaluación de Riesgos que están de acuerdo con los objetivos y definición dadas anteriormente son las siguientes:

- Índice Dow
- Índice Mond
- Arbol de fallas/eventos (árbol lógico).
- Análisis de Modos de Falla y Efectos (AMFE) Cuantificado

Estos serán los métodos que se discutirán en el presente Capítulo, además de que previamente se discutirá la evolución de los estudios de riesgos y posteriormente al final se hará un análisis de las consecuencias, por lo que el presente Capítulo VI quedará en la siguiente forma:

1. Evolución de los estudios de riesgos
2. Índice Dow
3. Índice Mond
4. Arbol de fallas/eventos (árbol lógico)
5. Análisis de Modos de Falla y Efectos (AMFE) Cuantificado
6. Análisis de consecuencias

Los métodos de Índice Dow e Índice Mond fueron los primeros utilizados para cuantificar los riesgos, aunque en la actualidad muy poco se utilizan; por ésta razón, en el presente documento solo se incluyen resúmenes de dichos métodos.

1. EVOLUCIÓN DE LOS ESTUDIOS DE RIESGO

1.1 Revisión histórica

En el valle de Tigris-Eufrates, hace aproximadamente 3,200 años A.C vivió un grupo llamado los Asipu. Una de sus funciones primarias eran de servir como consultores en:

- riesgos
- incertidumbres
- decisiones difíciles

Se podía consultar a un miembro de los Asipu si se necesitaba tomar una decisión acerca de:

- una aventura de riesgo próximo
- el arreglo sobre una proposición de matrimonio
- un sitio adecuado para una construcción

Los Asipu podían identificar:

- las dimensiones importantes del problema
- alternativas de acción
- datos sobre posibles resultados (pérdida o ganancia, éxito o falla) de cada alternativa

Los mejores datos disponibles desde su perspectiva eran signos de los dioses, los cuales podía interpretar una especie de sacerdote Asipu para lo que era especialmente calificado. Enseguida los Asipu creaban un libro mayor con un espacio para cada alternativa.

- si los signos eran favorables anotaban un signo de más (+) en el espacio.
- si los signos no eran favorables anotaban un signo de menos (-) en el espacio.

Después que se completaba el análisis, los Asipu podían recomendar la alternativa más favorable. La última etapa era la emisión de un reporte final al cliente grabado en una tabla de arcilla. Parece ser que la práctica de los Asipu marca el primer ejemplo registrado de una forma simplificada de análisis de riesgo.

Las similitudes entre las prácticas y procedimientos de los análisis modernos de riesgo y las de los antepasados Babilónicos, subrayan el punto que la gente ha estado tratando con problemas de riesgos por mucho tiempo, con frecuencia en una forma cuantificada y sofisticada

Los propósitos de esta revisión de la evolución histórica del análisis de riesgos y del manejo de riesgos son los siguientes:

- Moderar la tendencia prevaleciente de ver las preocupaciones actuales acerca del riesgo en un contexto no histórico.
- Informar sobre los antecedentes intelectuales del pensamiento común acerca del riesgo
- Clarificar como las ideas contemporáneas acerca del análisis de riesgo y del manejo del riesgo social difieren significativamente del pasado.
- Proveer las bases para anticipar la dirección futura en el análisis y gestión de riesgos.

1.2. Análisis cuantitativo de riesgos y probabilidad

A diferencia de los analistas modernos de riesgos, que expresan sus resultados en términos de probabilidades matemáticas y en intervalos de confianza, los Asipu de la antigua Babilonia, expresaban sus resultados con certidumbre, confianza y autoridad.

Puesto que los Asipu fueron dotados para leer los signos de los dioses, la probabilidad no intervenía en sus análisis. Las predicciones que fallaban, como en otras formas de

adivinación eran racionalizadas de acuerdo a la premisa inicial y no eran amenaza para el sistema. Por lo anterior, la investigación sobre el origen del análisis de riesgo cuantitativo moderno debe buscarse en otra parte.

Un hilo importante que lleva al análisis cuantitativo moderno de riesgos puede ser trazado desde las tempranas ideas religiosas sobre la probabilidad de una vida posterior. Esto puede parecer sorprendente considerando la prominencia y seriedad del riesgo involucrado, al menos para los verdaderos creyentes.

En el siglo IV A.C. se escribieron numerosos tratados discutiendo los riesgo de una alma después de la vida, dependiendo de como se conduzca aquí y ahora.

Uno de los análisis mas sofisticados fue hecho por Arnobius en el siglo IV D.C en el Norte de África. Arnobius fue una figura grande en una iglesia pagana. Los miembros de dicha iglesia pagana, que tenían un templo a Venus completo, con sacrificio de vírgenes y prostitución, llevaban a una vida decadente en comparación a la austeridad cristiana.

Arnobius se mofaba de los cristianos por su inútil auto abnegación, sin embargo, en una visión revelatoria renunció a sus creencias y trató de convertirse al cristianismo, pero se le negó el bautismo por que dudaron de la sinceridad de su conversión.

Para tratar de demostrar la autenticidad de su conversión, escribió una monografía de 8 volúmenes titulada "Contra los paganos". Entre los argumentos en favor del cristianismo hay uno que es particularmente relevante para la historia del análisis probabilístico del riesgo.

Después de discutir los riesgos e incertidumbres con decisiones que afectan a una alma, propuso una matriz de 2×2 , con dos alternativas:

- Aceptar el cristianismo
- Permanecer pagano

Hay también dos posibles, aunque inciertos, estados de cosas:

- Dios existe
- Dios no existe

Si Dios no existe, no hay diferencia entre las dos alternativas. Si Dios existe, ser cristiano es mucho mejor para una alma que ser pagano.

Este argumento marcó la primera aparición registrada del "Principio dominante", un heurístico útil para la toma de decisiones, bajo condiciones de riesgo e incertidumbre. Posteriormente, este argumento entró a la corriente principal de la teología del cristianismo y al pensamiento intelectual

Cuando Pascal introdujo la teoría de probabilidad en 1657, una de sus primeras aplicaciones fue extender la matriz de Arnobius. Dada la distribución de probabilidades para la existencia de Dios, Pascal concluyó que el valor esperado de ser cristiano sobre pasaba el valor esperado del ateísmo

Cualquiera que sea la explicación, no tomó mucho tiempo (dentro de los 100 años de los descubrimientos de Pascal) para que las nuevas teorías de probabilidad se aplicaran a la condición humana, utilizando las teorías matemáticas de probabilidad, para examinar las expectativas de vida (1662); antes de esto solo existieron las tablas desarrolladas por el Romano Domitius Ulpianus en el año 230 D.C. Las razones de éste lapso de tiempo parece ser que fueron objeciones filosóficas.

1.3. Métodos para establecer la causalidad

Las dos raíces del análisis moderno de riesgos son:

- Las teorías matemáticas de probabilidad.
- Los métodos científicos para identificar las relaciones o conexiones causales entre los efectos adversos de la salud y los diferentes tipos de actividades peligrosas.

A través de la historia, los investigadores han confiado principalmente en los métodos de observación para aclarar estas relaciones. La forma más básica de éstos métodos y mas universalmente practicado, es la experiencia basada en prueba y error. Una ligera variante de éste método ha sido la de conducción a distancia del experimento sobre un sustituto (p.e. proporcionar nuevos alimentos a animales).

En un nivel mas complejo, los investigadores han usado tanto métodos de observación indirectos (quemado de alimentos para descubrir adulteración), como métodos de observación epidemiológica (establecer asociaciones de causa-efecto).

Aunque no se adherían al rigor científico y estándares estadísticos de los estudios epidemiológicos modernos, si hay algunos ejemplos:

- En el siglo IV ó V A.C. en el libro "Aire, Agua y Lugares", Hipócrates intentó establecer las relaciones causales entre las enfermedades y el ambiente.
- En el siglo I A.C. los Griegos y Romanos observaron los efectos adversos por la exposición al plomo.

Estas observaciones se olvidaron y el trabajo se empezó de nuevo hasta los siglos XVI, XVII y XVIII. Entre los muchos estudios realizados durante este periodo, se encuentran las siguientes:

- Un estudio conectando los efectos adversos a la salud y varias prácticas de minería y metalúrgicas
- Un estudio relacionando el humo en Londres con varios tipos de problemas agudos y crónicos.
- Un estudio relacionando el uso de la aspiración de tabaco con cáncer en los pasajes nasales.
- Un estudio indicando que los deshollinadores jóvenes de chimeneas en Inglaterra eran especialmente susceptibles, al cáncer de escroto en la pubertad.
- Un estudio indicando que la exposición ocupacional y medicinal al arsénico puede llevar al cáncer
- Un estudio relacionando los brotes de cólera con el agua de las bombas de agua contaminadas.
- Un estudio relacionando la exposición a los rayos del sol con el cáncer de piel.

- Un estudio relacionando las aminas aromáticas con el cáncer de vejiga.

A pesar de estos estudios, los avances en el establecimiento de las relaciones causales entre los efectos adversos a la salud y los diferentes tipos de actividades peligrosas fue excesivamente lento; parece ser que dos obstáculos mayores impidieron el avance.

- El primero fue la escasez de modelos científicos, biológicos, químicos y procesos químicos, especialmente antes de los siglos XVII y XVIII. Relacionado con lo anterior, estuvo la falta de instrumentación y falta de observaciones rigurosas y técnicas experimentales para coleccionar datos e hipótesis de pruebas, aunque en la actualidad con frecuencia se admite que aún los conocimientos médicos básicos son un desarrollo relativamente reciente. Es sorprendentemente fácil de olvidar que no fue hasta los trabajos de Pasteur al final del siglo XIX, que los científicos empezaron a comprender la adecuación del concepto de infección o las relaciones causales entre el ambiente y los agentes biológicos de enfermedades infecciosas.
- El segundo obstáculo fue la creencia, con raíces en tradiciones ancestrales, que la mayoría de las enfermedades, males, falta de fortuna y desastres podían ser mejor explicados en términos sociales, religiosos o mágicos, por ejemplo, el deseo de los dioses por transgresión moral o por la malevolencia de algún enemigo invisible. En los siglos XVI y XVII en Europa, la caza de brujas resultó en la muerte en el fuego de aproximadamente medio millón de personas, conforme la iglesia intentaba erradicar fuentes percibidas de fallas en cosechas, enfermedades, muertes y otros.

En esa época, para muchos críticos el agente físico directo causante del daño era de considerablemente menos interés que el status moral de la víctima.

1.4 Manejo social del riesgo

En respuesta al riesgo identificado, los individuos y los grupos han empleado históricamente un número de técnicas para reducir o mitigar los efectos adversos a la salud, entre las que se incluyen las siguientes:

- i. Evitar o eliminar el riesgo, como la prohibición del uso de objetos o sustancias potencialmente peligrosas
- ii. Regular o modificar la actividad para reducir la magnitud y/o frecuencia de efectos adversos a la salud, como la construcción de presas.
- iii. Reducir la vulnerabilidad de personas y propiedades expuestas, p.e.
 - Uso de dispositivos de seguridad
 - Elevación de edificios de lugares de inundación
 - Inmunización de la población
 - Implantación de leyes de cuarentena
 - Establecer sistemas de alarmas de desastres
- iv. Desarrollo e implantación de mitigación post-eventos y procedimientos de recuperación, p.e.
 - Establecimiento de grupos de investigación y de rescate
 - Almacenamiento de alimentos
 - Entrenamiento para primeros auxilios
 - Proveer equipo y servicios para extinción de incendios

- v. Instituir esquemas de reembolso de pérdidas y distribución de pérdidas, a través de mecanismos como sistemas de seguros o programas de pago de incentivos para actividades de alto riesgo.

A pesar que todas éstas técnicas aún se practican, la mayoría de las ideas acerca del manejo del riesgo social tienen sus raíces en cuatro estrategias básicas o mecanismos de control:

- a) Seguros
- b) Leyes (comunitarias)
- c) Intervención gubernamental
- d) Autorregulación del sector privado.

a) Seguros

Es una de las estrategias mas viejas para hacer frente a los riesgos. Sus orígenes se encuentran en los intentos de ajustar las tasas de interés que surgieron primero en Mesopotamia, en donde hay registros al respecto del año 3000 A.C.

Parece que la práctica se originó cuando agricultores prósperos prestaban una parte de su producción, a cambio. Al principio los préstamos se regresaban en especie con un cargo de interés, después por cebada y luego por plata. Rápidamente, surgieron diferencias en las tasas de interés que variaban de cero entre amigos, hasta 33% para préstamos agrícolas mas riesgosos.

Como las tasas de interés reflejaban el riesgo percibido del préstamo, estas representaron los primeros intentos para cuantificar y manejar el riesgo.

La conexión entre las tasas de interés y los seguros se encuentra en la antigua Babilonia, centro natural de comercio en el periodo pre-Grecia.

Debido a muchos problemas de riesgos que enfrentaba el comercio, este declinó hasta que surgió el seguro como una técnica mas efectiva para manejar los riesgos.

Los Romanos instituyeron una forma rudimentaria de seguro de vida y salud en la forma de colegio.

Los seguros casi desaparecieron con la caída del imperio Romano, hasta que después del año 1000 D.C., reapareció el seguro marino y posteriormente otros. En 1688 se estableció el Lloyd's en Londres, surgiendo como un núcleo de mercado de seguros marinos global, que después se extendió a otras áreas de Seguros.

A partir del siglo XVII floreció la industria del seguro en Inglaterra, Francia y Holanda; este desarrollo parece simbolizar el debate moderno sobre si es aceptable poner un valor monetario a la pérdida de vidas humanas, p.e. para la iglesia los seguros de vida eran inmorales o al menos altamente sospechosos, por apostar a la vida humana.

El debate anterior ya terminó, pero ahora la discusión es el estatus moral del analista de costo beneficio sobre los riesgos de la vida humana.

b) Leyes (comunitarias)

En el sistema legal ingles y de USA, las leyes comunitarias permiten a un ciudadano cobrar daños a otro por perjuicios resultantes de acciones como.

- Molestias.- Uso de propiedades que irrazonablemente interfieren con el uso de otra propiedad.
- Descuido.- Conducta que irrazonablemente impone riesgos a otro.
- Actividades anormalmente peligrosas.

Las leyes comunitarias proveen dos funciones para el manejo de riesgos:

- Compensación
- Disuasión.

El origen de las leyes modernas de responsabilidad puede encontrarse en el Código Hammurabi y en el Viejo Testamento que enfatizaban la noción de estricta responsabilidad, p. e., el concepto que el fabricante de un producto es responsable de daños debidos a defectos por descuido o por falla.

Con el advenimiento de la revolución industrial, el principio de responsabilidad estricta declinó temporalmente, y la prueba de descuido u otra falla en defensa del acusado, se volvió un requerimiento esencial para reclamar daños en la mayoría de las áreas de leyes comunitarias. En 1850, la ley establecía que:

“El demandante debe estar preparado con evidencia para mostrar que el acusado estaba en falla, pero si el daño era inevitable y la conducta del demandado estaba libre de culpa, el no es responsable”.

Solo hasta principios de este siglo (1916) cuando este nuevo y estrecho concepto de responsabilidad fue ampliado, estableciendo la regla que el fabricante tiene la responsabilidad de inspeccionar los productos por defectos.

c) Intervención gubernamental

c.1) Intervención Directa del Gobierno

Desde la antigüedad, las autoridades del gobierno han intervenido directamente para reducir, mitigar o controlar Riesgos.

Una función del gobierno ha sido la de proteger a los ciudadanos de peligros contra los cuales no puede protegerse el mismo, y de ahí.

- la policia
- los bomberos
- el ejercito
- la armada

c.2) Desastres Naturales

Virtualmente todas las grandes civilizaciones antiguas han intervenido para mitigar los efectos de desastres.

Los registros históricos indican que los gobiernos han intervenido para desarrollar y financiar sistemas para controlar inundaciones incluyendo la construcción de presas, diques y canales.

Uno de los primeros registros históricos es sobre el sistema que tenían los antiguos egipcios para almacenar los excedentes de sus cosechas para combatir el hambre de los años cuando había escasez de cosechas por inundaciones o sequías del río Nilo.

Adicionalmente, para intentar prevenir o controlar los desastres, los gobiernos han también respondido proporcionando alivio después de ocurridos los desastres.

c.3) Enfermedades Epidémicas

A través de la historia se ha observado que los gobiernos han intentado mitigar los efectos de las enfermedades epidémicas; en muchos casos, la magnitud de los problemas ha sido catastrófica, p.e.

- La epidemia de la peste negra (plaga bubónica) mató más del 25% de la población de Europa (25 millones aprox.).

Por la falta de conocimiento de las causas de enfermedades tales como plagas y tifo, con frecuencia los gobiernos adoptan una de las más antiguas y directas estrategias para el control de enfermedades: cuarentenas y aislamiento.

El miedo de la lepra, ha causado a través de la historia, la adopción en gran escala de la práctica de aislar las zonas infectadas y limpiar o quemar sus ropas.

El miedo a la infección de las comunidades sanas ha hecho que se adopten medidas estrictas para evitar la entrada de bienes y personas de las comunidades infectadas.

En adición a las cuarentenas y a los esfuerzos de salud pública, el desarrollo de las vacunas en los siglos XVIII y XIX tuvo un impacto grande en el problema; a pesar que los gobiernos solo jugaron un papel pequeño en este desarrollo, es interesante notar que las regulaciones al respecto han sido emitidas por los gobiernos.

c.4) Contaminación

La contaminación del aire, agua y suelo ha sido reconocido como un problema, pero los esfuerzos para controlarla fueron muy esporádicos.

Desde los tiempos antiguos la contaminación del aire (por polvo y humo del quemado de carbón y madera), ha sido un problema ubicuo en las áreas urbanas congestionadas.

El primer acto de intervención gubernamental ocurrió en el año de 1285, cuando el Rey Eduardo I de Inglaterra respondió a las peticiones de la nobleza y otras preocupaciones por el humo de carbón en Londres, estableciendo una comisión que estudiara el problema; en 1298 los herreros decidieron voluntariamente no quemar carbón durante la

noche. Este esfuerzo no fue suficiente y en 1307 emitió una proclama real prohibiendo el uso de carbón en hornos.

La historia del control de la contaminación del agua y suelo, también fue esporádica. Hace tres mil años, los gobiernos de Minoa y Creta construyeron sistemas de drenaje de alcantarillado comunitario y algunos ciudadanos se beneficiaron con ello.

Atenas y otras ciudades griegas también construyeron sistemas de alcantarillado y decretaron leyes requiriendo que la materia de desecho se lleve una cierta distancia fuera de las paredes antes de ser tirado.

Los antiguos romanos tienen el crédito del desarrollo del sistema sanitario mas extenso consistente en calles pavimentadas, cunetas y un complejo de túneles y acueductos. También decretaron leyes estrictas para controlar las malas obras y la disposición de productos de desecho.

Después de la caída del imperio romano muchas de éstas leyes fueron olvidadas y sus estructuras deterioradas y destruidas.

El interés para controlar la contaminación resurgió en los siglos XIV y XV, cuando en respuesta a la expansión de las enfermedades contagiosas, en Europa se creo un sistema rudimentario de control de contaminación y sanidad, que incluía:

- El desarrollo de suministro de agua pura
- Disposición de la basura y drenajes
- Estaciones de observación
- Hospitales
- Procedimientos de desinfección
- Inspección de alimentos

Estos esfuerzos públicos por la salud fueron muy poco efectivos y hubo muy poco cambio hasta el siglo XIX. Un factor que contribuyó a los cambios en el siglo XIX fueron un número informes patrocinados por los gobiernos, documentando las pésimas condiciones de las ciudades Europeas y EUA. También se crearon organizaciones para hacer investigaciones sanitarias e inquirir con respecto a la gente sobre:

- Las causas de enfermedades, especialmente las epidémicas
- Las fuentes de mortalidad
- Los efectos sobre la salud pública de las localidades, empleos, condiciones y circunstancias
- Compartir información con respecto a estos asuntos, para difusión entre la gente.

Lo anterior llevó a un mejoramiento importante de las localidades sobre:

- Pavimentación de calles
- Recolección de basura
- Purificación de agua
- Distribución de agua
- Disposición de alcantarillados

c.5) Contaminación y Adulteración de Alimentos

Prácticamente todas las sociedades se han preocupado por la seguridad acerca del suministro de alimentos, que es la sustancia básica para la vida.

La abominación bíblica del levítico, especialmente la prohibición de comer puerco, con frecuencia se cita como los primeros intentos de controlar la seguridad de los alimentos.

Aparte de la prohibición bíblica, la primera ley importante decretada para regular la calidad de la alimentación fue la inglesa sobre el pan (English Assize of Bread en 1263) que hacia ilegal vender cualquier alimento "nocivo para el cuerpo del hombre". Este estatuto es prácticamente igual a las normas actuales que prohíben aditivos que "puedan hacer los alimentos perjudiciales a la salud".

c.6) Códigos sobre Edificios e Incendios

El primer registro que se tiene sobre los intentos de manejar los riesgos en edificios, a través de la regulación gubernamental es quizá el Código de Hammurabi (1950 a.C. aproximadamente) que decretaba que si una casa se colapsaba y mataba a los ocupantes, el constructor de la casa debía perder su propia vida. Los romanos, aunque no tan estrictos, también decretaron leyes para regular la calidad de la construcción de edificios.

Además de los riesgos de construcción, prácticamente todas las sociedades han estado preocupadas con los riesgos de incendios, sin embargo, a pesar de esta preocupación parece ser que un esfuerzo concertado del gobierno para tratar con el problema no ocurrió hasta el siglo XVII.

El evento de mayor significancia en estimular a las autoridades gubernamentales a actuar fue el gran incendio de Londres en 1666 que destruyó mas de las tres cuartas partes de los edificios de la ciudad.

Como resultado del desastroso incendio anterior, en todas las grandes ciudades de Europa y América se establecieron compañías extinguidoras de incendios durante los siguientes cien años.

c.7) Accidentes de Transportación

La regulación de los sistemas de transportación, con relación a la seguridad, prácticamente data de las tecnologías mecanizadas de transportación moderna.

No obstante lo anterior, se tienen antecedentes sobre las regulaciones de seguridad de tráfico al menos desde la antigua Roma, en donde una ley municipal, durante Julio Cesar, prohibía a todos los vehículos con ruedas operar en Roma entre la salida del sol y dos horas antes de la puesta del sol, excepto para el servicio público esencial; ésta ley era en beneficio de los peatones para quienes la combinación de calles estrechas y tráfico pesado era un riesgo genuino

El carácter altamente regulado del sistema de transportación moderno fue para responder a los primeros desarrollos tecnológicos

La primera regulación sobre un Riesgo tecnológico, ocurrió en EUA en 1838 en la legislación de las calderas que gobernaban su:

- Prueba
- Inspección
- Responsabilidad

Esta legislación fue decretada en respuesta a una serie de explosiones de Calderas de barcos de vapor (de ríos) que produjo miles de lesiones y muertes al principio del siglo XIX. Esta legislación fue demasiado laxa para producir una reducción efectiva del Riesgo, por lo que fue reemplazada por una legislación mas estricta en 1858. En esta ley se:

- Especificaban criterios de ingeniería de seguridad.
- Daba autoridad a los inspectores para examinar los buques y rechazar licencias.
- Creaba una agencia reguladora (The Board of Directors of Inspectors).

Hasta la última parte del siglo XIX, el buque de vapor fue la tecnología de transportación dominante, cuando fue reemplazada por el FF.CC.; las discusiones sobre los riesgos de esta última tecnología de transportación claramente refleja los amplios valores sociales.

Al principio del siglo XX las discusiones acerca del automóvil, también reflejaron la amplia preocupación social asociada con éste riesgo.

Tanto para el FF.CC. como el automóvil y después los aviones, el riesgo sustancial, intrínseco asociado con este modo de transportación llevó rápidamente el desarrollo de un esquema de regulación, que siendo mucho mas estricto hoy que en las primeras versiones, en esencia no es diferente en sus conceptos.

c.8) Daños Ocupacionales

Antes de los siglos XVIII y XIX la salud y seguridad ocupacional fueron solo de muy poca preocupación de las autoridades gubernamentales.

A pesar que las condiciones de trabajo en lo general fueron detestables, no fue sino hasta la Revolución Industrial cuando los gobiernos intervinieron; la mayoría de los primeros esfuerzos de las autoridades fueron enfocadas a las condiciones de trabajo de los niños.

En 1842 se estimaba que una tercera parte de los trabajadores de las minas en Inglaterra tenían menos de 13 años.

La mayoría de los esfuerzos de reforma tuvieron al inicio fuerte resistencia por los propietarios de fábricas y minas, aunque hubo algunas notables excepciones.

Simultáneamente con los mejoramientos en las condiciones de trabajo, también hubo cambios significativos en la forma como la sociedad trataba con los accidentes relacionados con el trabajo y las enfermedades ocupacionales; al final del siglo XIX y principios del XX, se decretaron estatutos y leyes para compensación de trabajadores.

Bajo estas leyes, los requerimientos para demostrar negligencia o falla de los empleados fueron repudiados para la mayoría de los daños ocupacionales y un empleado tenía derecho a compensación en base a un porcentaje de salarios perdidos.

d) Auto-regulación del sector privado

La auto-regulación privada voluntaria dirigida a prevenir o reducir los efectos potenciales adversos a la salud, siempre ha tenido una parte importante en los esfuerzos de la sociedad para manejar el riesgo.

En prácticamente todas las sociedades ha habido fuertes incentivos para el sector privado de abstenerse de acciones que podrían descuidadamente comprometer la salud del público.

Dichos incentivos van desde normas y valores morales y altruistas al simple interés basado en miedo a:

- Pérdidas monetarias
- Posible litigación civil o criminal
- Acciones gubernamentales punitivas o restrictivas

Las actividades privadas de manejo de riesgo son menos obvias públicamente que otras estrategias de manejo de riesgo; las dos formas más visibles de esta estrategia son:

- Auto-regulación industrial
- Certificación y licenciamiento

Ambos tipos de auto-regulación voluntaria tienen algunos antecedentes históricos antes del final del siglo XIX y principios del siglo XX.

d.1) Auto-regulación Industrial

La confianza en los estándares privados desarrollados, esta difundida a nivel local y en áreas como seguridad contra-incendios y provisiones de servicios eléctricos, edificios, calderas, plomería y similares.

Tal confianza, es una necesidad dadas las características técnicas limitadas y recursos financieros disponibles a niveles locales de gobierno. Hay dos condiciones esenciales para el uso exitoso de este tipo de estrategia en el manejo del riesgo:

- Los riesgos y tecnologías involucradas deben ser bien comprendidas.
- La responsabilidad potencial debe ser suficientemente significativa para forzar un método industrial responsable a la reducción del riesgo.

Los mecanismos más importantes para la auto-regulación industrial son:

- Organizaciones de elaboración de estándares o normas
- Sociedades técnicas y profesionales
- Sociedades industriales y comerciales
- Laboratorios de pruebas.

Estas organizaciones establecen normas basadas en consensos que cubren una amplia variedad de:

- Productos
- Materiales
- Sistemas
- Servicios
- Procesos
- Prácticas

En su mayor parte las organizaciones fueron fundadas a finales del siglo XIX y principios del siglo XX con el reconocimiento creciente de los peligros asociados con el incremento de la industrialización; estas organizaciones elaboradoras de estándares incluyen:

- ASME, fundada en 1880
- UL, fundada en 1894
- NFPA, fundada en 1896
- ASTM, fundada en 1898
- ANSI, fundada en 1918

d.2) Certificación y Licenciamiento

Antes del inicio de este siglo, la Certificación y Licenciamiento se uso poco como una forma de manejo de riesgo, aún en áreas fuertemente reguladas y riesgosas como la medicina.

El sistema de licenciamiento que se ha desenvuelto ha sido con frecuencia criticado como al servicio de auto-intereses económicos (p.e. para excluir a la competencia) tanto como proteger la salud y seguridad pública.

1.5 Cambios importantes entre el pasado y el presente

Las formas contemporáneas de pensamiento y de lucha contra los riesgos son diferentes en muchos aspectos de los primeros tiempos.

En este siglo, y en especial en las últimas décadas han tenido lugar cambios mayores en:

- La naturaleza de los riesgos que enfrenta la sociedad.
- El contexto político y social del análisis de riesgos.
- Los esfuerzos de manejo de riesgos

Los cambios mas importantes entre el pasado y el presente para el análisis y manejo de riesgos son los siguientes.

1.5.1 Cambio en la Naturaleza de los Riesgos.

En 1900, las principales causas de muerte eran enfermedades infecciosas como neumonía, gripes y tuberculosis.

En 1940 las enfermedades infecciosas fueron desplazadas por dos enfermedades de adultos: males del corazón y cáncer.

Ha habido un cambio sustancial en la clasificación de accidentes como causa de muerte y un cambio en los tipos de accidentes a los cuales las personas están sujetas.

Los peligros naturales aún causan daño sustancial a la propiedad, pero en las naciones industrializadas dichos eventos solo significan un pequeño número de muertes anuales. Mientras que estos tipos de accidentes han ido declinando en significancia, otros tipos se han incrementado.

En 1900 el número de accidentes automovilísticos era insignificante, sin embargo, en 1990 se cuentan por decenas de miles

1.5.2. Incremento en las expectativas promedio de vida

Los años promedio de vida se han incrementado en la siguiente forma:

- En los tiempos prehistóricos - 18 años
- Durante el Imperio Romano - 20 a 30 años
- En la edad media - 33 años
- En 1900 - 50 años
- En la actualidad -75 años

Los factores que han llevado a este incremento son complejos, pero ciertamente incluyen un mejoramiento sustancial en:

- Nutrición
- Higiene
- Sanidad
- Condiciones de trabajo
- Educación
- Estándares de vida
- Servicios médicos

1.5.3 Incremento en nuevos Riesgos

Ha habido un incremento en nuevos riesgos, fundamentalmente diferentes tanto en carácter como en magnitud; estos incluyen:

- Guerra nuclear
- Accidentes de plantas nucleoelectricas
- Desechos radioactivos
- Exposición a químicos y pesticidas sintéticos
- Derrames de super tanques
- Accidentes de plantas químicas y de almacenamientos
- Accidentes de laboratorio de recombinación del DNA
- Depleción de la capa de ozono debido a la emisión de fluorocarbono
- Lluvia ácida

La magnitud de muchos de éstos riesgos no puede estimarse fácilmente debido a que los datos históricos o actuales no existen o son extremadamente difíciles de recolectar; adicionalmente la relación causa-efecto es con frecuencia altamente problemática en estos riesgos.

Probablemente la mayor importancia es que muchos de estos nuevos riesgos son:

- Latentes
- De largo plazo
- Involuntarios
- Irreversibles

Al menos algunos son concebidos globalmente catastróficos y la mayoría son derivados de la ciencia y la tecnología.

1.5.4 Incremento en la habilidad de los científicos para identificar y medir Riesgos

Estos mejoramientos incluyen grandes avances en:

- Pruebas de laboratorio, p.e. bioensayos en animales y pruebas "en vitro"
- Métodos epidemiológicos
- Modelación ambiental
- Simulación en computadora
- Ingeniería de evaluación de riesgos, p.e. árboles de fallas y eventos

Debido a éstos avances, los científicos están ahora capacitados para detectar:

- Fallas de diseño en sistemas de ingeniería extremadamente complejos.
- Relaciones causales débiles entre riesgos y salidas mortales.
- Cantidades infinitesimales (p.e., partes por billón) de sustancias potencialmente cancerígenas o mutagénicas.

1.5.5 Incremento en el número de científicos y analistas cuyo trabajo está enfocado a Riesgos a la salud, seguridad y ambiente

En los años recientes, los estudios de riesgos han surgido como una disciplina y profesión identificable, con sus propias sociedades, reuniones anuales, revistas y participantes.

Solo en la última década la literatura de estudios de riesgos ha crecido desde un pequeño número de artículos y libros hasta una formidable colección de material.

1.5.6 Incremento en el número de estudios cuantitativos de riesgos que se producen y usan

En el pasado, las decisiones para el manejo de riesgos estaban basadas primariamente en:

- Sentido común.
- Conocimiento original.
- Prueba y error.
- Conocimientos no científicos
- Creencias.

En años recientes, las decisiones para el manejo de riesgos, basándose en estudios cuantitativos de riesgos altamente técnicos, se han incrementado.

El incremento en un crecimiento a las preferencias de la sociedad por:

- La planeación
- Los pronósticos
- Alarmas tempranas

Lo anterior en contraste a las respuestas "ad hoc" a las crisis.

1.5.7 Incremento en el papel del Gobierno en la evaluación y manejo de Riesgos

Los mayores incrementos del papel del Gobierno han sido:

- El número de leyes de salud, seguridad y ambiental.
- El número de oficinas para el manejo de riesgos de salud, seguridad y ambientales.
- El número de casos de decisiones legales sobre salud, seguridad y ambientales.

A pesar que se han hecho intentos para revertir ésta tendencia, varios factores han contribuido para su continuación, p.e.:

- El incremento en la conciencia nacional sobre la salud, seguridad y ambiental.
- Una declinación en el nivel de confianza del público en las negociaciones.
- El surgimiento de los movimientos de interés público.
- El crecimiento de una sociedad compleja, interdependiente y altamente tecnológica.

Otros factores adicionales que han llevado a la continuación de la regulación estatal incluyen los siguientes

- Un acelerado cambio tecnológico que resulta en un enorme incremento en la escala física y temporal de riesgos complejos (p.e. hay aproximadamente 70,000 sustancias químicas en uso y unas 1,000 nuevas se introducen cada año).
- Un incremento en la rapidez de los desarrollos científicos y tecnológicos, de forma que hay un espacio mas corto de tiempo entre la experimentación científica, el desarrollo tecnológico y la producción.
- El incremento del papel del gobierno como un productor de riesgos a través de sus patrocinios de investigación y desarrollos científicos y tecnológicos.

1.5.8 Incremento en la participación de los grupos de interés especial en el manejo social del Riesgo

Las actividades de manejo y análisis de riesgos se han tornado mas politizadas, con virtualmente cada decisión mayor sobre salud, seguridad y ambiental, sujeta a intenso cabildeo por grupos de interés representando a:

- La industria
- Obreros, trabajadores
- Ambientalistas
- Organizaciones científicas
- Otros grupos.

No solo ha habido un incremento sustancial en el número de estos grupos y sus miembros, sino también un aumento importante en su sofisticación científica y modos de operar; éstos cambios han contribuido por lo menos a otros dos:

- Se ha vuelto mas necesario para los que toman decisiones gubernamentales, consultar a los representantes de dichos grupos y hacer del análisis de riesgo una información pública disponible.
- La natural animosidad a la mayoría de los debates de los riesgos contemporáneos, de las personas no especialistas en análisis técnico de riesgos y la amplia publicidad de los debates entre científicos, con frecuencia acalorados.

1.5.9 Incremento en el interés público, preocupación y demanda de protección

A pesar del incremento en las expectativas de vida promedio, la reducción en la frecuencia de eventos catastróficos y el aseguramiento de que la salud de la gente es ahora mejor, las investigaciones muestran que la gente cree que su vida se ha vuelto mas riesgosa

Las investigaciones sugieren que, la correlación primaria de la preocupación pública, no son la mortalidad o insalubridad, sino características como:

- Efectos potencialmente catastróficos
- No comprensión y no familiares
- No voluntarios
- Incertidumbre científica
- Pérdida de control personal por los individuos expuestos
- Riesgos para futuras generaciones
- Beneficios no claros
- Distribución inequitativa de Riesgos y beneficios
- Efectos potencialmente irreversibles.

Los que poseen éstas características son precisamente la mayoría de los Riesgos mas prominentes actuales, por ejemplo:

- Accidentes de plantas nucleoelectricas
- Desechos radioactivos
- Caída de aviones
- Exposición a quimicos tóxicos

- Depleción del ozono
- Exposición a bajos niveles de radiación
- Recombinación del DNA
- Lluvia ácida

Algunos factores adicionales que contribuyen a la elevación de dicha preocupación pública, incluyen los siguientes:

- Mejor información pública
- Al parecer descubrimientos científicos semanales de Riesgos previamente desconocidos.
- Avances en la tecnología de comunicación que llevan a difundir e intensificar la cobertura de los problemas de Riesgos.
- Elevación de las expectativas acerca de la habilidad de la ciencia y tecnología para controlar los Riesgos.
- Pérdida de confianza en la mayoría de las instituciones que manejan Riesgos en la sociedad industrializada contemporánea, especialmente los negocios y el gobierno.

1.6 Proyecciones futuras

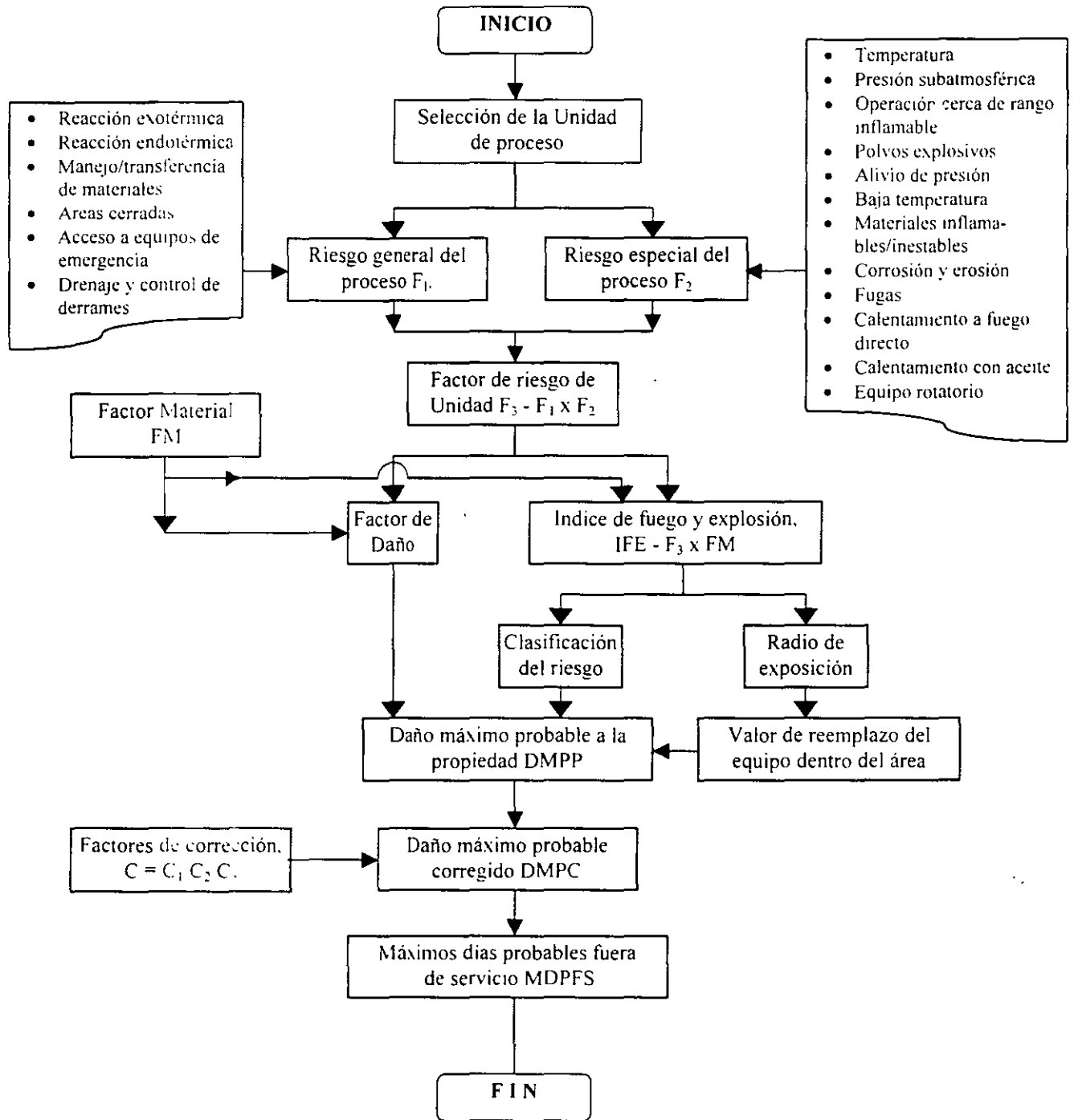
El hacer proyecciones acerca del futuro es siempre una empresa riesgosa, especialmente en una área tan compleja como el análisis y manejo de riesgos, sin embargo, una perspectiva histórica sugiere ciertas tendencias que pueden razonablemente ser esperadas en un futuro próximo. Algo de lo que puede esperarse es que:

- Continuará incrementándose la preocupación pública acerca del riesgo a pesar de la tendencia simultánea hacia una vida mas larga y saludable.
- Parte de lo anterior se debe a la naturaleza cambiante del riesgo que enfrenta la sociedad moderna, incluyendo el aumento en el número de "misteriosos" peligros tecnológicos que producen terror, por las consecuencias potencialmente catastróficas.
- El cambio mas profundo puede ser el aumento predominante de la idea que los daños, muertes y enfermedades no son actos de dios que deben ser aceptados fatalísticamente, sino eventos evitables sujetos a algún grado de control humano. En perspectiva este cambio implica que algo puede ser hecho acerca de la mayoría de los riesgos
- Paralelo a éste cambio está la implicación de que algo debe ser hecho, derivado en parte de las ideas cambiantes acerca del derecho de los individuos a vivir sus vidas libre de riesgos impuestos por otros y acerca del papel del gobierno de protegerlos de dichos riesgos
- El mejoramiento de las capacidades científicas, técnicas y de ingeniería deben llevar a un mejoramiento constante en la habilidad para controlar, reducir o eliminar los riesgos. Esto también se espera que lleve a un incremento continuo en el número de riesgos identificados. A corto plazo, el mejoramiento de la capacidad en el manejo de riesgos, será sobrepasado por el mejoramiento en la capacidad de identificación de riesgos. Esto no necesariamente llevará a sentir mayor comprensión o control de los riesgos.
- Aún de cara a las perspectivas de mejoramiento para una vida más larga y saludable, es muy posible que el mundo probabilístico y de incertidumbre creado por la ciencia y tecnología moderna sea un lugar cada vez mas incómodo y riesgoso

Ya en la actualidad el mejoramiento de la ciencia ha traído más preguntas que las que ha resuelto sobre los posibles riesgos de nuevos y familiares objetos, sustancias y actividades.

2. INDICE DOW (DE FUEGO Y EXPLOSION)

2.1 Flujograma



2.2 Factor de material FM

Es una medida de la intensidad de energía liberada por la sustancia o compuesto; se consideran los riesgos de inflamabilidad y reactividad. Tiene un valor entre 1 y 40, que puede obtenerse de tablas o mediante cálculo.

2.3 Riesgos generales del proceso F₁

Condiciones que pueden incrementar la magnitud de un probable incidente y que incluyan:

- A. Reacciones exotérmicas (0.30 a 1.25)
- B. Reacciones endotérmicas (0.10 a 0.40)
- C. Manejo/transferencia de materiales (0.25 a 0.85)
- D. Areas cerradas del proceso (0.30 a 90)
- E. Acceso a equipo de emergencia (0.20 a 0.35)
- F. Drenaje y control de derrames (0.25 a 0.50)

El valor de F₁ se calcula en la siguiente forma:

$$F_1 = 1 + (A + B + C + D + E + F)$$

2.4 Riesgos especiales del proceso F₂

Algunas características del proceso pueden incrementar la magnitud de un probable incidente, entre las que se incluyen:

- A. Materiales tóxicos (0.20 a 0.80)
- B. Presión subatmosférica (0.50)
- C. Operación en o cerca del rango inflamable
 - Tanque de almacenamiento (0.50)
 - Falla de control o de purga (0.30)
 - Equipo en o cerca del rango inflamable (0.80)
- D. Polvos explosivos (0.25 a 2.00)
- E. Alivio de presión. Se obtiene de una gráfica en función de el ajuste del dispositivo de alivio (0 a 1.0) modificado en función de las características del fluido
- F. Baja temperatura (0.20 a 0.30)
- G. Cantidad de material inflamable/inestable. Se obtiene por medio de gráficas en función del calor total en Btu para líquidos y gases, y en función de la cantidad en libras para combustibles sólidos en almacenamiento.
 - Líquidos o gases en proceso
 - Líquidos o gases en almacenamiento
 - Sólidos almacenados
- H. Corrosión y erosión (0.10 a 0.75)
- I. Fugas en juntas y empaques (0.10 a 1.50)
- J. Equipo calentado a fuego directo. Se obtiene a partir de una gráfica que esta en función de la distancia de la fuente de fuga y la temperatura del proceso (0.10 a 1.0)
- K. Transferencia de calor con aceite (0.15 a 1.15)
- L. Equipo rotatorio

El valor del factor de riesgos especiales del proceso F_2 se calcula en la siguiente forma:

$$F_2 = 1 + (A + B + C + D + E + F + G + H + I + J + K + L)$$

2.5 Factor de riesgo de la unidad F_3

Es la medida de la magnitud del daño probable, debido a la exposición a la combinación de factores, tiene un valor entre 1 y 8, y se calcula en la siguiente forma:

$$F_3 = F_2 \times F_1$$

2.6 Factor de daño

Es una indicación de la magnitud del daño probable; se obtiene a partir de una gráfica que está en función del factor de riesgo de la unidad F_3 y del factor de material FM.

2.7 Índice de fuego y explosión IFE

Es la probabilidad de daño por fuego o explosión en una área de cierto radio; se calcula en la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \text{IFE} &= \text{FM} \times F_3 \\ &= \text{Factor de material} \times \text{Factor de riesgo de la unidad.} \end{aligned}$$

2.8 Clasificación del riesgo

Se efectúa de acuerdo con el IFE en la siguiente forma:

| IFE | | CLASIFICACION DEL RIESGO |
|------------|-------|--------------------------|
| 1 a 60 | ----- | Ligero |
| 61 a 96 | ----- | Moderado |
| 97 a 127 | ----- | Intermedio |
| 128 a 158 | ----- | Grave |
| más de 158 | ----- | Severo |

2.9 Radio de afectación

Se obtiene a partir de una gráfica en función del valor obtenido del IFE.

2.10 Valor de reemplazo del equipo (dentro del área afectada)

Se obtiene de acuerdo con la siguiente ecuación

Valor de reemplazo = Costo original x 0.82 x Factor de escalación
en donde:

0.82 = Factor de corrección por partes no sujetas a reemplazo como preparación del sitio, cimentación, ingeniería, líneas subterráneas, etc.

2.11 Daño máximo probable a la propiedad (DMPP)

Se obtiene en la siguiente forma:

DMPP = (Valor de reemplazo + valor de inventarios) x Factor de daño

en donde el valor de inventarios incluye productos, materiales y materia prima, considerando el 80% de la capacidad de tanques de almacenamiento, 70% de la capacidad de bodegas y la capacidad de diseño de los recipientes y líneas del proceso.

2.12 Factores de corrección por medidas de control ($C = C_1 \times C_2 \times C_3$)

Son medidas de seguridad que contribuyen a minimizar la exposición de una área en donde pueda ocurrir un riesgo o bien a reducir la probabilidad o magnitud del riesgo. Se dividen en los tres grupos siguientes.

2.12.1 Control del proceso (C_1)

- A. Energía de emergencia (0.98)
- B. Sistemas de enfriamiento (0.97 a 0.99)
- C. Control de explosiones (0.84 a 0.98)
- D. Paro de emergencia (0.96 a 0.99)
- E. Control computarizado (0.93 a 0.99)
- F. Gas inerte (0.94 a 0.96)
- G. Procedimientos de operación (0.91 a 0.99)
- H. Análisis de reactivos (0.85 a 0.96)

El factor de corrección por control del proceso C_1 se calcula en la siguiente forma:

$$C_1 = (A + B + C + D + E + F + G + H)$$

2.12.2 Aislamientos (C_2)

- A. Válvulas de control remoto (0.96 a 0.98)
- B. Descargas de emergencia (0.96 a 0.98)
- C. Drenajes (0.91 a 0.97)
- D. Bloqueos o interlock (0.96)

El factor de corrección por aislamientos C_2 se calcula en la siguiente forma:

$$C_2 = (A + B + C + D)$$

2.12.3 Protección contra incendio C_3

- A. Detección de fugas (0.90 a 0.97)
- B. Acero estructural (0.92 a 0.97)
- C. Tanques recubiertos (0.75 a 0.85)
- D. Suministro de agua (0.90 a 0.95)
- E. Sistemas de extinción especiales (0.85)
- F. Sistemas de rociadores (0.95)
- G. Cortinas de agua (0.95 a 0.97)

- H. Espuma (0.87 a 0.98)
- I. Extinguidores portátiles (0.92 a 0.97)
- J. Protección de cables (0.90 a 0.96)

El factor de corrección por protección contra incendio C_3 se calcula en la siguiente forma:

$$C_3 = (A + B + C + D + E + F + G + H + I + J)$$

El factor de corrección total C por medidas de control se calcula en la siguiente forma:

$$C = C_1 \times C_2 \times C_3$$

2.13 Daño máximo probable corregido o real (DMPC)

Se calcula multiplicando el DMPP por un factor obtenido de una gráfica en función del factor de corrección C, es decir:

$$DMPC = DMPP \times \text{Factor (de gráfica en función de C)}$$

2.14 Máximos días probables fuera de servicio (MDPFS)

Es el tiempo que estará fuera de servicio la unidad por reparaciones y reemplazos. Se obtiene a partir de una gráfica que está en función del DMPC.

2.15 Interrupción de negocios IN

Es la consecuencia final y puede estimarse mediante la siguiente relación.

$$IN = \frac{MDPFS}{30} \times \text{valor del producto terminado} \times 0.70$$

2.16 Resultados

Los resultados del análisis se presentan en forma tabular como la mostrada a continuación.

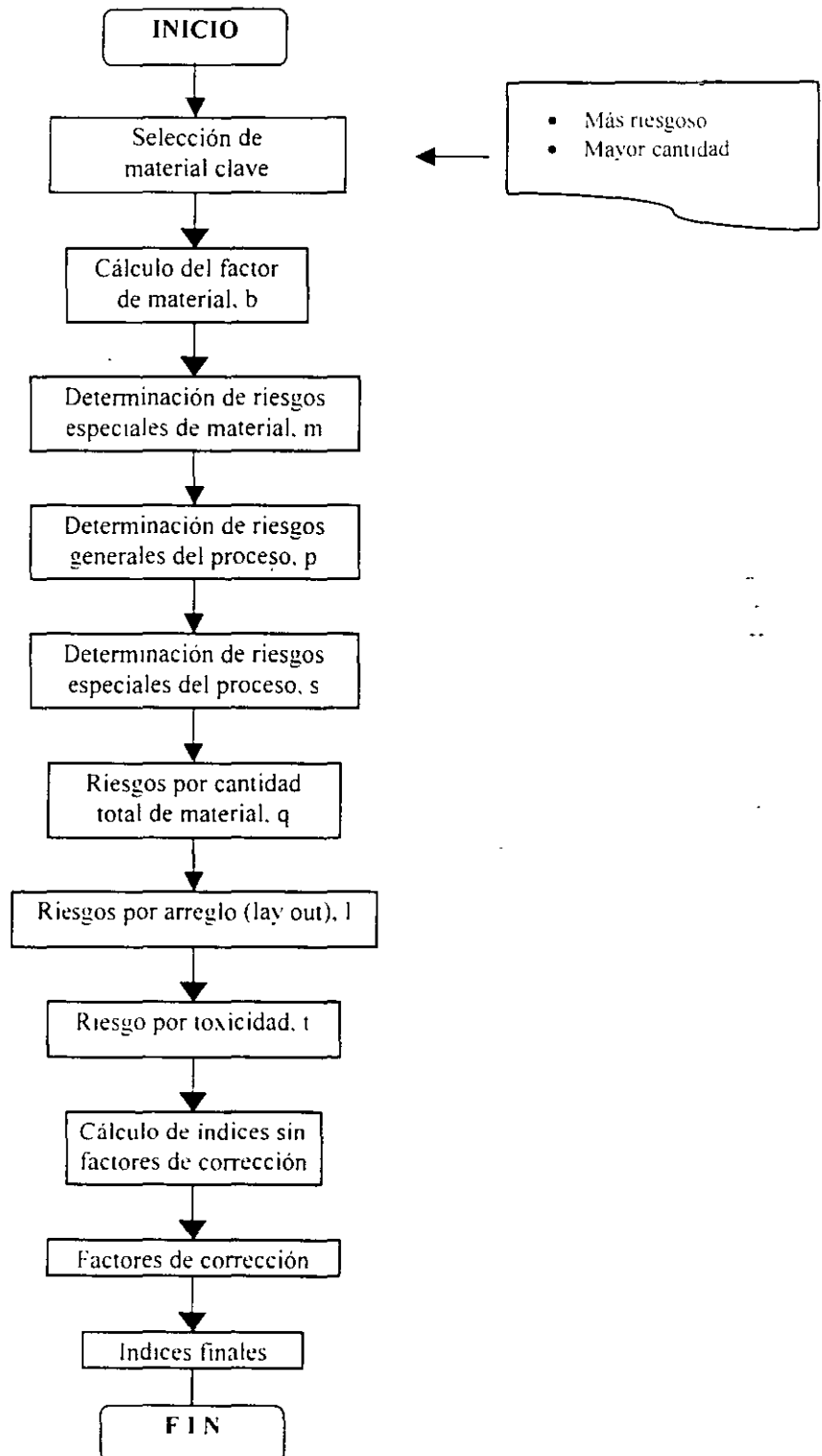
INDICE DOW DE FUEGO Y EXPLOSION

DOW Index (6th Edition) -DOW Chemical

| | | | |
|---|--|-------------------|-------------|
| AREA: | | UNIDAD: | |
| PROCESO: | | FECHA: | |
| MATERIALES: | | | |
| CATALIZADORES | | SOLVENTES: | |
| FACTOR MATERIAL | | | |
| MATERIAL CLAVE: | | FM (Original): | |
| Inflamabilidad: | | Reactividad: | |
| Temp >F P (S/N): | | Temp >Extrm(S/N): | |
| | | Temp.>A.I(S/N): | |
| | | FM (Ajustado): | |
| 1 RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (F1). | | | |
| Base del Factor | | | 1.0 |
| A) Reacción exotérmica (0.30 - 1.25) | | | |
| B) Reaccion endotérmica (0 10 - 04) | | | |
| C) Manejo/transferecia de materiales (0 25 - 0.85) | | | |
| D) Areas cerradas de proceso (0.30 - 0 90) | | | |
| E) Acceso a equipo de emergencia (0.20 - 0.35) | | | |
| F) Drenaje y control de derrames 80 25 - 0.50) | | | |
| SUMA DE FACTORES POR R.G.P | | F1= | |
| 2 RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO (F2): | | | |
| Base del Factor | | | 1 0 |
| A) Materiales toxicos (0 20 - 0 80) | | | |
| B) Presion subatmosférica (0 50) | | | |
| C) Operacion cerca de rango inflamable. | | | |
| - Tanques de almacenamiento (0.50) | | | |
| - Falla de control o de purga (0 30) | | | |
| - Equipo en/cerca de rango inflamable (0.80) | | | |
| D) Explosión de polvos (0.25 - 2 00) | | | |
| E) Añico de presión | | | |
| F) Baja temperatura (0 20 - 0.30) | | | |
| G) Cantidad de materiales inflamables/inestables: | | | |
| Liquidos o gases en proceso | | | |
| - Liquidos o gases en almacenamiento | | | |
| - Polvos o sólidos almacenados | | | |
| H) Corrosion y erosión (0 10 - 0 75) | | | |
| I) Fugas - Juntas y empaques (0 10 - 1.50) | | | |
| J) Calentadores a fuego directo | | | |
| K) Calentamiento por transf de aceite (0 15 - 1 15) | | | |
| L) Equipo rotatorio (0 50) | | | |
| SUMA DE FACTORES POR R E P | | F2 = | |
| 3. FACTOR DE RIESGO DE LA UNIDAD | | | F3 = |
| INDICE DE FUEGO Y EXPLOSION | | IFE = | |
| Radio de Exposición (ft): | | = | |
| Valor del área de exposicion (\$MM dils): | | = | |
| Factor de daño | | = | |
| Daño Máximo Probable base (\$MM dils) | | = | \$ |
| Clasificacion del Riesgo: | | | |

3. INDICE MOND (FUEGO, EXPLOSION Y TOXICIDAD)

3.1 Flujograma



3.2 Selección del material clave (mas riesgoso y en mayor cantidad)

- a) Listado de materiales, reacciones, características termodinámicas y fisicoquímicas.
- b) Selección del material clave.

3.3 Cálculo del factor material de, b

- a) Material inflamable $b=f$
 f (calor de formación) = $^{\wedge}hc/1000$ (btu/lb)
- b) Material no inflamable o no combustible en transporte
 $b = f$ (calor de formación) = $^{\wedge}hr*1.8/\text{peso molecular}$ (kcal/gmol)
- c) Material no combustible $b=0.1$

3.4 Determinación de riesgos especiales de material, m = suma de factores

- a) Material oxidante.
- b) Reacción con agua que produzca gases o vapores combustibles.
- c) Características de mezclado y dispersión = m.
- d) Sujeto a calentamiento espontáneo.
- e) Sujeto a rápida polimerización espontánea.
- f) Sensibilidad a la ignición.
- g) Sujeto a descomposición explosiva.
- h) Sujeto a detonación en fase de gas
- i) Propiedades de la fase condensada.
- j) Otros riesgos.

3.5 Determinación de riesgos generales de proceso, p = suma de factores

- a) Manejo y cambio físico solamente
- b) Reacción única
- c) Reacción única por etapas
- d) Múltiples reacciones en un mismo equipo
- e) Transferencia de material
- f) Contenedores transportables

3.6 Determinación de riesgos especiales de proceso, s = suma de factores

- a) Baja presión (<15 psi)
- b) Alta presión = p
- c) Baja temperatura - acero al carbón +10oc, -10oc.
- acero al carbón -10oc
- otros materiales.
- d) Alta temperatura - inflamabilidad
- materiales de construcción
- e) Corrosión y erosión.
- f) Fugas en juntas y empaques.
- g) Vibración, ciclos de carga. etc
- h) Procesamiento o reacciones difíciles de controlar.

- i) Operación cerca o dentro de los límites de inflamabilidad.
- j) Proceso con riesgo de explosión mayor que el valor promedio de riesgo.
- k) Polvos o mezclas riesgosas.
- l) Oxidantes altamente fuertes.
- m) Sensibilidad del proceso a la ignición.
- n) Riesgos electrostáticos
temperatura de proceso $t = k$

3.7 Riesgos por cantidad de material total, q

Cantidad en toneladas = k.

En toda unidad a estudiar, incluye tuberías, tanques y recipientes de proceso.

3.8 Riesgos por distribución de la unidad, l = suma de factores

Altura en m = h

área normal de trabajo en $m^2 = n$

- a) Diseño de estructuras.
- b) Efecto domino.
- c) Bajo tierra
- d) Drenaje superficial.
- e) Otros.

3.9 Riesgos por toxicidad, t = suma de factores

- a) TLV
- b) Forma de material.
- c) Riesgo de exposición corta
- d) Absorción por la piel.
- e) Factores físicos

3.10 Calculo de indices

- a) Indice general de riesgos

$$d = b (1 + m/100) * (1 + s + q + 1/100 + t/400) * (1 + p/100)$$

d = factor material (riesgo material) (r.g. proceso) (r.e. proceso, cantidad, distribución y toxicidad).

- b) Carga de fuego

$$f = b * k / n * 20\,500 \text{ btu/ft}^2 = f. \text{material} * \text{ton material} / \text{área de trabajo}$$

- c) Indice de toxicidad

$$u = t/100 * (1 + m + p + s/100) = \% \text{ r toxicidad,}$$

(r.material, g.proceso e.proceso)

- d) Indice de incidente mayor de toxicidad $c = q/u = r \text{ cant. Material, índice toxicidad.}$

e) Índice de explosión $e = 1 + m + p + s/100 = r$. material, g.proceso, e.proceso

f) Índice de explosión aérea.

$$a = b(1 + m/100) * (q * h * e) * t / 300 * 1 + p / 100$$

a= f, material, r.cant mant., altura, índice explosión caract. mezclado, temperatura, presión alta.

g) Índice total mond $r = d(1 + (f.u.e.a.)e 0.5/1000) = ig$

Riesgo corregido por carga de combustible, índice toxicidad, explosión y explosión aérea.

3.11 Factores de seguridad para corrección de índices.

3.11.1 Prevención de riesgos en almacenamiento, $k_1 =$ producto de factores.

- a) Recipientes a presión.
- b) Tanques verticales de almacenamiento no sujetos a presión.
- c) Líneas de transferencia-tensión de diseño-juntas y empaques.
- d) Contenedores adicionales.
- e) Detección y respuesta a fugas y derrames
- f) Desecho de material derramado.

3.11.2 Control de proceso, $k_2 =$ producto de factores.

- a) Sistemas de alarmas.
- b) Suministro de energía de emergencia.
- c) Sistemas de enfriamiento de proceso.
- d) Sistemas de gas inerte.
- e) Actividades de estudio de riesgos.
- f) Sistemas de seguridad para paros.
- g) Control por computadora.
- h) Protección contra explosión o reacción incorrecta
- i) Instrucciones de operación
- j) Supervisión de planta

3.11.3 Actitud de seguridad, $k_3 =$ producto de factores.

- a) Involucramiento de la gerencia.
- b) Entrenamiento de seguridad.
- c) Procedimiento de seguridad y mantenimiento.

3.11.4 Protección contra incendios, $k_4 =$ producto de factores.

- a) Recubrimiento a estructuras
- b) Barreras resistentes a fuegos
- c) Equipos de protección contra incendios.

3.11.5 Aislamiento de corte de material, $k_5 =$ producto de factores.

- a) Sistemas de válvulas.
- b) Ventilación.

3.11.6 Combate de incendios, k6 = producto de factores.

- a) Alarma de emergencia.
- b) Extinguidores.
- c) Red contra incendios.
- d) Espuma o inertización.
- e) Respuesta a la brigada
- f) Cooperación con otras plantas.
- g) Extractores de humo.

3.12 Cálculo de índices finales:

- a) Carga de fuego $f_1 = f_1 k_1 k_4 k_5$ corregido por prevención en almacenamiento, protección contra incendios, aislamiento material.
- b) Índice de explosión $e_1 = e_1 k_2 k_3$ corregido por el control de proceso y actitud en seguridad.
- c) Índice de explosión aérea $a_1 = a k_1 k_5 k_6$ corregido por prevención en almacenamiento, aislamiento de material y combate de incendios.
- d) Índice global mond $r_1 = r k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 k_6$.

3.13 Índices de riesgos Mond

3.13.1 General de Riesgo

| FACTOR GENERAL DE RIESGO | | CATEGORIA |
|--------------------------|-------------|-----------------|
| 0 _____ | 20 _____ | SUAVE |
| 20 _____ | 100 _____ | BAJO |
| 100 _____ | 500 _____ | MODERADO |
| 500 _____ | 1100 _____ | ALTO, GRUPO (1) |
| 1100 _____ | 2500 _____ | ALTO, GRUPO (2) |
| 2500 _____ | 12500 _____ | MUY ALTO |
| 12500 _____ | 65000 _____ | EXTREMO |
| >65000 _____ | _____ | MUY EXTREMO |

3.13.2 Carga de Fuego

| CANTIDAD DE FUEGO (F) EN BTU/FT2 DEL AREA NORMAL DE TRABAJO | | CATEGORIA |
|---|---------------|-----------|
| 0 _____ | 50000 _____ | LIGERO |
| 50000 _____ | 100000 _____ | BAJO |
| 100000 _____ | 200000 _____ | MODERADO |
| 200000 _____ | 400000 _____ | ALTO |
| 400000 _____ | 1000000 _____ | MUY ALTO |
| 1000000 _____ | 2000000 _____ | INTENSO |

2000000 _____
5500000 _____

5500000 _____
10000000 _____

EXTREMO
MUY EXTREMO

3.13.3 Toxicidad de la Unidad

INDICE UNITARIO DE TOXICIDAD

CATEGORIA

0 _____
1 _____
3 _____
6 _____
>10 _____

1 _____
3 _____
6 _____
10 _____

LIGERO
BAJO
MODERADO
ALTO
MUY ALTO

3.13.4 Toxicidad Mayor

INDICE DEL MAXIMO INDICE TOXICO

CATEGORIA

0 _____
20 _____
50 _____
200 _____
> 500 _____

20 _____
50 _____
200 _____
500 _____

LIGERO
BAJO
MODERADO
ALTO
MUY ALTO

3.13.5 Indice de Explosión

INDICE DE EXPLOSION INTERNA DE LA SECCION

CATEGORIA

0 _____
1 _____
2.5 _____
4 _____
> 6 _____

1 _____
2.5 _____
4 _____
6 _____

LIGERO
BAJO
MODERADO
ALTO
MUY ALTO

3.13.6 Indice de Explosión Aérea

INDICE DE EXPLOSION AEREA

CATEGORIA

0 _____
10 _____
30 _____
100 _____
> 500 _____

10 _____
30 _____
100 _____
500 _____

LIGERO
BAJO
MODERADO
ALTO
MUY ALTO

INDICE TOTAL MOND

| INDICE TOTAL MOND | | GRADO DE RIESGO |
|-------------------|-----------|-----------------------------|
| 0 _____ | 20 _____ | SUAVE |
| 20 _____ | 40 _____ | LIGERO |
| 40 _____ | 60 _____ | MODERADO |
| 60 _____ | 75 _____ | MODERADAMENTE ALTO |
| 75 _____ | 90 _____ | ALTO |
| 90 _____ | 115 _____ | EXTREMO |
| 115 _____ | 150 _____ | MUY EXTREMO |
| 150 _____ | 200 _____ | POTENCIALMENTE CATASTROFICO |
| >200 _____ | _____ | MUY CATASTROFICO |

3.14 Resultados

Los resultados del análisis se presentan en forma tabular como la mostrada en la Tabla siguiente.

| INDICE MOND PARA FUEGO, EXPLOSION Y TOXICIDAD | | | | HOJA 1 DE 2 | |
|--|--------|-------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-------|
| EMPRESA | PLANTA | SECCION DE PROCESO A ANALIZAR | FECHA | | |
| MATERIALES EN LA SECCION DE PROCESO | | | | | |
| 1 - FACTOR MATERIAL (F M) | | | | | |
| BASE PARA SELECCIÓN DEL FACTOR MATERIAL | | | | | |
| COMBUSTION | | DESCOMPOSICION | | REACCION | |
| | | | | PRESION DE EXPLOSION | |
| Formula utilizada | | Factor material (FM) | | | |
| 2 RIESGOS ESPECIALES DEL MATERIAL (REM) | | VALOR | 5 RIESGOS POR CANTIDAD (RPC) | | VALOR |
| A MATERIAL OXIDANTE (10 A 20) | | | VOLUMEN INVOLUCRADO (m3) | | |
| B REACCION PELIGROSA CON AGUA (0 A 30) | | | PESO INVOLUCRADO (Tons) | | |
| C MEZCLADO Y DISPERSION, 2C (-50 A 60) | | | FACTOR ASIGNADO (1 A 1000) | | |
| D COMBUSTION ESPONTANEA (30 A 250) | | | 6 RIESGOS POR ARREGLO (RPA) | | |
| E POLIMERIZACION ESPONTANEA (27 A 75) | | | ALTURA DE LA UNIDAD (m) | | |
| F SENSIBILIDAD A LA IGNICION (-75 A 150) | | | AREA DE TRABAJO (m2) | | |
| G DESCOMPOSICION EXPLOSIVA (125) | | | A DISEÑO ESTRUCTURAL (0 A 200) | | |
| H DETONACION GASEOSA (150) | | | B EFECTO DOMINO (0 A 250) | | |
| L FASE CONDENSADA (200 A 1500) | | | C SUBTERRANEAS (0 A 150) | | |
| J OTRAS (0 A 150) | | | D DRENAJE SUPERFICIAL 80 A 100) | | |
| SUMA DE FACTORES REM | | | E OTROS (0 A 250) | | |
| 3 RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (RGP) | | VALOR | SUMA DE FACTORES RPA | | |
| A MANEJO Y CAMBIOS FISICOS (10 A 60) | | | 7. RIESGOS POR TOXICIDAD | | VALOR |
| B. REACCION UNICA CONTINUA (25 A 50) | | | A TLV (0 A 300) | | |
| C REACCION UNICA BATCH (10 A 60) | | | B FORMA DEL MATERIAL (25 A 200) | | |
| D MULTIREACCIONES (10 A 75) | | | C. EXPOSICION CORTA (100 A 150) | | |
| E TRANSFERENCIA DE MATERIAL (0 A 75) | | | D ABSORCION POR LA PIEL (0 A 300) | | |
| F CONTENEDORES PORTATILES (10 A 100) | | | E FACTORES FISICOS (0 A 300) | | |
| SUMA DE FACTORES RGP | | | SUMA DE FACTORES RPT | | |
| 4 RIESGOS ESPECIALES DE PROCESO (REP) | | VALOR | 8 INDICES | | VALOR |
| A BAJA PRESION | | | GENERAL DE RIESGO | | |
| B ALTA PRESION (Pop = <input type="text"/>) (0 a 150) | | | CARGA DE FUEGO | | |
| C BAJA | | | TOXICIDAD DE LA | | |
| TEMPERA- | | | UNIDAD | | |
| TURA | | | TOXICIDAD MAYOR | | |
| D ALTA | | | EXPLOSION | | |
| TEMPERA- | | | EXPLOSION AEREA | | |
| TURA | | | TOTAL | | |
| E. CORROSION Y EROSION (0 A 150) | | | MOND | | |
| F FUGAS EN JUNTAS Y EMPAQUES (0 A 60) | | | 9 FACTORES DE CORRECCION | | |
| G. VIBRACION (0 A 50) | | | CONTROL DE CONTENEDORES (CEC) | | VALOR |
| H CONTROL DIFICIL DE PROCESO (20 A 300) | | | A RECIPIENTES A PRESION | | |
| I OPERACION RANGO INFLAMABLE (0 A 150) | | | B TANQUES VERTICALES | | |
| J RIESGO DE EXPLOSION MAYOR | | | ATMOSFERICOS | | |
| (AL PROMEDIO 40 A 100) | | | C TUBERIA | | |
| K POLVOS O NIEBLAS RIESGOSAS (30 A 70) | | | 1. Diseño por tensión | | |
| L OXIDANTES MUY FUERTES (0 A 300) | | | 2. Juntas y empaques | | |
| M SENSIBILIDAD A LA IGNICION (0 A 75) | | | D CONTENEDORES ADICIONALES | | |
| N. RIESGOS ELECTROSTATICOS (0 A 200) | | | E DETECCIÓN Y RESPUESTA A | | |
| SUMA DE FACTORES REP | | 49 | FUGAS | | |
| | | | F DESECHO DE MATERIAL FUGADO | | |
| | | | PRODUCTO FACTORES CEC | | |

| | |
|-------------------------|-------------|
| INDICE MOND PARA FUEGO, | HOJA 2 DE 2 |
|-------------------------|-------------|

| EXPLOSION Y TOXICIDAD | | | |
|--|--------|---------------------------------------|------------------|
| EMPRESA | PLANTA | SECCION DE PROCESO A ANALIZAR | FECHA |
| | | | |
| CONTROL DE PROCESO (CDP) | | VALOR | |
| A SISTEMAS DE ALARMAS | | B BARRERAS CONTRA INCENDIO | |
| B. ENERGIA DE EMERGENCIA | | C. PROTECCION A EQUIPOS | |
| C SISTEMA DE ENFRIAMIENTO | | PRODUCTO DE FACTORES PCI | |
| D. SISTEMA DE GAS INERTE | | AISLAMIENTO DE MATERIALES (ADM) | VALOR |
| E ACTIVIDADES DE ANALISIS DE RIESGOS | | A SISTEMAS DE VALVULAS | |
| F. SISTEMAS DE PARO | | B VENTILACION | |
| G CONTROL POR COMPUTADORA | | PRODUCTO DE FACTORES ADM | |
| H PROTECCION CONTRA REACCION PELIGROSA O EXPLOSION | | COMBATE DE INCENDIOS (CDI) | VALOR |
| I. INSTRUCCIONES DE OPERACION | | A ALARMA DE EMERGENCIA | |
| J SUPERVISION DE PLANTA | | B EXTINGUIDORES PORTATILES | |
| PRODUCTO DE FACTORES CDF | | C. SUMINISTRO DE AGUA CONTRA INCENDIO | |
| ACTITUD DE SEGURIDAD (ADS) | VALOR | D SISTEMAS DE ROCIADORES | |
| A INVOLUCRAMIENTO DE LA GERENCIA | | O MONITORES | |
| B ENTRENAMIENTO DE SEGURIDAD | | E ESPUMA Y GAS INERTE | |
| C PROCEDIMIENTO DE SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO | | F. BRIGADA | |
| PRODUCTO DE FACTORES CDS | | G APOYO EXTERNO Y/O INTERNO | |
| PROTECCION CONTRA INCENDIO (PCT) | VALOR | H VENTILACION DE HUMO | |
| A. PROTECCION A ESTRUCTURAS | | PRODUCTO DE FACTORES CDF | |
| | | | |
| 10. INDICES FINALES | | VALOR | CATEGORIA |
| CARGA DE FUEGO | | | |
| INDICE DE EXPLOSION | | | |
| INDICE DE EXPLOSION AEREA | | | |
| INDICE TOTAL MOND | | | |
| 11 RECOMENDACIONES | | | |
| | | | |

4. ANALISIS DE ARBOL DE FALLAS/EVENTOS (AAF)

4.1 Introducción

El proceso o método de análisis de árbol de fallas es una herramienta, muy útil para analizar:

- los modos de falla potenciales de partes o componentes de un sistema;
- los efectos de cada modo de falla en el sistema completo.

Los objetivos del método de análisis de árbol de fallas AAF, son los siguientes:

- Identificar las varias combinaciones posibles de eventos que llevan a un sólo evento indeseable;
- Representar las combinaciones anteriores gráficamente por medio de una estructura parecida a un árbol;
- Identificar la confiabilidad, áreas críticas de seguridad y puntos de falla simple para:
 - Mejoramiento o cambios de diseño
 - Revisión del diseño
 - Configurar el control
- Evaluar la magnitud del potencial de fallas, particularmente las que afectan la seguridad,
- Identificar y establecer prioridades de todos los modos posibles de falla y condiciones peligrosas de forma que pueden formularse e instituirse medidas correctivas efectivas;
- Determinar:
 - La necesidad de redundancia
 - Diseño con falla segura
 - De-rateo posterior
 - Simplificación del diseño
 - Material y partes más confiables.

El método de análisis de árbol de fallas AAF se inició en el año de 1961 en los Bell Telephone Laboratories, para evaluar y mejorar la confiabilidad del sistema de Control de Lanzamiento del misil minuteman, contribuyendo a eliminar varios puntos débiles de Proyecto. En los años posteriores la Boeing Company, desarrollo más y formalizó el método.

A partir del año de 1965 el método de AAF ha incrementado su uso en numerosos sectores industriales como la aeronáutica, nuclear, química, etc., y es el método que se aplica con más frecuencia para analizar la confiabilidad, disponibilidad y seguridad de sistemas.

El método de AAF capacita al analista a identificar las varias causas de un evento sencillo claramente predefinido por la aplicación de un razonamiento deductivo basado en un número de principios y reglas. las causas se representan por un árbol.

La combinación de eventos definidos por otros métodos de análisis también pueden ser representados por la misma estructura parecida a un árbol.

El árbol de fallas describe diagramáticamente la combinación de eventos que llevan a un sólo evento el cual está hasta arriba del árbol de fallas y usualmente es un evento indeseable para el sistema estudiado.

El árbol de fallas consiste de niveles sucesivos de eventos conectados en tal forma que cada evento a un nivel dado sigue de eventos a un nivel justamente abajo a través de varios operadores o compuertas lógicas. Por lo general estos eventos son defectos relacionados con averías de equipos, errores humanos, defectos de software, etc., que resultan en el evento indeseable.

Este proceso deductivo se continua hasta que se identifica el llamado "evento básico o primario"; por lo general éstos eventos son independientes uno de otro y se conoce su probabilidad de ocurrencia.

El árbol de fallas no es un modelo de todas las probables fallas que ocurran en el sistema, en realidad es un modelo de la interacción lógica entre los eventos que llevan al evento indeseable.

El procedimiento de AAF puede caracterizarse como un proceso interactivo documentado de un carácter sistemático llevado a cabo para:

- identificar fallas básicas;
- determinar sus causas y efectos,
- establecer su probabilidad de ocurrencia.

El método del análisis de árbol de fallas involucra.

- la estructuración de un diagrama lógico altamente detallado que describe las fallas básicas y las condiciones que pueden llevar a una avería del sistema y/o riesgo del usuario.
- uso de técnicas para analizar las fallas básicas y determinar las probabilidades de modos de fallas
- la formulación de sugerencias correctivas que cuando se implantan pueden eliminar o minimizar las fallas consideradas críticas.

Los resultados del análisis de árbol de fallas incluyen:

- un diagrama lógico detallado que describe todas las fallas básicas y las condiciones que pueden ocurrir y resultar en las condiciones peligrosas bajo estudio;
- una probabilidad de ocurrencia numérica de cada condición peligrosa bajo estudio;
- una matriz de fallas detallada con una tabulación de todas las fallas básicas, sus probabilidades de ocurrencia y criticidad y los cambios sugeridos o medidas correctivas involucrando. diseño de circuitos, selección de componentes de partes, inspección, control de calidad, etc , que cuando se implementan pueden eliminar o minimizar los efectos peligrosos de cada falla básica.

En la figura VI-1, se muestran las etapas en la aplicación del análisis de árbol de fallas.

4.2 Descripción del método

La descripción del método se hace mediante el ejemplo de la Fig. VI-2.

En el sistema de la Fig. VI-2a, el evento indeseable es "la lámpara no enciende" cuando el push-button se presiona. Las causas obvias son:

- El push-button está atorado
- La batería se ha descargado
- El fusible está abierto
- El alambre no está enchufado
- La lámpara está fundida

Esto puede representarse por el árbol mostrado en la Fig. VI-2b, aquí, el evento indeseable está conectado a cinco eventos básicos indeseables por una compuerta lógica "o". Cualquiera de estos cinco eventos básicos evitan que se encienda la lámpara

Otra de las compuertas usadas es la compuerta "y"

En resumen, el planteamiento de árbol de causas (fallas) sigue la secuencia que se muestra en la Fig. VI-2c

En la Fig VI-3 se muestran:

- Los símbolos utilizados en la construcción de árboles de fallas y sus respectivos significados.
- La representación de los diferentes tipos de fallas.

En la Tabla VI-1, se muestran las compuertas lógicas más utilizadas y en la Tabla VI-2 los símbolos de transferencia.

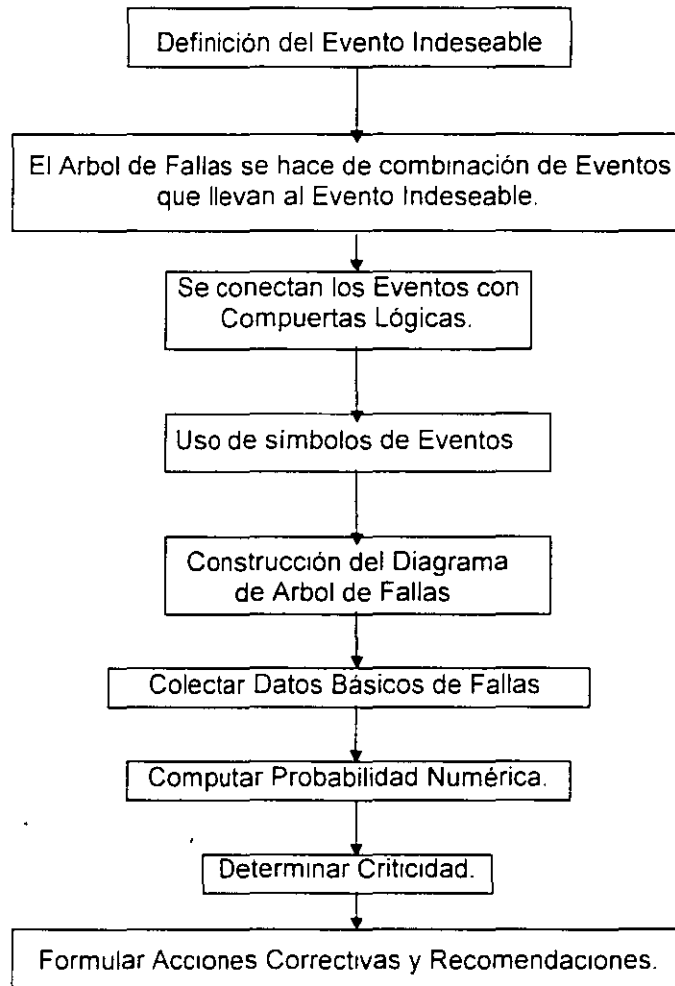
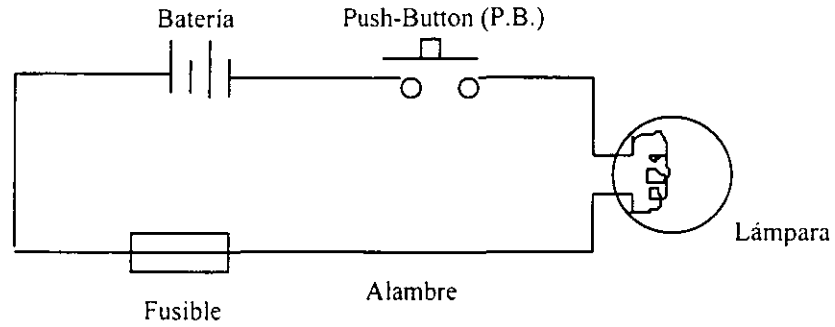
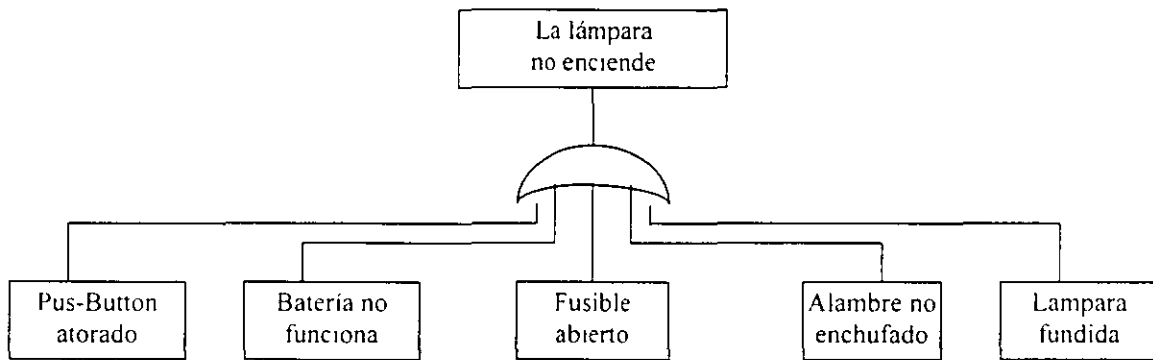


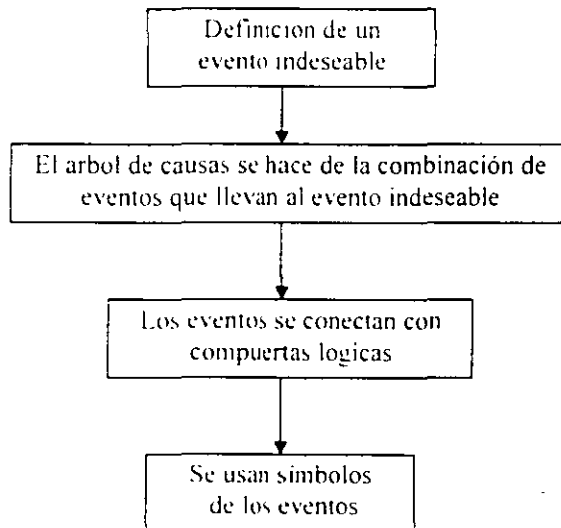
FIG. VI-1.- ETAPAS INVOLUCRADAS EN LA APLICACION DE ANALISIS DE ARBOL DE FALLAS.



a) SISTEMA PARA ENCENDER REMOTAMENTE UNA LAMPARA









b) ARBOL DE CAUSAS



c) METODO DE ARBOL DE CAUSAS

FIG. VI-2.- EJEMPLO DE DESCRIPCION DEL METODO DE AAF

| SIMBOLO | NOMBRE DEL SIMBOLO | SIGNIFICADO DEL SIMBOLO |
|---|--------------------|--|
|  | Rectángulo | Representación de un evento (indeseable o intermedio) resultante de la combinación de otros eventos vía compuerta lógica. |
|  | Círculo | Evento básico o primario para el cual no se hace más subdivisión por no considerarse necesario |
|  | Diamante | Evento sin desarrollar - Representación de un evento que podría ser subdividido en eventos básicos pero que no está hecho por falta de información o utilidad. |
|  | Doble diamante | Evento cuyas causas se especificarán hasta después |
|  | Casa | Evento básico que ocurre normalmente mientras el sistema está operando. |
|  | Ovalo | Condicionamiento de un evento.- Representación de un evento condicional usado con algunas compuertas lógicas. |

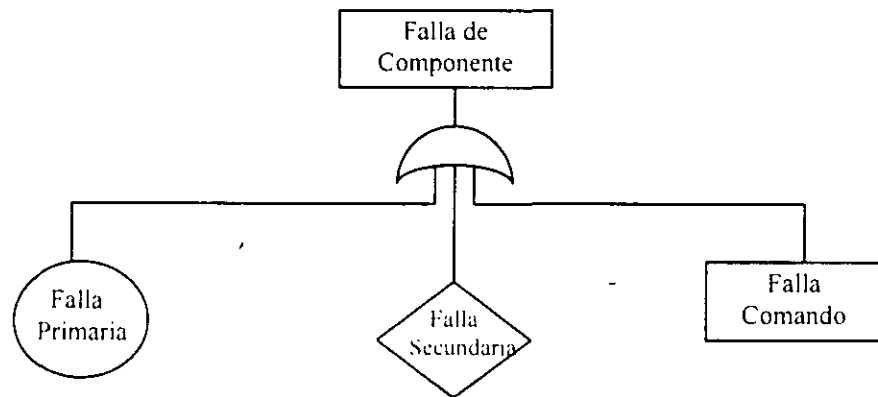


FIG. VI-3.- COMPONENTES DE ARBOL DE CAUSAS

TABLA VI-1.- COMPUERTAS LOGICAS MAS USADAS

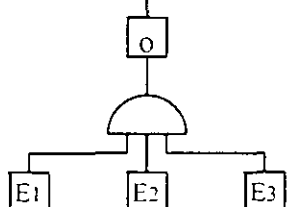
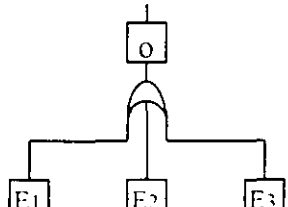
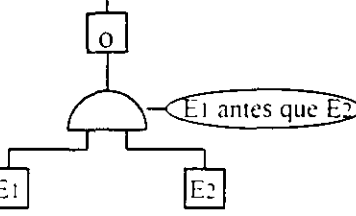
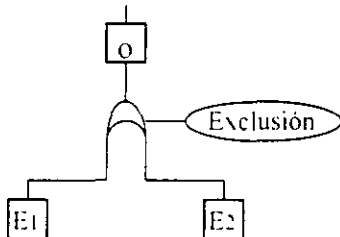
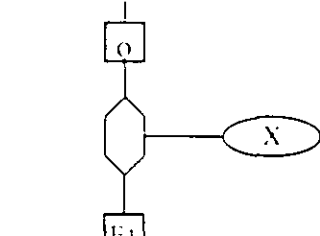
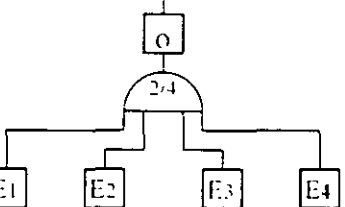
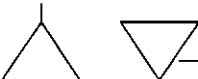


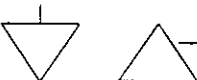


| SIMBOLO | NOMBRE DEL SIMBOLO | SIGNIFICADO DEL SIMBOLO |
|---|---|---|
|  | Compuerta "Y" | El evento de salida (o) de la compuerta "Y" ocurre si todos los eventos de entrada (E1, E2 y E3) ocurren simultáneamente. |
|  | Compuerta "O" | El evento de salida (o) de la compuerta "O" ocurre si cualquiera de los eventos de entrada (E1, E2 y E3) ocurre. |
|  | Compuerta "Y" con condición | El evento de salida (o) ocurre si todos los eventos de entrada (E1 y E2) ocurren simultáneamente y si se satisface la condición (E1 ocurre antes que E2). |
|  | Compuerta "o" con Condición | El evento de salida (o) ocurre si cualquiera de los eventos de entrada (E1 y E2) ocurren y si se satisface la condición (E1 y E2 no deben ocurrir simultáneamente); esta compuerta también se conoce como compuerta EXCLUYENTE O. |
|  | Compuerta Si (IF) | El evento de salida (o) ocurre si el evento de entrada ocurre (E1) y Si se satisface la condición X. |
|  | Compuerta de combinación m/n (aquí 2/4) | El evento de salida (o) ocurre si ocurren m de n eventos de entrada (aquí es suficiente que dos de los eventos E1, E2 y E3 ó E4 ocurran). |

TABLA VI-2.- SIMBOLOS DE TRANSFERENCIA

| SIMBOLO | NOMBRE DEL SIMBOLO | SIGNIFICADO DEL SIMBOLO |
|---|-----------------------|---|
|  | Triángulos | La parte del árbol de fallas que sigue al símbolo.  Se encuentra en el punto indicado por el símbolo.  |
|  | Triángulos invertidos | Una parte similar pero no idéntica a la cual sigue el símbolo  se encuentra en el punto indicado por el símbolo  |

4.3 Conceptos Básicos

Es muy importante revisar los conceptos fundamentales del método de AAF, que incluyen los siguientes:

- definición del evento indeseable,
- representación de compuertas lógicas,
- representación de eventos,
- definición de defectos, averías y fallas;
- clases de fallas;
- eventos básicos.

A continuación se hace una discusión de los anteriores conceptos fundamentales.

* Eventos indeseables

El AAF se centra en un evento "indeseable" dado; este evento se vuelve el evento superior del árbol y el análisis se dirige a determinar todas sus causas.

Con frecuencia el evento indeseable es un evento catastrófico, sin embargo, puede ser una simple avería del sistema que afecta la seguridad o la indisponibilidad de una planta.

Para hacer el análisis más fácil, el evento indeseable debe ser definido en forma precisa.

Si el evento indeseable es demasiado general, por ejemplo, la fundición del núcleo de un reactor nuclear o la caída de un avión, el análisis deja de ser factible debido a su excesivo enredo o complicación.

Por otra parte, si el evento indeseable es demasiado específico, el análisis puede fallar para identificar los elementos importantes del sistema.

De acuerdo con lo anterior, se recomienda hacer un análisis preliminar de riesgo para determinar el evento indeseable.

* Representación de Compuertas Lógicas.

Los eventos se conectan con compuertas lógicas de acuerdo con la relación falla-consecuencia; las compuertas lógicas más utilizadas son las que se muestran en la Figura VI-3, aunque existen otros símbolos para aplicaciones específicos.

* Representación de Eventos.

Los símbolos utilizados para representar los eventos se muestran en la Figura VI-3, aunque existen otros llamados "símbolos de transferencia" que se utilizan para reducir el tamaño de los árboles de fallas y para evitar la duplicación de similares o idénticos sub-árboles.

* Defectos, Averías y Fallas.

Las definiciones de estos conceptos son las siguientes:

Defecto es cualquier desviación inaceptable de una característica de los requerimientos de una entidad o elemento

Avería es la terminación de la habilidad de una entidad para realizar una función requerida

Falla es la inhabilidad de una entidad para realizar una función requerida

Cualquier avería o falla produce un defecto, pero lo inverso no siempre es verdad; una falla o avería de un sistema o componente resulta de una o varias fallas o averías de componentes del sistema o de partes de componentes.

El análisis de árbol de fallas está dirigido a identificar (empezando del evento indeseable) las fallas o averías de componentes, las cuales cuando se combinan llevan al evento indeseable.

En términos generales, puesto que las fallas son producidas por averías, lo importante es buscar las averías de componentes.

* Clases de averías

Las averías pueden ser clasificadas, de acuerdo a sus causas, en las tres categorías siguientes

• averías primarias:

- averías secundarias;
- averías gobernantes o conductoras. (comando)

En la Figura VI-3, se muestra el árbol de fallas de un componente; la clasificación anterior es muy útil cuando se construye un árbol de fallas.

* Eventos Básicos

El análisis de eventos de fallas se debe continuar hasta que se identifiquen los "eventos básicos", por lo tanto, estos eventos deben definirse con mucho cuidado, puesto que marcan los límites de los análisis.

El análisis de fallas de un evento indeseable viene dentro del alcance de definición de un sistema y sus componentes, sus fronteras y su ambiente.

Los eventos básicos en un árbol de fallas son como siguen:

- el evento fundamental, que no necesita ser más desarrollado (símbolo: un círculo); por lo general este evento está suficientemente bien descrito y conocido, de forma que es ocioso determinar sus causas, por ejemplo.
 - Avería primaria de un componente
 - Error humano primario
 - Disponibilidad de un componente por mantenimiento preventivo.
- el evento no puede ser considerado fundamental pero sus causas o fallas no pueden ni podrán ser desarrolladas (símbolo: diamante). En este caso, las fronteras del sistema estudiado se alcanzan cuando se identifica este evento.
- el evento no puede ser considerado como fundamental y sus causas todavía no pueden ser desarrolladas aunque lo podrán ser posteriormente (símbolo: doble diamante). En este caso se considera alcanzada temporalmente una frontera en el estudio, y como de momento no se tienen datos adecuados, las causas de este evento se tienen que buscar posteriormente.
- el evento es uno que normalmente ocurre durante la operación del sistema (símbolo: casa). Este evento puede ser relacionado al ambiente del sistema.

Es muy importante definir hasta que nivel de detalle se debe refinar el análisis. Por ejemplo, en el caso de sistemas térmico hidráulicos, si se debe detener el análisis al nivel de bombas o válvulas o se debe continuar a partes de estos componentes como varillas de control, cojinetes, roscas, etc.

A la fecha no se tiene respuesta sistemática a estas interrogantes; la elección del nivel de detalle del análisis, depende esencialmente de.

- los objetivos del estudio
- sistema de referencia
- conocimiento del analista de los componentes.

La elección del nivel de detalle del análisis se basa en los siguientes criterios:

- etapa de desarrollo de diseño del sistema, y deseos de avanzar en los detalles;

- estado de conocimientos de los componentes, en especial de sus modos de falla y efectos en el sistema. Cuando se usa un componente enteramente nuevo puede requerirse un análisis detallado;
- objetivos cualitativos y cuantitativos del estudio. En estos casos los datos disponibles sobre dependabilidad determinan el nivel de detalle del análisis.

En general, conforme avanza el estudio y se profundiza en el conocimiento del sistema estudiado, se puede avanzar a más detalles. Si el primer análisis tiene demasiados detalles, es probable empantanarse con la cantidad de fallas que deben tomarse en cuenta y por lo tanto se pierde la visión de lo que es esencial.

4.4 Principios para la construcción del árbol de fallas

La técnica para construir árbol de fallas ha cambiado desde su inicio, considerándose mas bien un arte que un análisis, y es difícil de formalizar y aún explicar.

Conforme el método ha sido extensivamente aplicado, se han desarrollado gradualmente principios y reglas, sin embargo, hasta la fecha es difícil un algoritmo preciso y riguroso para construir un árbol de fallas, no obstante, a continuación se dan algunas guías para su análisis.

- * Evento indeseable.

Algunas veces este evento puede ser caracterizado de acuerdo a varias nociones del sistema, y por lo tanto puede ser apropiado definir el evento indeseable con referencia a las varias etapas de operación del sistema, por ejemplo, con relación a la caída de carga de una grúa móvil, el árbol de fallas correspondiente al "accidente de caída en el manejo de carga" será diferente dependiendo si el accidente ocurre durante la elevación, bajada, estado estático o translación.

- * Identificación de la falla inmediata, necesaria y suficiente.

Se debe buscar la falla inmediata, necesaria y suficiente (INS) del evento indeseable. La búsqueda debe ser etapa por etapa y en forma tan rigurosa como sea posible.

Para la realización de esta tarea son muy útiles las consideraciones de los parámetros físicos y las leyes que gobiernan el comportamiento de componentes, subsistemas o sistemas.

- * Clasificación de eventos intermedios. EI (Fig VI-5)

En la búsqueda de las fallas INS del evento indeseable se encuentran los eventos intermedios EI; enseguida estos eventos se clasifican dentro de tres principales claves:

- El EI, es un evento básico.
- El EI, es un defecto de componente: la avería asociada puede dividirse en averías primaria, secundaria y de comando. En seguida el análisis procede de acuerdo con la parte "análisis de defectos de componentes".
- El EI, es un defecto de sistema. este es una clase de evento que debe ser explicado posteriormente. Estos eventos, no son básicos y no pueden ser atribuidos a un

componente dado; por lo general son debidos a más de un componente. La combinación de un evento básico y un defecto de componente también pertenece a esta clase de eventos; la investigación de fallas INS implica la definición de eventos conectados por operadores lógicos.

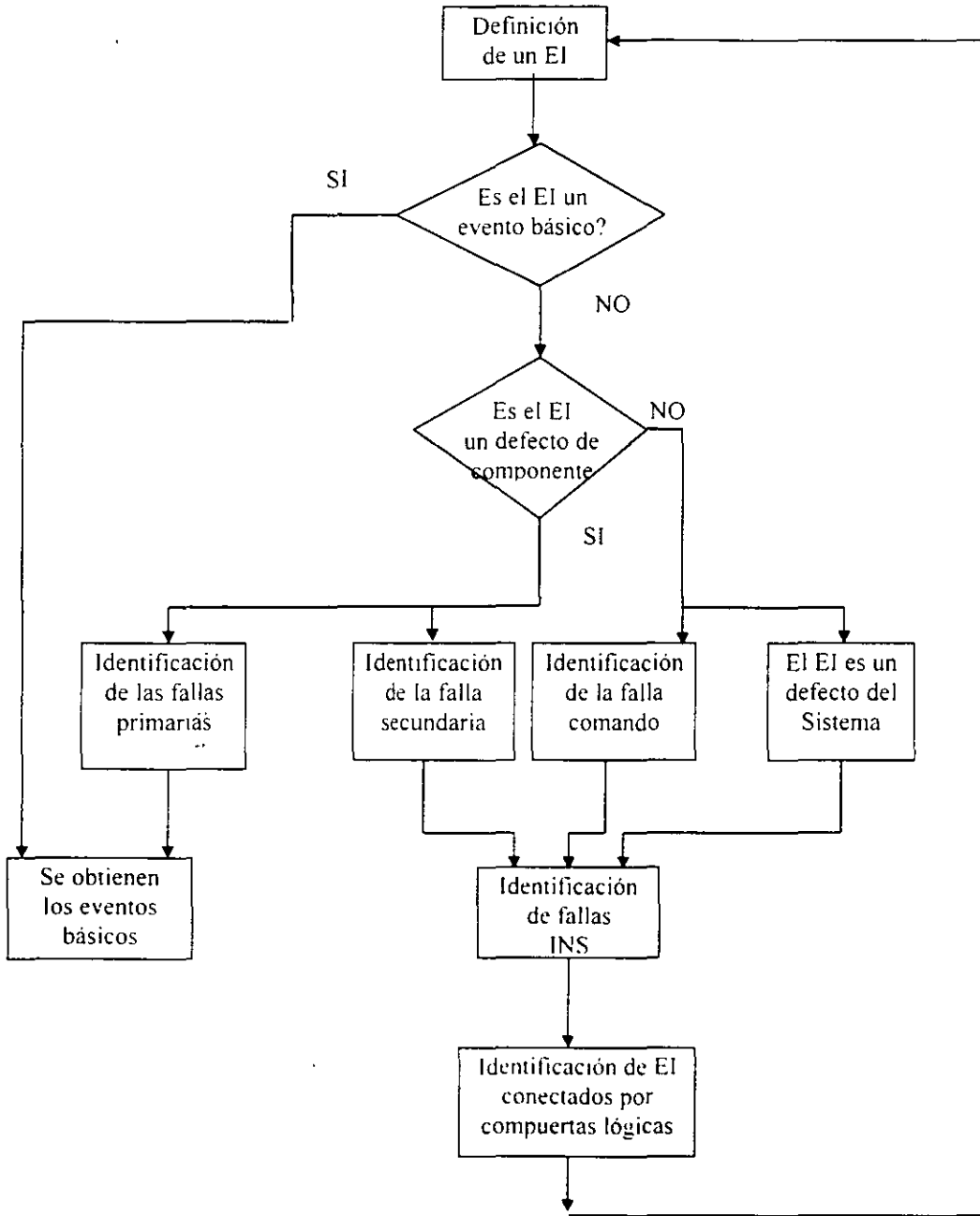


FIG. VI-5.- REPRESENTACION DIAGRAMATICA DE LOS ANALISIS DE CADA EVENTO INTERMEDIO (EI)

Ejemplo 1.- (búsqueda de causa INS)

En la Fig. VI-6, una señal de salida de la parte A se convierte en señal de entrada de los componentes B y C; a su vez, estos componentes envían una señal al componente D, el cual envía su señal al componente E

En este sistema hay una redundancia en B y C.

Se selecciona el evento indeseable "no señal de entrada a E", y el analista debe proceder etapa por etapa para identificar sus causas inmediatas; la causa inmediata del evento indeseable es "no señal de salida de D".

El analista debe abstenerse de saltar a la conclusión que el evento "no señal de entrada a D es la causa inmediata de "no señal de entrada a E".

Ahora el analista debe identificar las causas inmediatas "no señal de salida de D", hay dos posibilidades:

- "No señal de salida de D" a pesar de la existencia de señal de entrada a D (evento 1)
- "No señal de entrada a D" (evento 2)

Enseguida se buscan las causas inmediatas de estos dos eventos:

- Si el estudio para a nivel de componente, el evento 1 puede ser re-nombrado "falla de D", y ya no será posible analizarlo más y se considerará un evento básico. El analista tiene que seguir a la siguiente etapa y pasar por alto este evento.
- Las causas INS del evento 2 no son "no señal de salida de B y no señal de salida de C". Este evento es la intersección de dos eventos:
 - "no señal de salida de B"
 - "no señal de salida de C"

Estas causas deben ser necesarias y suficientes, p.e., el evento "no señal de salida de B" no es suficiente y las causas del evento "no señal de salida de B", "no señal de salida de C" y "no señal de salida de A", no todas son necesarias.

El analista continuará de acuerdo al mismo procedimiento, es decir, las causas INS deben buscarse etapa por etapa con el mayor rigor y cuidado meticuloso, sobre todo no debe perder etapas.

En particular, con los defectos o combinación de defectos que encontró durante el análisis preliminar, el analista no debe apresurarse a construir, inmediatamente bajo el evento indeseable, una compuerta lógica usando "O" o "Y".

Esta es la razón porque este concepto de "causa inmediata", se conoce algunas veces como la regla del "pequeño pensamiento".

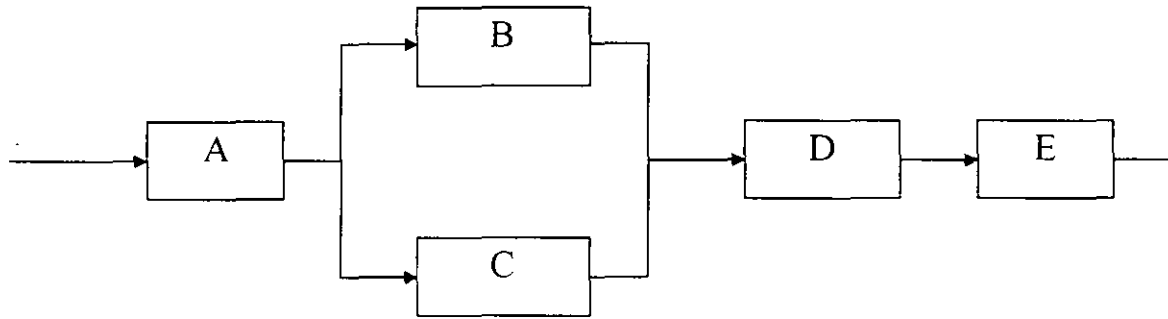


FIG. VI-6.- IDENTIFICACION DE FALLAS INS

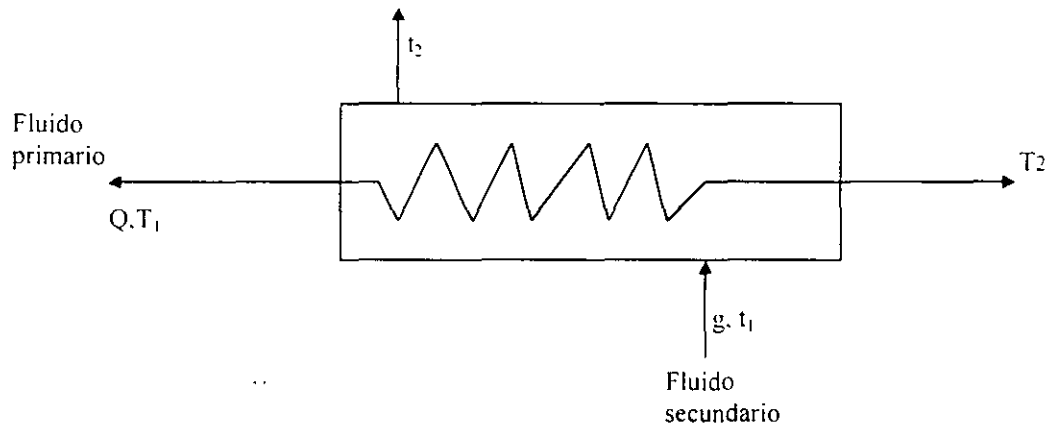


FIG. VI-7.- IDENTIFICACION DE FALLAS INS

Ejemplo 2.- (búsqueda de causas INS)

En la Fig VI-7. se representa un fluido primario con un flujo Q y una temperatura T_1 , que se enfría a una temperatura T_2 en un cambiador de calor. El fluido secundario tiene un flujo q y una temperatura t_1 , que se eleva a t_2 en la salida del cambiador de calor

El evento indeseable aquí es "elevación excesiva de temperatura T_2 ", se considera que subsistemas suministran al cambiador de calor en los lados primario y secundario

En una primera etapa, las causas INS del evento indeseable deben buscarse en el cambiador de calor, ignorando a los subsistemas que los abastecen.

El planteamiento más simple consiste en considerar los parámetros físicos importantes y las leyes del cambiador de calor, p e., las temperaturas de entrada y salida del cambiador de calor, así como los flujos primario y secundario deben ser definidos. Las causas INS son entonces las siguientes:

- Elevación excesiva de T_1
- Incremento excesivo de Q
- Elevación excesiva en t_1
- Reducción excesiva de q

Un modelo más preciso podría ser desarrollado:

- Escribiendo las leyes del cambiador de calor, p.e., tomando en cuenta el coeficiente de transmisión de calor.
- Determinando los parámetros cuya fluctuación resulta en el evento indeseable.
- Analizando las posibles fallas del cambiador de calor, p.e., fugas internas o externas y su impacto sobre las leyes del cambiador de calor, p.e., tomando en cuenta las reacciones exotérmicas entre los fluidos primario y secundario.

El análisis debe entonces proceder con la identificación de las causas INS de las variaciones previamente detectadas en los parámetros físicos.

Este ejemplo muestra el mérito de ir algunas veces hacia las leyes que gobiernan el comportamiento de los componentes, subsistemas o sistemas cuando se buscan las causas INS de ciertos eventos, es decir, se garantiza el rigor y exhaustividad del análisis, pero este planteamiento debe ser adoptado solo cuando es necesario porque es muy laborioso.

En conclusión, las causas INS deben buscarse etapa por etapa y tan rigurosamente como sea posible.

Las consideraciones de los parámetros físicos y de las leyes que gobiernan el comportamiento de componentes, subsistemas y sistemas pueden probar su utilidad real en ésta tarea

Tan pronto como se identifica un defecto de componente, se utilizan los símbolos del árbol de fallas que se muestran en la Fig. VI-3. Cuando en la identificación de fallas INS:

- se define una avería primaria: se obtiene un evento básico;
- están definidas una o varias averías secundarias: la búsqueda de sus fallas INS implica la definición de eventos intermedios conectados por compuertas lógicas;
- están definidas una o varias fallas comando: la búsqueda de sus fallas INS también implican la definición de eventos intermedios conectados por compuertas lógicas.

Se continúa la búsqueda de fallas INS de eventos intermedios hasta que se obtienen eventos básicos

Aplicando los principios anteriores, se obtienen eventos básicos o nuevos eventos intermedios a partir de los análisis de eventos intermedios. Estos principios se aplican a los nuevos eventos intermedios hasta que se obtengan eventos básicos.

* Proceso interactivo.

Con frecuencia es necesario regresar a algunas características del árbol que está siendo construido, por ejemplo:

- cuando analizando un evento se adquiere un conocimiento más preciso del sistema, puede ser necesario redefinir ciertos eventos intermedios y agregar otros. El análisis puede también revelar que ciertos efectos de fallas deben ser definidos más explícitamente y que se requieren estudios adicionales de la operación del sistema;

- puede ser necesario definir más precisamente un evento básico particularmente perteneciente a un componente, y a posterior análisis un componente dado. En este caso se pueden reconsiderar los límites establecidos.

No debe dudarse en reconsiderar algunos eventos en el árbol, la estructura de algunas de sus ramas, etc., porque la construcción del árbol de fallas se vuelve un proceso interactivo que se repite hasta que se obtienen resultados satisfactorios.

* Otras reglas.

Para facilitar la construcción de árboles de fallas se han propuesto y desarrollado reglas, entre las que se encuentran las siguientes:

- Regla de no-milagros. La propagación de una avería de componente se observa algunas veces que es bloqueada por la milagrosa y no esperada avería de otro componente. En este caso se dice que el sistema es "no-coherente" por la ocurrencia simultánea de dos resultados de averías en la operación del sistema; en el análisis, se considera que el segundo componente opera normalmente durante la primera avería.
- Regla de completar las compuertas. Se deben especificar todos los eventos de entrada a una compuerta lógica antes de investigar un evento de entrada en detalle.
- Regla de no compuerta-a-compuerta. Una compuerta lógica no debe conectarse a otra compuerta lógica; el método de compuerta-a-compuerta puede ser una fuente de confusión y revelar que no se ha comprendido bien el sistema y se han omitido etapas en el razonamiento deductivo;
- Regla de que fallas preceden a consecuencias. La búsqueda de las causas de fallas de un evento significa retroceder en el tiempo: las causas o fallas de un evento son antes del mismo evento. Con esta regla, algunas fallas y ramas pueden eliminarse del árbol, con lo cual se facilita la solución de los llamados sistemas "lazo-cerrado".

4.5 Construcción de árbol de fallas

* El Diagrama de Arbol de Fallas.

La primera etapa en el análisis del árbol de fallas es el desarrollo de un diagrama lógico detallado que dibuje la combinación de eventos que pueden llevar a la condición bajo estudio.

Todos los eventos (fallas de componentes, errores humanos, condiciones de operación, etc.), que deben ocurrir para resultar en la condición de falla definida como evento indeseable se interconectan sistemáticamente a través de elementos básicos lógicos (compuertas "y", compuerta "o", etc.), para formar el árbol de fallas, con los símbolos descritos anteriormente.

Para la construcción del árbol de fallas es necesario conocer.

- el diseño del sistema
- requerimientos funcionales de operación y mantenimiento
- como se usa el sistema.

El árbol de fallas se desarrolla empezando con la condición de falla definida como evento indeseable y procediendo hacia abajo con una serie de juicios de ingeniería para definir los eventos básicos de entrada. El proceso de estructuración lógico continua hasta que la cadena de entrada de cada evento termina en términos de una falla básica.

Cuando la estructura del árbol de fallas está completa, el evento indeseable está completamente definido en términos de:

- fallas básicas (de arquitectura y humanas) cuya ocurrencia sola o en combinación puede resultar en el riesgo o peligro definido, independientemente de su aparente frecuencia de ocurrencia.
- eventos de entrada independientes.
- fallas básicas (modos de falla de componentes) para las cuales los datos de regímenes de fallas están disponibles o pueden ser estimados.

* Recolección de Datos de Fallas Básicas

Después de que el árbol de fallas ha sido estructurado, la siguiente etapa es recabar los datos de regímenes o tasas de fallas para cada falla básica que conforman el árbol.

Los datos de tasas de fallas son entradas necesarias para determinar las probabilidades de ocurrencia y evaluar su criticidad, estos datos consisten de dos clases generales.

- datos de tasas de fallas de componentes
- datos de tasas de errores humanos

En general, las tasas de fallas de componentes se determinan con una revisión de partes de componentes identificados como fallas en el árbol de fallas; esto incluye la revisión de los modos de falla de cada elemento básico que comprende la falla identificada y estableciendo una tasa de modo de falla, basada en datos históricos de partes genéricas e información disponible en aplicaciones de diseño. Se pueden usar las técnicas estándar de predicción de confiabilidad para estimar estas tasas numéricas de fallas.

Las tasas de errores humanos significan las tasas esperadas a las cuales tienen lugar fallas causadas por personal de operación y mantenimiento, ya sea intencional o no-intencional; es muy difícil obtener una tasa de error puesto que existen muy pocos datos con relación a ésta área.

Puesto que no se tiene una base de datos a gran escala sobre las tasas de errores humanos, estas tasas pueden desarrollarse a través de técnicas subjetivas basadas en discusiones con personal familiar con el sistema de operación y el ambiente del mantenimiento. Estas técnicas incluyen detalles de cada error humano descrito en el árbol de fallas en los elementos de tareas básicas; el intento es definir pequeños segmentos del comportamiento humano, en donde una tasa de error puede ser evaluada más fácilmente.

La evaluación de tasas de error humano para segmentos pequeños puede involucrar una investigación bibliográfica, incluyendo una revisión de los datos de errores humanos normalmente disponibles y/o previa estimación de información del personal familiar con los elementos operacionales.

La tasa de error humano numérica final debe tomar en cuenta el comportamiento de la naturaleza humana y su sensibilidad a:

- aprendizaje;
- fatiga;
- otros factores de conducta.

4.6 Computación de Probabilidades Numéricas

Después de que se estructura el árbol de fallas y que se recaban todos los datos de fallas, la siguiente etapa en el proceso de análisis es computar las probabilidades numéricas; esto incluye la computación de la probabilidad de ocurrencia de todas las fallas básicas, eventos y condiciones peligrosas basadas en propiedades combinatorias de los elementos lógicos en el árbol de fallas.

El análisis de la computación de probabilidades numéricas incluye la aplicación repetida de las siguientes expresiones básicas de probabilidad para las compuertas lógicas del árbol de fallas.

compuerta "y" ;
$$p(A) = \sum_{i=1}^n P(X_i)$$

compuerta "o" ;
$$P(A) = 1 - \sum_{i=1}^n 1 \left[P(X_i) \right]$$

en donde.

$P(A)$ = probabilidad de la salida

$P(X)$ = probabilidad de la entrada i

n = número de entradas

Para el uso de dos eventos "x" e "y" con probabilidades $P(x)$ y $P(y)$ respectivamente que conducen a un evento A con probabilidad $P(A)$, se tiene:

Para una compuerta "y"
$$P(A) = P(x) P(y)$$

Para una compuerta "o"
$$P(A) = P(x) + P(y) - P(x) P(y)$$

En un diagrama de árbol de fallas dado, cuyas fallas básicas y eventos de salida están interconectados apropiadamente, la probabilidad del evento de salida se calcula empezando con el nivel más bajo y continuando al nivel más alto en el árbol

* Formulación de Recomendaciones de Acciones Correctivas.

Después de que se han computado todas las probabilidades y criticidades, se revisan y evalúan todos los datos, con objeto de formular sugerencias generales correctivas; éstas sugerencias pueden estar relacionadas cuantitativamente a los elementos de falla y modos de avería identificados en el análisis del árbol de fallas. En general, las recomendaciones de acciones correctivas pueden incluir:

- áreas para re-diseño;

- selección de partes de componentes;
- criterios de diseño y adquisiciones;
- procedimientos de mantenimiento;
- procedimientos de inspección;
- control de calidad;
- instrucciones especiales de seguridad.

El alcance y extensión de las medidas correctivas sugeridas pueden depender de las fallas identificadas y de su criticidad, y deben ser consideradas en relación con su efectividad, practicidad y costo.

El paso siguiente es la preparación de una matriz de fallas para ayudar en la evaluación y formulación de recomendaciones específicas; la matriz de fallas provee una tabulación de la siguiente información de cada falla básica:

- número de identificación de falla básica;
- descripción de falla básica;
- efectos de la falla;
- probabilidad de ocurrencia;
- las acciones correctivas recomendadas para las fallas consideradas críticas, incluyendo diseño, controles, pruebas, procedimientos, inspecciones, etc., que pueden implementarse con el propósito de eliminar o reducir los efectos peligrosos.

4.7 Comentarios

La construcción de un árbol de fallas requiere algunos comentarios.

- Un árbol de fallas es un modelo de las combinaciones de las fallas más concebibles y posibles.

En general el analista, consciente o no, selecciona solo los defectos más concebibles y posibles. p.e., al considerar "contactos del rele permanecen pegados", el analista no considera tal un defecto de diseño como el atoramiento del contacto causado por algo de barniz sobre éste que no fue secado durante las pruebas pre-operacionales, pero secado después

Tales defectos no usuales ya han sido observados, sin embargo, en el caso presente el analista no hace un gran error puesto que la probabilidad de este evento es despreciable comparado con la probabilidad del atoramiento mecánico de un relevador.

El analista no incluye eventos que son altamente improbables comparados con otros eventos tomados en cuenta en el árbol de fallas

- La realización de un AMFE antes de la construcción del árbol de fallas facilita grandemente su construcción.

El AMFE es también un medio muy útil de evitar omisiones cuando se construye un árbol de fallas; en el ejemplo presentado, se construyó el árbol de fallas sin haber realizado previamente un AMFE. En la columna de "posibles causas" de un AMFE pueden encontrarse las causas de eventos, como "contactos del rele permanecen pegados".

Un analista buscando las causas de este evento usando un planteamiento deductivo puede olvidar que una fuerte corriente producida por un corto-circuito en el motor causa que los contactos del rele permanezcan pegados.

Por otra parte, si este analista u otro realiza primero un AMFE, debe buscar los efectos de esta fuerte corriente en cada componente del sistema y especialmente en "los contactos del rele", y así determina que el corto-circuito del motor puede ser una causa del evento "contactos del rele permanecen pegados".

Por lo general esto se debe al hecho que con frecuencia es más fácil conocer los efectos de un modo de falla que listar sus causas, especialmente cuando son externas.

5. ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD, AMFEC.

La técnica del análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) puede ser caracterizada como un método sistemático de catalogar modos de falla, empezando al más bajo nivel del ensamble y evaluando las consecuencias a los niveles más altos del sistema o ensamble.

El AMFEC, al igual que el análisis de árbol de fallas AAF, puede realizarse utilizando modos de falla de datos de campo, o bien modos de falla hipotéticos derivados de análisis de diseño, actividades de predicción de confiabilidad y de experiencia relativas a la forma en la cual fallan los componentes.

El AMFEC provee comprensión de la relación entre las causas de falla y sus efectos; es un método disciplinado para proceder parte por parte a través del sistema para evaluar las consecuencias. En su más completa forma los modos de falla se identifican a nivel de parte; cada modo de falla de parte es analíticamente inducida en el sistema y los efectos de las fallas se evalúan y anotan, incluyendo la severidad y frecuencia o probabilidad de ocurrencia.

El AMFEC en el cual la probabilidad de ocurrencia de cada modo de falla y el nivel de criticidad de los efectos de las fallas se analizan, es una extensión natural del análisis de modos de falla y efectos AMFE.

Con el AMFEC es posible verificar que los modos de falla con efectos severos tienen probabilidades suficientemente bajas gracias a:

- técnicas de diseño;
- varios chequeos (en la fábrica, en el sitio, etc.);
- procedimientos de prueba, etc.

La NASA ha utilizado ampliamente este tipo de análisis, específicamente para el diseño del módulo lunar, también ha sido adoptado en otros sectores industriales. El AMFEC está constituido principalmente por dos partes.

- el AMFE
- el análisis de criticidad dirigido a evaluar el par "probabilidad-severidad" para cada modo de falla.

Para estimar la severidad de los varios modos de falla, los efectos o consecuencias, a cada modo de falla se le asigna un nivel de severidad.

Las clases de severidad comúnmente usadas, son las siguientes:

- Clase I .- Falla menor.- Cualquier falla que podría causar degradación de las funciones del comportamiento del sistema, resultando daños despreciables ya sea al sistema o a su ambiente, y sin daños a la vida o miembros.
- Clase II .- Falla significativa.- Cualquier falla que degrada las funciones de comportamiento del sistema sin daño apreciable al sistema, vida o miembros.
- Clase III .- Falla crítica.- Cualquier falla que podría potencialmente causar pérdida de las funciones primarias del sistema, resultando un daño significativo al sistema o su ambiente y peligro apreciable a la vida o miembros.
- Clase IV .- Falla catastrófica.- Cualquier falla que podría potencialmente causar la pérdida de las funciones primarias del sistema, resultando en daños significativos al sistema o a su ambiente y/o causar la pérdida de vida o miembros.

Para determinar la criticidad de un modo de falla, se usa el par probabilidad-severidad; mientras más alta es la probabilidad y la severidad de los efectos, la criticidad del modo de falla es más grande y es vital tomar acciones correctivas.

Para clasificar los modos de falla de acuerdo al par probabilidad-severidad, con frecuencia se usa una tabla como la mostrada en la Tabla VI-3..

TABLA VI-3.- EJEMPLO DE MALLA DE CRITICIDAD

| Severidad \ Probabilidad | Muy baja | Baja | Media | Alta |
|------------------------------------|----------|------|-------|------|
| Clase I - Efectos menores | | | | |
| Clase II - Efectos significativos. | | | | |
| Clase III - Efectos críticos | | | | |
| Clase IV - Efectos catastróficos. | | | | |

Las clases de severidad deben adaptarse a cada sistema estudiado.

El procedimiento para realizar un AMFEC involucra una documentación y evaluación sistemática por el análisis documentado, sobre la salida del sistema.

Los datos e información utilizados como entradas al procedimiento incluyen las especificaciones de diseño, esquemas y otras configuraciones obtenidas de la ingeniería de diseño. El procedimiento del AMFEC incluye varias etapas como las siguientes:

- la primera etapa es listar todos los modos de falla al nivel más bajo práctico del ensamble;
- determinación, para cada modo de falla listar el correspondiente efecto sobre el comportamiento del siguiente nivel más alto del ensamble;
- el resultante de la falla se convierte en esencia en el modo de falla que impacta el siguiente nivel más alto;
- la interacción de este proceso resulta en el establecimiento del último efecto a nivel del sistema;
- el análisis esta completo cuando todos los modos de falla identificados se evalúan y definen sus relaciones con los efectos finales

Las probabilidades de ocurrencia de los efectos en el sistema pueden ser calculados, basados en la probabilidad de ocurrencia de los modos de falla al nivel más bajo (el producto de la tasa de modo de falla y el tiempo) Con estas probabilidades y el factor de severidad asignado a los varios efectos del sistema se calcula un número crítico.

La criticidad numérica proporciona un método de jerarquizar los efectos a nivel de sistema para prioridad de:

- acciones correctivas;
- propuestas de cambios de ingeniería;
- acciones de re-ajustes

Tabla VI-5.- CRITICIDAD DE SISTEMAS, EQUIPOS O COMPONENTES

| Severidad \ Probabilidad | Muy baja | Baja | Media | Alta |
|--------------------------|----------|----------|----------|---------------------|
| I | Nula | Muy baja | Baja | Media |
| II | Muy baja | Baja | Media | Alta |
| III | Baja | Media | Alta | Muy alta |
| IV | Media | Alta | Muy alta | Extremadamente Alta |

Probabilidad alta $> 1 \times 10^{-3}$

Probabilidad media $> 1 \times 10^{-4}$

Probabilidad baja $> 1 \times 10^{-5}$

Probabilidad muy baja $< 1 \times 10^{-6}$

Los valores de los niveles de severidad se muestran en la Tabla VI-3.

6. ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS

6.1 Principios de Meteorología

La atmósfera de la tierra tiene un espesor de 160 km., lo cual, aparentemente da cierta seguridad de que pueda absorber cualquier contaminante que arrojemos, sin embargo, la troposfera, que contiene el 95% del total de la masa de aire, solo tiene un espesor de 20 km., y es en donde se tienen los problemas del clima y de la contaminación. Esta es una de las razones por la cual se considera a la tierra como un planeta frágil, que podemos dañar irreparablemente.

Los problemas de contaminación del aire incluyen a la fuente de contaminación, al movimiento del contaminante y al receptor del contaminante. El movimiento del contaminante es función directa de las condiciones meteorológicas, que cambian continuamente. Los cambios de clima están asociados a frentes o a presiones barométricas. Los frentes pueden ser de dos tipos:

- Frente caliente, que produce lluvia o llovizna estable o constante.
- Frente frío, que produce lluvia local fuerte

La presión barométrica se clasifica en dos categorías:

- Presión baja, que puede dar lugar a frente frío o frente caliente, con movimiento de aire en sentido contrario a las manecillas del reloj (ciclón) y vientos verticales hacia arriba, con condensación y precipitaciones.
- Presión alta con sol y columna estable, movimiento del aire en espiral en sentido de las manecillas del reloj (anticiclón) y hacia abajo

En la Fig. VI-8, se muestran las dos condiciones, observándose que la condición de presión alta (anticiclón), es precursora de problemas de contaminación.

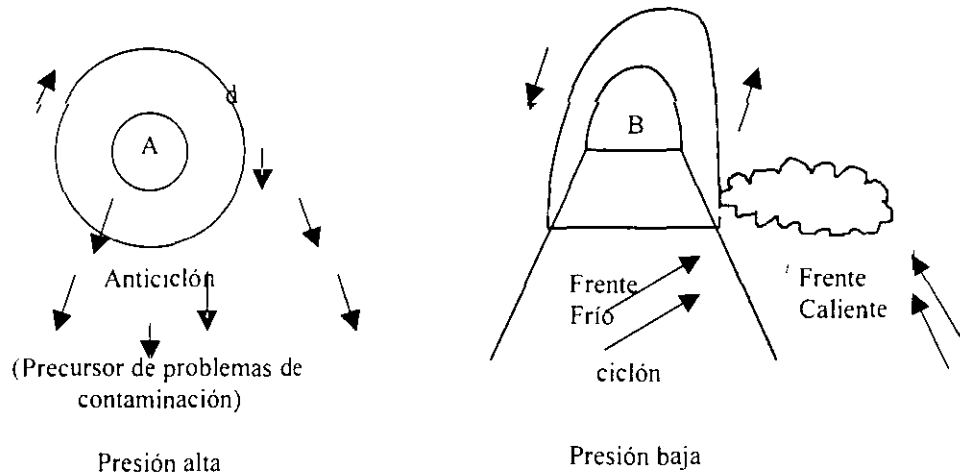


FIG. VI-8.- CONDICIONES ATMOSFERICAS DE CICLON Y ANTICICLON

En cierto sentido, la tierra actúa como un convertidor de ondas en la siguiente forma:

- Acepta energía solar (ondas de alta frecuencia)
- Convierte la energía solar en energía calorífica (ondas de baja frecuencia) y la transfiere al espacio.

La transferencia de calor de la tierra hacia el espacio exterior, se realiza en tres formas diferentes.

- Radiación (ondas de energía), que tienen un efecto menor en la atmósfera.
- Conducción (contacto físico)
- Convección (por movimiento de masas de aire)

El movimiento de las masas de aire es muy variable, debido al movimiento de rotación de la tierra; en el caso que la tierra fuera estacionaria, el movimiento de las masas de aire seguiría un patrón fijo.

Cuando una masa de aire se eleva en la atmósfera de la tierra, empieza a experimentar presión más baja de las moléculas de aire que la rodean, lo cual ocasiona que se expanda.

La expansión baja la temperatura de la masa de aire; el régimen al cual se enfría el aire cuando se eleva, se conoce como "tasa de lapso adiabático seco" y es independiente de

la temperatura ambiente del aire y tiene un valor, de acuerdo con la 1ª ley de la termodinámica, de:

$$\frac{-1^{\circ}\text{C}}{100\text{ m}} = \frac{-5.4^{\circ}\text{F}}{1000\text{ pies}}$$

El término adiabático, significa que no hay intercambio de calor entre la masa de aire considerada y el aire que lo rodea. La disminución real de temperatura, se conoce como "tasa de lapso prevaleciente", y puede tener diferentes valores como se muestra en la Fig. VI-10.

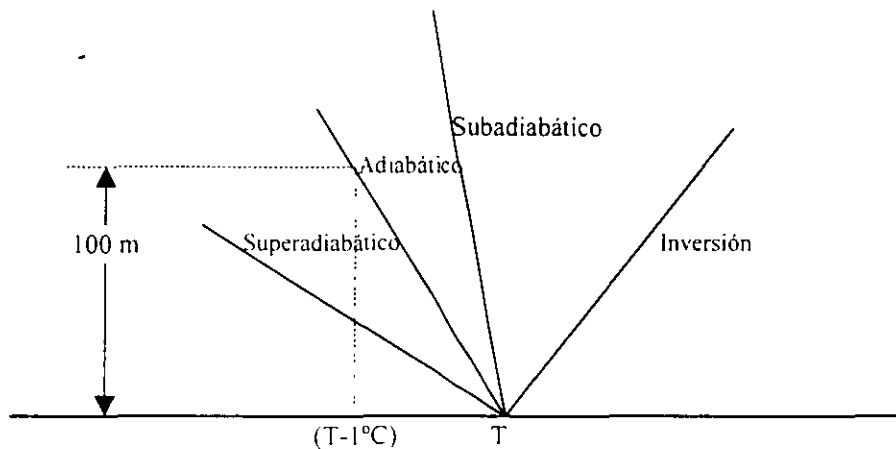


FIG. VI-10.- TIPOS DIFERENTES DE LAPSO PREVALECIENTE

Las tasas de lapso prevaleciente subadiabáticas producen condiciones estables, que son precursoras de problemas de contaminación.

6.2 Nubes explosivas

Una nube explosiva, es la acumulación en el aire capaz de producir un volumen de gas, que se expanda rápidamente y ejerza presión súbita sobre sus alrededores.

No es requisito que una sustancia sea inflamable para producir una explosión; de acuerdo a la sustancia, las nubes explosivas pueden ser causadas por.

- Polvos (sólidos). La nube explosiva se produce cuando el polvo se encuentra suspendido en el aire y se encuentra con una fuente de ignición.
- Gases (y líquidos que se evaporan) En el caso de líquidos, la nube explosiva se forma cuando se evapora y se acumulan y viajan los vapores en el aire. En el caso de gases, es suficiente con que se acumulen.

De acuerdo al lugar donde ocurren, las nubes explosivas pueden clasificarse en:

- Confinadas. Es la que se produce en interiores de edificios o que encuentra obstáculos en su trayectoria
- No confinada Se produce cuando se libera al exterior y no encuentra obstáculos como paredes, tanques, árboles, etc

Las nubes confinadas, tienen un potencial de destrucción mayor que las no confinadas.

No se requiere que exista una fuente de ignición para que explote una nube explosiva, ya que existen casos en donde no existe dicha fuente de ignición, como la explosión de una caldera en el lado de agua, y la explosión de vapor en expansión por líquido en ebullición (BLEVE, Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion). En este caso, se requiere que un recipiente que contenga un líquido, sujeto a una fuente de calentamiento externa (flama directa o el sol); cuando el vapor es inflamable, la fuente de calor produce la ignición y entonces conjuntamente con la BLEVE se presenta una bola de fuego.

De acuerdo a la velocidad de la explosión, se pueden tener detonaciones o deflagraciones. En el primer caso, se tienen velocidades supersónicas y presiones de unos 20 kg/cm^2 , en el segundo caso (deflagraciones), se tienen velocidades subsónicas y sobrepresiones del orden de 1 kg/cm^2 , por lo general producidas por nubes no confinadas.

Nubes explosivas de vapores o gases inflamables

Se dice que una sustancia es inflamable cuando es capaz de producir una flama, requiriéndose material combustible, oxígeno, una fuente de ignición, temperatura suficiente y una cierta relación o concentración de oxígeno (aire/combustible). La relación o concentración mayor y menor de oxígeno/combustible a las cuales se produce la flama, se conocen como límite superior de inflamabilidad y límite inferior de inflamabilidad respectivamente.

Una fuente de ignición, puede ser una chispa, una flama o superficies muy calientes.

Una nube explosiva de vapor inflamable, con concentración dentro de los límites de inflamabilidad, puede explotar en cualquier punto de su trayectoria a partir del punto de fuga; después del límite inferior de inflamabilidad ya no se produce la explosión. Es muy importante identificar y ubicar estos puntos para los estudios de análisis de riesgos.

La explosión de una nube explosiva, puede producirse en el punto de fuga (ignición instantánea) o bien a una cierta distancia (ignición retardada), antes de llegar al límite inferior de inflamabilidad; esta es la distancia más alejada, a la cual puede ocurrir una explosión por ignición retardada de una nube explosiva no confinada. Aunque ésta distancia puede ser calculada, existen factores como mezclas no homogéneas o formación de "bolsas" de acumulación de la sustancia, por obstáculos que causan concentraciones mayores al límite inferior de inflamabilidad calculadas para nubes explosivas no confinadas. Esta es la razón por la cual, se consideran concentraciones menores al límite inferior de inflamabilidad, cuando se definen los radios de control de presencia de fuentes de ignición.

Algunas sustancias tienen la propiedad de inflamarse solo por el efecto de la temperatura; a ésta temperatura se le conoce como de autoignición.

Nubes explosivas de polvos

Las nubes explosivas de polvos, tienen un comportamiento diferente con relación a la ignición, ya que no es aplicable el concepto de límites de inflamabilidad.

Para determinar las características explosivas de un polvo específico, se requiere realizar pruebas de laboratorio. Para que explote una nube explosiva de polvo, se necesita.

- Un determinado tamaño y concentración del polvo, que es variable según el material.
- Que el polvo este en suspensión.
- Una fuente de ignición.
- Una energía mínima de la fuente de ignición
- Un contenido mínimo de oxígeno y una cierta temperatura.

Normalmente, las explosiones de nubes explosivas se producen en lugares cerrados, en donde se acumula el polvo, cuando se produce una explosión, la sacudida ocasiona más nubes de polvo que pueden explotar, en ocasiones con mayor fuerza que la original, porque contienen mayor cantidad de material.

Los modelos que se han desarrollado para calcular los efectos de la explosión de una nube explosiva, son únicamente para gases o vapores de líquidos evaporados, no para polvos; mediante estos modelos o ecuaciones, de acuerdo con las características del material y condiciones meteorológicas, se pueden predecir dichos efectos.

El modelo que más se utiliza, compara la explosión de la sustancia con una explosión equivalente de TNT (trinitrotolueno). El TNT es una sustancia altamente explosiva que siempre detona. además, la onda de sobrepresión de una detonación de TNT, es similar a una onda de sobrepresión por la explosión de una nube de vapor no confinada.

En nubes no confinadas, existe mayor probabilidad de que ocurra una deflagración, con sobrepresiones menores a una detonación, pero el daño es comparable por la mayor duración de la deflagración

El cálculo de la masa equivalente de TNT, puede hacerse de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$M_{TNT} = \frac{C_{comb}}{C_{TNT}} \eta MV$$

en donde:

M_{TNT} = masa equivalente de TNT

C_{comb} = calor de combustión estándar del vapor en la nube

C_{TNT} = energía de explosión de TNT

η = eficiencia de la explosión. Varía entre 1 y 35%, aunque normalmente se usa un valor de 10%, para compensar la combustión incompleta de la nube.

M_v = masa del vapor en la nube

Existen otros modelos, p.e., uno que trata a la explosión como una serie de subexplosiones, cada una centrada en diferentes partes de la nube, que estén en turbulencia o parcialmente confinadas u obstruidas, y otro modelo que considera sobrepresiones e impulso basado en energías adimensionales y números Mach.

A la fecha, no se han desarrollado modelos de simulación para evaluar los riesgos de incendio y explosión por nubes de polvo, realizándose únicamente pruebas de laboratorio que incluyen pruebas de:

- Explosión de nubes de polvos.
- Polvo a granel, aereado y en capas.
- Prevención de explosiones.
- Riesgo electrostático.

Las pruebas de explosión de nubes de polvo, se utilizan para determinar las propiedades de explosión del polvo cuando se encuentra suspendido en una nube, que incluyen:

- Clasificación de la explosividad. Determina si la nube de polvo es combustible que enciende y propaga flamas, o bien que los polvos no encienden cuando están suspendidos.
- Energía mínima de ignición. Determina la menor cantidad de energía requerida para encender el polvo suspendido.
- Severidad de explosión de polvo. Determina la máxima presión de explosión y la tasa máxima de incremento de presión, para concentraciones específicas de polvo.

Las pruebas de polvo a granel, aereado y en capas, valoran los riesgos de incendio y explosión de polvos, cuando no se encuentran en suspensión, aunque si expuestos al calor. Los resultados determinan la temperatura máxima segura de operación.

Las pruebas de prevención de explosión, determinan la forma de prevenir que el polvo explote durante el proceso, e incluyen:

- La determinación de oxígeno mínimo. Mide a que concentración de oxígeno ya no enciende el polvo.
- La concentración mínima de polvo explosivo. Mide la concentración mínima requerida para que no encienda el polvo.

Las pruebas de riesgo electrostático se efectúan para determinar las siguientes características:

- La energía mínima de ignición. Determina la facilidad con que las cargas electrostáticas pueden encender el polvo.
- La resistividad del volumen. Determina la velocidad con la cual pierde carga electrostática el polvo, cuando se encuentra a granel y ciertas condiciones de humedad.

- Cargabilidad. Determina la facilidad con que se carga electrostáticamente el polvo, cuando se pone en contacto con diferentes tipos de superficies como acero inoxidable, vidrio o plástico.

6.3 Modelos de dispersión

6.3.1 Dispersión atmosférica

a) Concentración a nivel de piso

Cuando un pluma conteniendo contaminantes sale al aire, los contaminantes se dispersan conforme la pluma se propaga en la atmósfera. La concentración de contaminantes en el aire a nivel del piso, se determina tanto para esta dispersión como para el régimen de emisión.

La pluma se mueve principalmente en la dirección del viento y la mayor concentración de moléculas contaminantes, siempre está a lo largo de la línea de centro.

También hay difusión de moléculas a través (perpendicular a) de la dirección del viento y entonces la pluma se dispersa lateralmente, conforme se mueve en la dirección del viento.

Un modelo razonablemente bueno de la dispersión de la contaminación del aire, se obtiene si se supone que las secciones transversales de la pluma vertical y horizontal, tienen la forma tradicional Gaussiana. Un análisis completo de la dispersión de la contaminación, esta fuera del alcance de éste trabajo, sin embargo, enseguida se dan dos resultados de éste análisis.

Para una fuente de emisión de contaminantes a nivel de piso, la concentración de contaminantes en el ambiente, directamente en la dirección del viento desde la fuente, esta dada por:

$$X(x, 0.0) = \frac{Q}{u l_y l_z}, \text{ en donde}$$

$X(x,0.0)$ = concentración en el ambiente a nivel de piso, en la dirección del viento en la línea de centro de la pluma a una distancia x , en kg/m^3 .

u = velocidad promedio en la dirección del viento, en m/s

l_y, l_z = desviación estándar de la pluma en las direcciones lateral y vertical, en m .

Q = régimen de emisión de contaminantes, en grs/s

La concentración máxima en la dirección del viento, a nivel de piso a lo largo de la línea de centro de la pluma, para una pluma emitida a nivel de piso o de una chimenea, está dada por:

$$X_{\max} = \frac{0.1171 Q}{u l_y l_z}$$

Las desviaciones estándar I_y y I_z , son mediciones de la propagación de la pluma en las direcciones lateral y vertical, y dependen tanto de la estabilidad atmosférica como de la distancia de la fuente.

La estabilidad atmosférica, se clasifica en categorías de la A a la F y se conocen como clases de estabilidad; en la Tabla VI-6, se muestran estas clases de estabilidad y las velocidades del viento que son consistentes con cada una. En términos de regímenes:

- Las clases A y B, están asociadas con condiciones meteorológicas inestables, superadiabáticas
- La clase C, está cerca de una estabilidad neutra.
- La clase D, está asociada con condiciones ligeramente estables, subadiabáticas.
- Las clases E y F, son inversiones débiles y fuertes, respectivamente.

| CONDICIONES VELOC. DEL VIENTO A 10 M DE LA SUPERF., EN M/S | DIA * ENTRADA DE RADIACION SOLAR (LUZ) | | | NOCHE * | |
|--|--|----------|--------|-------------------|----------|
| | FUERTE | MODERADO | LIGERO | NUBLADO LIGERO | 3/8 |
| | | | | NUBES BAJAS | DE NUBES |
| < 2 | A | A-B | B | - | - |
| 2-3 | A-B | B | C | E | F |
| 3-5 | B | B-C | C | D | E |
| 5-6 | C | C-D | D | D | |
| > 6 | C | D | D | D | D |

* La categoría neutra D, puede considerarse para condiciones de nublado durante el día o la noche

TABLA VI-6.- ESTABILIDAD ATMOSFERICA

En regiones urbanas muy pobladas, raramente se logran estabilidades mayores a la clase D, debido al efecto de isla de calor.

Las estabilidades de las clases E y F, por lo general se encuentran en zonas rurales o áreas no pobladas.

Ejemplo:

En la fuga de una tubería, resulta una emisión de 10 kg./hr de H₂S; cuando la velocidad del viento es de 3.0 m/s y las condiciones de estabilidad es clase C, cuál será la concentración de H₂S a 1.5 km. de la fuga en dirección del viento?

Para x = 1,500 m., de la Fig. VI-12 se obtiene:

$$I_y = 160 \text{ m}$$

$$I_z = 60 \text{ m.}$$

$$y \text{ Q} = 10 \text{ kg./hr} = 2.8 \text{ gr./s}$$

$$C(1500,0,0) = \frac{2.8 \text{ grs/s}}{x(3.0 \text{ m/s})(160 \text{ m})(60 \text{ m})} = 1.7 \times 10^{-5} \text{ grs/m}^3 = 17 \text{ u grs/m}^3$$

b) Concentración en un punto en el espacio

La dispersión, es el proceso de propagar la emisión sobre una área grande y así reducir la concentración de los contaminantes específicos.

La pluma dispersa o propaga los contaminantes en dos direcciones: horizontal y verticalmente. Se considera que la mayor concentración de contaminantes está en la línea de centro de la pluma, en la dirección en que prevalece el viento; mientras más alejada de la línea de centro, la concentración es más baja.

Si se considera que la propagación de una pluma en ambas direcciones, es aproximadamente por una curva de probabilidad Gaussiana, se puede calcular la concentración de un contaminante a una distancia x, en la dirección del viento desde la fuente, por la siguiente expresión.

$$X(x,y,z) = \frac{Q}{2 u l_y l_z} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\left(\frac{y}{l_y} \right)^2 + \left(\frac{z}{l_z} \right)^2 \right] \right\}, \text{ en donde}$$

X = concentración en algún punto en el espacio de coordenadas x, y, z, en kg/m³

Q = emisiones, en kg./s

u = promedio de velocidad del viento, en m/s

l_y y l_z = desviación estándar de la dispersión, en a las direcciones "y" y "z"

Las desviaciones estándar, son medidas de que tanto se propaga la pluma; si "y" y "z" son grandes, la propagación es grande y la concentración es baja. Lo opuesto es verdad, si la propagación es pequeña.

La dispersión depende de la estabilidad atmosférica y de la distancia de la fuente.

Como se mencionó, la estabilidad atmosférica se designa por letras que van de la A a la F, y la Tabla VI-6, es una guía para seleccionar la condición de estabilidad.

Considerando que una chimenea tiene una altura efectiva (altura de la chimenea más la elevación de la pluma) de Hm, la elevación de la línea de centro de la pluma es z = H, y entonces la ecuación de difusión es.

$$X(x,y,z) = \frac{Q}{2 u l_y l_z} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\left(\frac{y}{l_y} \right)^2 + \left(\frac{(z-H)}{l_z} \right)^2 \right] \right\}$$

Puede observarse que la elevación de la línea de centro de la pluma es Z = H, con lo que desaparece el último término exponencial, quedando la ecuación:

$$X(x,y,z) = \frac{Q}{2 u l_y l_z} \exp \left(-\frac{1}{2} \left[\left(\frac{y}{l_y} \right)^2 \right] \right)$$

Esta ecuación, funciona mientras el suelo no tenga influencia en la difusión, lo cual no es una buena suposición, puesto que el suelo no es 100% eficiente como resumidero de contaminantes, y los niveles deben ser más altos al nivel del suelo, debido a la inhabilidad de la pluma para dispersarse en el suelo.

Este efecto puede ser tomado en cuenta, si se piensa en una imagen de espejo imaginario en la fuente a una elevación de $Z-H$, como se muestra en la Fig. VI-13. Tomando esto en cuenta, se puede escribir:

$$X(x,y,z) = \frac{Q}{2 u l_y l_z} (\exp(-\frac{1}{2} [(y/l_y)^2])) \times \\ \times (\exp(-\frac{1}{2} [(Z-H)^2 / l_z^2]) + \exp(-\frac{1}{2} [(Z+H)^2 / l_z^2]))$$

Ejemplo:

En una tarde soleada de verano con una velocidad promedio de viento $u = 4$ m/s, un emisión $Q = 0.01$ kg/s y una altura efectiva de la chimenea $H = 20$ m., determínese:

- La concentración del contaminante a nivel de piso a una distancia de 200 m., desde la chimenea.

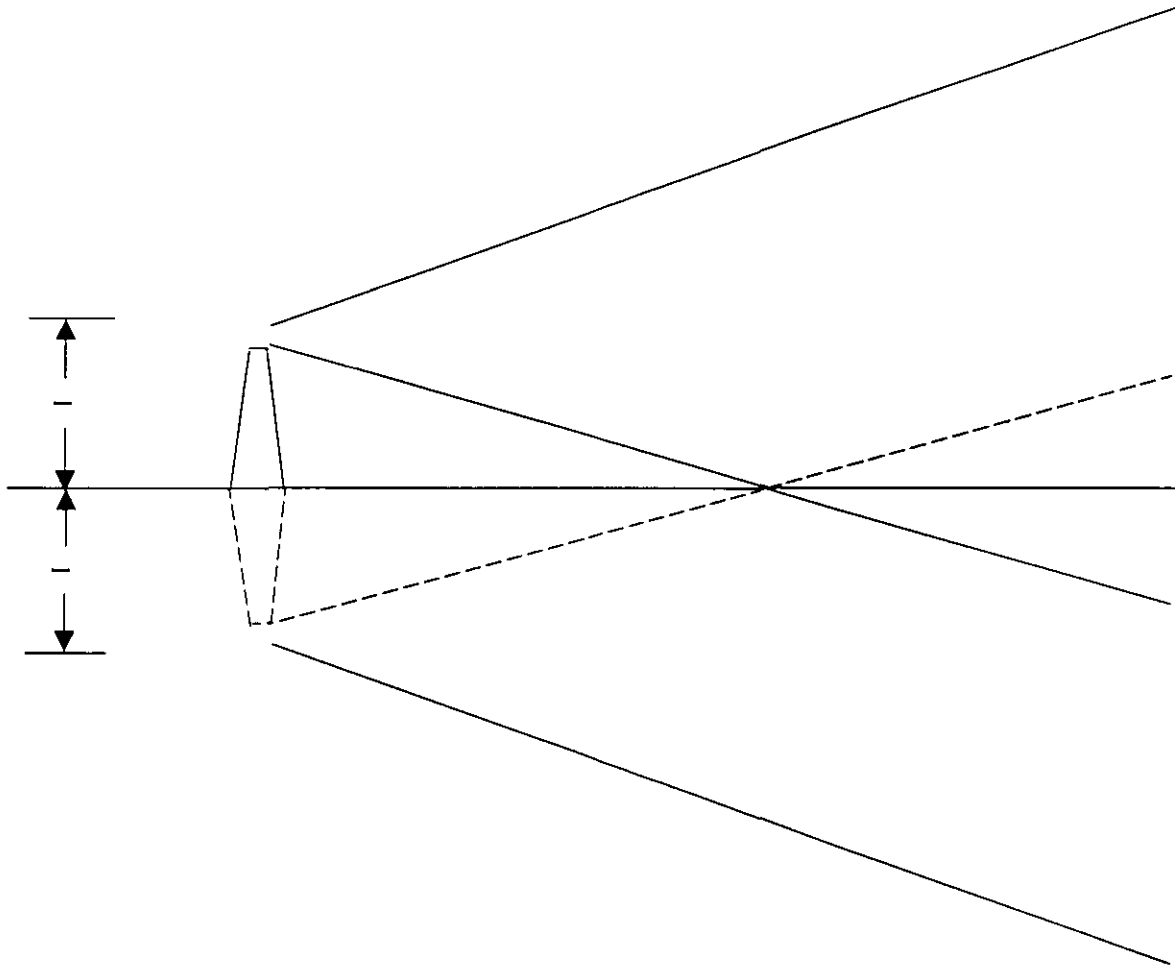


FIG. VI-13.- FUENTE E IMAGEN. EN EL AREA SOMBREADA LA CONCENTRACIÓN ES EL DOBLE POR LA IMAGEN DE LA FUENTE

Usando la ecuación anterior, se determina, que a 200 m.

$$l_y = 36$$

$$l_z = 20$$

Para una condición superadiabática y con fuerte radiación solar, según la Tabla VI-6, la condición atmosférica es de tipo B

Se observa que la concentración máxima ocurre en la línea de centro de la pluma a "y"=0

$$X = \frac{Q}{2 u l_y l_z} \{ \exp (-\frac{1}{2} [(y/l_y)^2]) \} \times \{ \exp (-\frac{1}{2} [(Z - H)^2 / l_z^2]) + \exp (-\frac{1}{2} [(Z + H)^2 / l_z^2]) \}$$

$$X = \frac{0.01}{2 (3.14) (4) (36) (20)} \{ \exp (-\frac{1}{2} [(0/36)^2]) \} \times \{ \exp (-\frac{1}{2} [(0-20)^2 / 20^2]) \}$$

$$+ \exp(-\frac{1}{2} [(0+20)^2 / 20^2])\}}}$$

$$X = (5.53 \times 10^{-7}) (1) (e^{-\frac{1}{2}} + e^{-\frac{1}{2}})$$

$$X = (5.53 \times 10^{-7}) (0.6 + 0.6) = 6.64 \times 10^{-7} \text{ kg/m}^3$$

$$x = 664 \text{ ugr/m}^3$$

6.3.2 Limpieza de la atmósfera

Puesto que todavía no nos hemos asfixiado, aún cuando inmensas cantidades de contaminantes se han estado lanzando al aire en millones de años, debe existir una serie de procesos por los cuales se limpia el aire; estos, incluyen el efecto de gravedad, contacto con la superficie de la tierra y remoción por precipitación.

Si son de suficiente tamaño, las partículas se remueven por simple asentamiento bajo la influencia de la gravedad, aunque las partículas comunes tienen velocidades de asentamiento muy bajas, p.e., una partícula de 1 μm tiene una velocidad de asentamiento de cerca de 1 cm/s , en condiciones ideales de quiescencia.

Debido a turbulencia en la atmósfera, prácticamente las partículas menores de 20 μm raramente se asientan por gravedad. Los gases se remueven por gravedad solo si son absorbidos en las partículas, p.e., el bióxido de azufre es fácilmente absorbido y entonces se remueve parcialmente por gravedad.

La materia de partículas no se dispersa en el aire en la misma forma que los contaminantes gaseosos.

Las partículas mayores de 1 mm de diámetro, caen fuera de la corriente de aire demasiado rápidamente, para que puedan ser dispersadas sobre cualquier distancia grande.

Las partículas que interesan como contaminantes del aire, las cuales son suficientemente pequeñas, para permanecer en el aire por periodos de tiempo apreciables, pero no suficientemente grandes para ser dispersadas en forma diferente a los gases, por lo general están entre 1 μm y 100 μm de diámetro.

Muchos de los gases son absorbidos por la superficie de la tierra, incluyendo piedras, vegetación y otros materiales; algunos gases como el SO_2 , son fácilmente disueltos en las superficies de aguas.

El tercer mecanismo mayor de remoción es por precipitación, del cual hay dos tipos:

- Proceso "en nubes", llamado lluvia, en donde partículas submicrónicas se vuelven núcleos por la formación de gotas de lluvia que crecen y eventualmente caen como precipitación.
- El llamado lavado, que es un proceso "bajo-nube", en donde la lluvia cae a través de los contaminantes del aire; los contaminantes, son impactados o disueltos en las gotas y arrastrados a la tierra.

La importancia relativa de estos mecanismos de remoción, fue ilustrada por un estudio de emisiones de SO₂ en Gran Bretaña, en donde se encontró que la superficie absorbió el 60% de SO₂, 15% fue removido por precipitación y 25% dejó a la Gran Bretaña yéndose a otras partes.

Conclusión

Las contingencias de contaminación del aire, son el resultado de altas emisiones y combinaciones de factores meteorológicos, entre los que se encuentran:

- Muy poco movimiento horizontal del aire
- Condiciones atmosféricas estables, que resultan en un muy limitado movimiento vertical del aire.
- Niebla, que promueve la formación de contaminantes secundarios e impide al sol calentar el piso y romper las inversiones.
- Areas de alta presión, que resultan en movimiento vertical hacia abajo del aire y ausencia de lluvia para el lavado de la atmósfera.

Debido a que existe el potencial de conocer la información meteorológica, parece razonable que puedan predecirse las contingencias ambientales

6.3.3 Modelación de la dispersión de contaminantes

Técnicamente la dispersión de contaminantes se puede dividir en cinco etapas, como se muestra en la Tabla VI-7.

- 1ª Etapa: Está dominada por la turbulencia debida a la velocidad y energía de expansión. El patrón de flujo es el de un chorro, que determina la incorporación del aire.
Tiene un crecimiento simétrico por la turbulencia generada por la velocidad o energía de expansión; tanto para emisión instantánea como continua, la nube tiene una concentración de perfil Gaussiano
El final de ésta fase inicial, ocurre cuando la velocidad de propagación es menor que la velocidad a la que ocurriría por caída gravitacional, y se toma como el principio de la siguiente etapa, que es la de caída. Si no se trata de una nube densa, el final ocurre cuando la velocidad de propagación es menor que la de dispersión pasiva. Los perfiles de concentración y densidad son Gaussianos y el volumen del chorro no es constante.
- 2ª Etapa: Es un híbrido dominada por turbulencia y densidad; la fuga aún está atrapando aire a cierta velocidad por su turbulencia inicial, pero empieza a extenderse lateralmente por tener mayor densidad que el aire.
El modelo de chorro uniforme, trata a la emisión como un chorro de volumen constante, con una sección transversal en que la concentración es uniforme. Se emplea para la fase inicial de emisiones horizontales, a nivel de piso o elevaciones.
- 3ª Etapa: Combina los aspectos relevantes de la chorro uniforme (2ª Etapa) y la de nube densa (4ª Etapa). Usa las relaciones para la propagación del frente para nube densa, mientras supone que el incorporamiento de aire continua, a una velocidad apropiada a las etapas iniciales de turbulencia.
- 4ª Etapa: Es en nube densa que puede ocurrir de diferentes formas: puede resultar de la emisión de un material con peso molecular mayor que el aire, o de material enfriado

con peso molecular menor al aire. La presencia de gotitas de líquido en la nube, también puede contribuir a comportamiento de nube densa.

Las nubes densas, se dispersan de forma diferente a los chorros y nubes con flotación neutral; se dispersan como nubes planas que permanecen a nivel de piso, y se propagan hacia afuera por la caída gravitacional. El ensanchamiento de la nube, produce una área superficial a través de la cual ocurre el incorporamiento de aire a la nube, asociado con la misma propagación.

Al dispersarse, los efectos de densidad de la nube son menos importantes, hasta que finalmente se llega al comportamiento pasivo de la nube, en que la turbulencia ambiente es la principal causa de dilución

- 5ª Etapa: A cierta distancia de la fuente el material emitido, se dispersa a tal grado, que su diferencia de densidades con el aire deja de ser definitiva, y sigue completamente las líneas de flujo atmosférico, que depende de la clase de estabilidad atmosférica. Las nubes pasivas o de flotación neutral, tienen una densidad y velocidad que no difiere significativamente de la densidad y velocidad atmosférica.

La dispersión se puede modelar estadísticamente; un perfil Gaussiano es apropiado para emisiones de fuentes puntuales. El ancho de los perfiles de concentración, por lo general es diferente en las direcciones horizontal y vertical de la sección transversal de la nube, y se describen por los parámetros l_1 y l_2 .

| Fase | Modelo | Régimen de Incorporación de Aire | Régimen de Propagación del Frente | Perfil de Concentración |
|-------------------|------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| Mezcla Turbulenta | Chorro Gaussiano | Turbulento (chorro) | Turbulento | Gaussiano |
| Mezcla Turbulenta | Chorro Uniforme | Turbulento (chorro) | Turbulento | Uniforme |
| Híbrida | Híbrido | Turbulento (chorro) | Caída | Uniforme |
| Nube Densa | Nube Densa | Denso | Caída | Uniforme |
| Pasiva | Nube Pasiva | Turbulencia Atmosférica | Pasivo | Gaussiano |

TABLA VI-7.- CARACTERISTICAS DE REGIMENES DE DISPERSIÓN

6.4 Grado de afectación (nociva)

El grado de afectación, es el nivel en que se modifica a un elemento de interés; la modificación es indeseable, y es ocasionada por fenómenos naturales o actividades antropogénicas. La afectación puede ser al ambiente o a la ecología.

La afectación nociva puede ser sobre la salud humana, los bienes, la estética y el clima global; normalmente no se consideran casos de contaminación, sino más bien accidentes industriales.

Por lo general, decir que una sustancia es nociva no tiene mucho sentido, a menos que se especifique la dosis. Paracelso (1493-1541) estableció que: "existe un veneno en todo y nada existe sin veneno; es la dosis lo que lo hace nocivo". La dosis, puede expresarse en la siguiente forma.

$$\text{Dosis} = \int (\text{concentración en la exposición}) \times t (\text{tiempo})$$

Para determinar que dosis es nociva, se debe construir una "curva de respuesta a la dosis"; las curvas de este tipo (Fig. VI-15), solo se pueden construir para un contaminante por separado, para una población homogénea hipotética y durante un periodo específico.

En higiene industrial, se ha observado que existe cierta concentración de contaminantes conocida como "valor de umbral", que "representa las condiciones a las que pueden exponerse repetidas veces la mayoría de los trabajadores, diariamente sin tener efecto adverso".

Los valores anteriores, que se conocen como TLV (Treshold Limit Values), "valor límite de umbral", son establecidos por las juntas de higiene y seguridad.

Para establecer la curva de respuesta a la dosis para un contaminante, se tienen tres enfoques posibles:

- Experimentos con animales
- Experimentos de laboratorio con seres humanos
- Estudios epidemiológicos de poblaciones humanas

El propósito de una cuantificación de riesgos, es identificar los riesgos existentes y estimar el grado de afectación potencial, para definir las medidas de prevención o mitigación necesarias y comunicarse a las partes correspondientes. Una forma de comunicar los riesgos, es mediante la determinación de los radios de afectación, que son la distancia que existe entre el evento indeseable y el efecto que ocasiona.

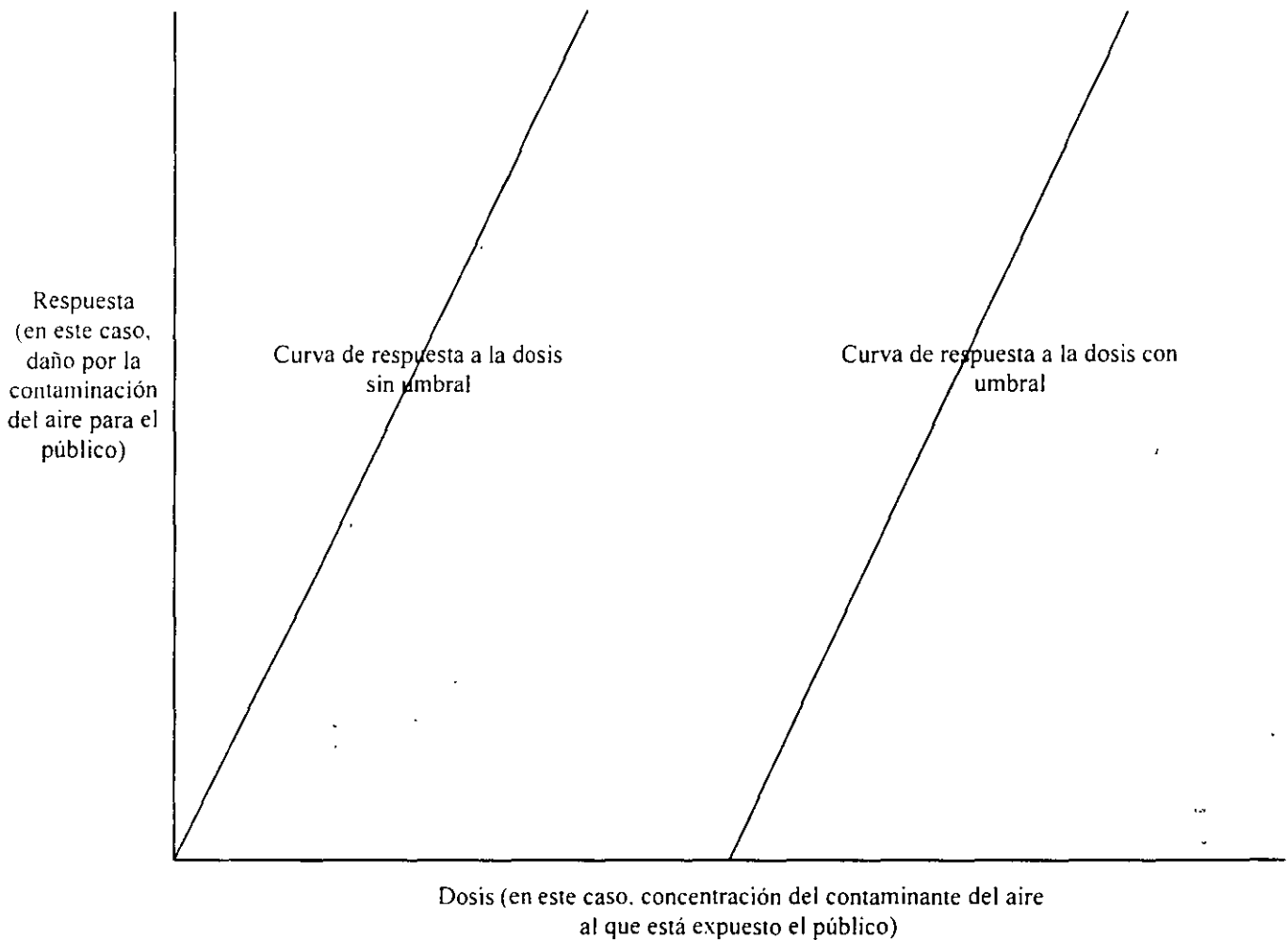


FIG. VI-15.- CURVAS DE RESPUESTA A LA DOSIS CON UMBRAL Y SIN UMBRAL. LAS RECTAS SON UNA ADMISION DE IGNORANCIA; EN GENERAL, NO SE CONOCEN LAS FORMAS VERDADERAS DE ESTAS CURVAS

El grado de afectación, que por lo general está relacionado con la liberación de sustancias químicas, puede cuantificarse en términos de:

- Toxicidad
- Explosividad
- Inflamabilidad
- Daño físico

6.4.1 Toxicidad

La toxicidad de una sustancia, es la capacidad que tiene de causar daño a un organismo vivo. No es posible definir la toxicidad de una sustancia en términos cuantitativos, sin referirse a los siguientes conceptos:

- Cantidad de sustancia administrada o absorbida
- La vía por la cual se administra (inhalación, ingestión, inyección, contacto o absorción)
- La distribución en el tiempo
- El tipo y gravedad del daño
- El tiempo para causar el daño

Los modos como actúan dentro del organismo, pueden estar relacionados con su sola presencia o por reacción dentro del organismo, p.e.:

- Sustancias que al estar presentes desplazan al oxígeno y provocan asfixia.
- El plomo, inhibe la formación del grupo hemo de la hemoglobina, produciendo anemia.

Por el tiempo de exposición, la toxicidad se clasifica en aguda (tiempo de exposición corto dentro de 24 horas) o crónica (tiempo de exposición prolongado).

La etapa de desarrollo puede ser embrionario, infancia, madurez o grado de sensibilidad

Por lo general para medir la toxicidad se hacen pruebas de laboratorio conocidas como bioensayos, que son pruebas realizadas en organismos vivos, para determinar el riesgo o potencial de una sustancia por su efecto sobre animales, tejidos aislados o microorganismos.

Con los datos de bioensayos, se construyen las relaciones de dosis-respuesta para personas, determinadas de datos de salud o estudios epidemiológicos. La toxicidad se determina en organismos no humanos, incrementando la dosis hasta que muere el organismo, definiendo los términos LD₅₀ (dosis letal por la cual mueren el 50% de los animales experimentales) y LC₅₀, que es la concentración letal en lugar de la dosis

Con los resultados de bioensayos y factores de escalación, se pueden definir concentraciones de sustancias que tienen efecto en seres humanos, y que permiten una evaluación rápida y práctica de la afectación potencial, que pueden causar cuando se liberan. Estas concentraciones, se consideran de exposición aguda y se designan en la siguiente forma:

- TLV Definida anteriormente como Threshold Limit Value (Valor Umbral Límite). En México, los valores de TLV están incorporados en la NOM-010-STPS-1999, relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se producen, almacenan o manejan sustancias químicas, capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral.
- IDLH. Es la abreviatura de Immediately Dangerous to Life and Health, es decir, Inmediatamente Peligroso a la Vida y Salud (IPVS). Representa la máxima concentración a la cual, en caso de falla de respirador, puede escapar en 30 minutos una persona sin respirador, sin experimentar algún efecto que impida el escape (p.e., irritación severa de ojos) o bien efectos irreversibles a la salud.
En México no se han incorporado los valores IDLH a la normatividad, aunque se mencionan en la NOM-018-STPS-2000, relativa al sistema de identificación y comunicación de riesgos por sustancias químicas en los centros de trabajo, como parte de la información que hay que llenar, en las Hojas de Datos de Seguridad de Sustancias Químicas, como IPVS.

- ERPG. Es la abreviatura de Emergency Response Planning Guidelines, es decir, Guías de Planeación de Respuesta a Emergencias (GPRE). Es la máxima concentración de una sustancia química en el aire, por debajo de la cual casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta por una hora, sin experimentar o desarrollar efectos nocivos a la salud. Existen tres niveles de ERPG: ERPG-1-Irritación o percepción ligera; ERPG-2-Efectos irreversibles o síntomas que eviten que un individuo se proteja; ERPG-3-Efectos que amenacen la vida. En la EPA se definieron las ERPG, con la intención que sirvan como criterios de afectación a la población, por lo que son más útiles que los TLV e IDLH para evaluar riesgos de procesos, que toman en cuenta la afectación de la población, en análisis de riesgos, se deben considerar los radios de afectación por fuga de sustancias tóxicas de la ERPG-2 (efectos irreversibles o síntomas que evitan que un individuo se proteja). En México no se conocen estas concentraciones y no se utilizan.

En la evaluación de riesgos, hay otras concentraciones de sustancias químicas que es conveniente tomar en cuenta, p.e.:

- LOC (Level of Concern). Sustancias químicas que pueden causar efectos nocivos a la salud serios e irreversibles, por emisiones accidentales.
- MAK. Concentración máxima aceptable, definida por la German Research Society.
- Cantidad de reporte. Listados en México de actividades altamente riesgosas, que indican sustancias químicas con sus respectivas cantidades de reporte, que es la cantidad mínima de sustancia peligrosa en producción, procesamiento, transporte; almacenamiento, uso o disposición final o la suma de estas, existentes en una instalación o medio de transporte, que al ser liberada ocasionaría una afectación significativa al ambiente, población o sus bienes.

En el caso de los efectos a exposición crónica a una sustancia química, en muchas ocasiones los efectos aparecen años después, por lo que es difícil establecer las causas y responsabilidades, ocasionando que los controles actuales sean deficientes. La falta de información impide una mejor protección, por la falta de concientización

6.4.2 Explosividad

El grado de afectación por explosividad, se refleja en los daños fisiológicos o estructurales, que ocurren en el receptor como consecuencia de las ondas de sobrepresión, producidas por una explosión.

Los daños mencionados, se encuentran consignados en las siguientes Tablas:

- Tabla VI-8 - Efectos fisiológicos por las ondas de sobrepresión.
- Tabla VI-9.- Efectos estructurales por las ondas de sobrepresión.

| Presión (psi) kg/cm2 | Efecto |
|------------------------|---|
| (5) 0.35 | Umbral de ruptura de tímpano |
| (15) 1.05 | 50% de probabilidad de ruptura de tímpano |
| (30-40) 2.11 - 2.81 | Umbral de daño a pulmón |
| (80+) + 5.63 | Daño severo a pulmón |
| (100-120) 7.04 - 8.45 | Umbral de letalidad |
| (130-180) 9.15 - 12.67 | 50% de probabilidad de letalidad |
| (200-250) 14.08 - 17 | Casi 100% de probabilidad de letalidad |

TABLA VI-8.- EFECTOS FISIOLÓGICOS POR LAS ONDAS DE SOBREPRESIÓN

| Presión (psi) kg/cm2 | Efecto |
|--------------------------|--|
| (0.03) 0.002 | Ruptura ocasional de ventanas de vidrio grandes que estén bajo tensión |
| (0.1) 0.007 | Ruptura de ventanas pequeñas que están bajo tensión |
| (0.3) 0.021 | "Distancia segura" (probabilidad de 0.95 de que no ocurran daños serios a partir de este valor), límite de proyectiles, algunos daños a techos de casas, ruptura del 10% de ventanas de vidrio |
| (0.5-1.0) 0.035-0.070 | Ventanas grandes y pequeñas normalmente estrelladas; daño ocasional a marcos de ventanas |
| (1.0) 0.070 | Demolición parcial de casas, se vuelven inhabitables. |
| (2.0) 0.140 | Colapso parcial de techos y paredes de casas. |
| (3.0) 0.210 | Poco daño a maquinaria pesada (3000 lb) dentro de edificios industriales; armazones de acero en edificios se deforman y son arrancados de sus cimientos |
| (4.0) 0.280 | Ruptura del revestimiento de edificios industriales ligeros. |
| (5.0) 0.350 | Los postes de madera se rompen súbitamente; prensas hidráulicas altas (40,000 lb) en edificios son ligeramente dañadas. |
| (7.0) 0.490 | Volcadura de vagones de ferrocarril cargados. |
| (9.0) 0.630 | Demolición total de vagones de ferrocarril cargados. |
| (10.0) 0.700 | Probable destrucción total de edificios, desplazamiento y daño fuerte a maquinaria pesada (7000 lb), la maquinaria muy pesada (12,000 lb) sobrevive |
| (300) 21.1 | Formación de crater volcánico. |

TABLA VI-9.- EFECTOS ESTRUCTURALES POR LAS ONDAS DE SOBREPRESIÓN

En la mayoría de las veces, para que exista una explosión se requiere que exista una fuente de ignición, por lo que en la evaluación de riesgos por sustancias explosivas, es necesario conocer el comportamiento de la nube y las distancias de los límites de inflamabilidad superior e inferior. Estos límites, están calculados para la mayoría de las sustancias inflamables empleadas, y se encuentran en las Hojas de Datos de Seguridad de Sustancias Químicas, que de acuerdo con la NOM-018-STPS-2000, deben estar en todas las instalaciones que manejen sustancias peligrosas.

6.4.3 Inflamabilidad

El grado de afectación por inflamabilidad, se manifiesta en daños fisiológicos o estructurales, por la ocurrencia de un incendio.

La inflamabilidad de una sustancia, es la tendencia a encenderse y aplica a sólidos, líquidos o gaseosos.

Un incendio, es un fenómeno en el cual una sustancia combustible arde y produce flama, al ponerse en contacto con una fuente de ignición. La flama libera energía y el grado de afectación, depende de los niveles de radiación térmica emitidos, y pueden afectar por:

- Aceleración de moléculas por el incremento de temperatura
- Ebullición y fusión de sustancias en el área afectada

El resultado más conocido de exponerse a una fuente de calor, se conoce como quemadura, que se define como el daño causado al cuerpo por contacto con flamas, sustancias calientes, sustancias químicas, electricidad o radiación; los efectos pueden presentarse de inmediato, retardarse varias horas o aún de 10 a 30 días en las quemaduras por radiaciones ionizantes.

La severidad de una quemadura, se mide de acuerdo a la profundidad del tejido destruido y la superficie del cuerpo afectada; las quemaduras se clasifican en los siguientes grados:

- 1er grado. Solo la epidermis es afectada, como las quemaduras leves por la exposición al sol.
- 2º grado: Las que causan daños mas allá de la epidermis y se extienden a la dermis; los daños típicos son la formación de ampollas, que deben cuidarse por el riesgo de infección.
- 3er grado: Destruyen todo el grueso de la piel y a todos los receptores nerviosos que indican dolor; son muy graves, porque pueden causar shock o pérdida de fluidos y disturbios metabólicos
- 4º grado: Son quemaduras muy profundas eléctricas, que llegan a afectar el músculo y el hueso

Para evaluar riesgos por inflamabilidad, se requiere conocer la localización de las fuentes de ignición, incluyendo en estas, a las superficies calientes o radiación de calor que pueden encender a ciertos materiales a temperaturas elevadas, sin la existencia de chispa o flama.

Los tipos de incendios, pueden clasificarse en la siguiente forma:

- Incendio de charcos. La fuente de ignición se aplica a un charco de líquido inflamable, derramado; las flamas son verticales.
- Bola de fuego. Resulta de la liberación instantánea de un gas o líquido inflamable que encuentra la fuente de ignición en el punto de emisión; las flamas irradian en todas direcciones.
- Flamas de chorro o de jet. Ocurren cuando un gas o líquido inflamable fuga por un orificio y encuentra una fuente de ignición en el punto de fuga; la dirección de la flama es igual a la dirección de la fuga.

- Flamazos. Son fuegos de chorro de duración semi-instantánea.
- Incendios de sólidos. Son similares a los incendios de charcos, porque el material esta acumulado sobre una superficie; las flamas tienen una dirección vertical.

En la Tabla VI-10, se muestran los efectos fisiológicos de acuerdo a los niveles de radiación térmica, y en la Tabla VI-11 los efectos estructurales.

| Flujo de calor Kw/cm ² | Efecto |
|-----------------------------------|---|
| 1.75 | Umbral de dolor alcanzado después de 1 minuto |
| 5 | Umbral de dolor alcanzado después de 15 segundos |
| 6.4 | Umbral de dolor alcanzado después de 8 segundos, quemaduras de segundo grado después de 20 segundos |
| 12.5 | Potencial de que el 10% de la población afectada muera en exposiciones de 1 minuto |
| 16 | Quemaduras severas después de 5 segundos |
| 37.5 | Potencial de que el 100% de la población muera en exposiciones de 1 minuto |

TABLA VI-10 EFECTOS FISIOLÓGICOS DE ACUERDO A LOS NIVELES DE RADIACIÓN TÉRMICA

| Flujo de calor Kw/cm ² | Efecto |
|-----------------------------------|---|
| 2 | Daños a cables forrados con PVC |
| 12.5 | Fundición de tubería de plástico, la madera se enciende en presencia de flama |
| 25 | La madera se enciende sin presencia de flama |
| 37.5 | Suficiente para causar daño a equipo de proceso |

TABLA VI-11.- EFECTOS ESTRUCTURALES

Similarmente a las explosiones, se requiere conocer los límites de inflamabilidad, para determinar en donde deben evitarse las fuentes de ignición.

6.4.4 Criterios para definir grados de afectación

A efecto de comunicar en forma comprensible los riesgos a las personas interesadas, se requiere tener un sistema homogéneo para determinar los grados de afectación. En la actualidad, se tienen los siguientes criterios.

SS.- Tiene normadas las concentraciones máximas permisibles en el aire de los siguientes contaminantes: NO_x, SO₂, CO partículas, Pb y O₃.

STPS - Tiene establecidos los límites máximos de concentración permitidos de sustancias en el ambiente laboral.

SEMARNAT.- Tiene normados los niveles máximos permitidos de emisiones a la atmósfera de partículas y gases de combustión.

La normatividad anterior, se refiere a límites para emisiones a la atmósfera de sustancias tóxicas, es decir, que faltan criterios para la afectación por inflamabilidad y explosividad, aunque existen las siguientes opiniones:

- Establecer la máxima distancia para evitar fuentes de ignición, más allá del límite inferior de inflamabilidad.
- La onda de sobrepresión por explosión, debe ser menor de 0.5 psi fuera del límite de propiedad de la empresa (INE-SEMARNAT).
- No debe existir concentración IDLH fuera del límite de propiedad de la empresa (INE-SEMARNAT).

La Asociación Nacional de la Industria Química ANIQ, conjuntamente con la Dirección General de Protección Civil DGPC, publicaron una Guía de Respuestas Iniciales en casos de Emergencia, para transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos, aunque únicamente para sustancias tóxicas.

En Mayo de 1996, en EUA se publicaron reglas para administración de riesgos, con criterios de afectación de gases y líquidos peligrosos por:

- Incendios
- Explosiones
- Toxicidad

Las reglas mencionadas, se conocen con el nombre de Risk Management Program Rule. (RMP), y la vigilancia de su cumplimiento es responsabilidad de la EPA. El RMP, requiere evaluación de consecuencias por emisiones accidentales, y definición de grados de afectación por toxicidad, inflamabilidad y explosión, en la siguiente forma:

- Toxicidad.- Definir la distancia afectada por la concentración ERPG-2;
Si no está calculado ERPG-2, entonces LOC;
Si no se tiene el valor de LOC, entonces el 10% de IDLH;
Si no se tiene el IDLH, entonces el 10% de LC₅₀ o 1% de LD₅₀
- Inflamabilidad.- Definir distancia afectada, por nivel de radiación térmica de 5 kw/m² durante 40 segundos, o bien la distancia afectada por el límite inferior de inflamabilidad.
- Explosividad - Definir la distancia afectada por el nivel de sobrepresión de 0.07 kw/cm² (1.0 psi)

6.5 Modelos de simulación

6.5.1 General

Un modelo de simulación, es una forma de representar el comportamiento de un fenómeno real o de un conjunto de elementos reales.

Por lo general, los modelos de simulación se utilizan para pronosticar el comportamiento de sistemas, a través del análisis de su funcionamiento y la definición de variables, que representen sus elementos.

Prácticamente, todos los fenómenos reales son más complejos, que lo que pueda expresarse en ecuaciones matemáticas, que son la base de los modelos de simulación, por lo cual, se requiere hacer simplificaciones y suposiciones, que posteriormente deben validarse.

El uso moderno de la palabra simulación, se remonta hasta a fines de la década de 1940, cuando Von Neumann y Ulam emplearon el término "análisis de Monte Carlo", para aplicarlo a una técnica matemática, usada para resolver problemas de protección nuclear, que eran muy costosos para experimentar o muy complicados para tratarlos analíticamente.

El análisis de Monte Carlo, incluía la solución de un problema no probabilístico, mediante la simulación, de un proceso estocástico, cuyos momentos o distribuciones de probabilidad, satisfacen las relaciones matemáticas del problema no probabilístico.

Simulación, es una técnica numérica para conducir experimentos en computadora, que requieren ciertos tipos de modelos lógicos y matemáticos, que describen el comportamiento de un fenómeno real, por periodos de tiempo real.

Los modelos de simulación, están estrictamente relacionados con el método científico descrito por Sir Francis Bacon en 1620, que consiste de cuatro pasos:

- Observación de un sistema físico
- Formulación de una hipótesis (modelo matemático), para intentar explicar las observaciones hechas.
- Predicción del comportamiento del sistema, de acuerdo a la hipótesis usando la deducción lógica o matemática, para obtener soluciones del modelo matemático.
- Realización de experimentos, para probar la validez de la hipótesis o modelo matemático.

De acuerdo al planteamiento matemático, los modelos de simulación pueden clasificarse en la siguiente forma:

- Determinísticos
- Estocásticos
- Estáticos
- De distribución (dinámicos)

En la Fig VI-16, se muestra el flujograma para elaborar modelos de simulación. Los modelos de simulación se han desarrollado en los últimos 15 años, para ayudar a estimar el impacto de los contaminantes en el ambiente. Existen modelos para:

- La calidad del aire
- La calidad del agua
- Vegetación y fauna silvestre
- Energía

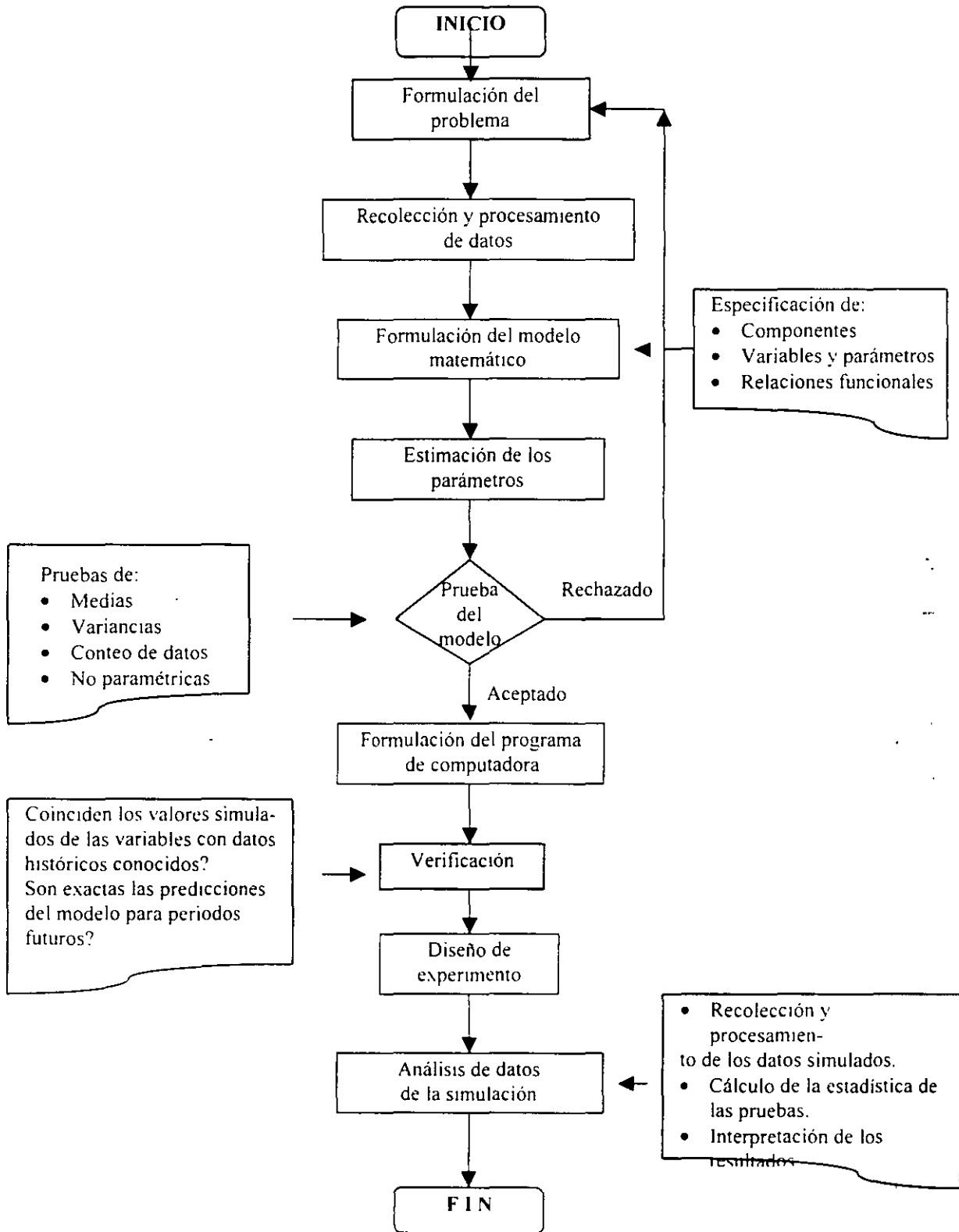


FIG. VI-16.- FLUJOGRAMA PARA ELABORAR MODELOS DE SIMULACION

6.5.2 Modelo de calidad del aire

Estos modelos, por lo general se usan para estimar la dispersión e impactos de los contaminantes en el aire, de una amplia variedad de fuentes; los modelos, ayudan a simular las interacciones atmosféricas.

La complejidad de los modelos, varía desde un simple modelo de caja, hasta los mas complejos. La precisión de algunos de estos modelos no es buena y depende de la complejidad de la metereología, estabilidad atmosférica, química atmosférica y habilidades del modelador.

Las fuentes de emisión pueden ser puntuales (de una chimenea) o no puntual (de una área general); un ejemplo de fuente no puntual podría ser polvo fugitivo y evaporación.

Los modelos pueden ayudar a estimar la concentración en ppm de partículas; el SO₂ de la chimenea de una caldera, puede estimarse en la línea de propiedad o cerca del receptor sensitivo.

Los cuatro tipos generales de modelos de calidad del aire, que van del más simple al más complejo incluyen los siguientes:

Modelos de caja.- Se usa para fuentes en el piso, que se distribuyen uniformemente en una área pequeña; el modelo, supone que los contaminantes se generan en un volumen fijo limitado por arriba y a los lados, lo cual no es el caso en la vida real. Este modelo es de valor limitado, excepto para ciertos casos.

Modelo proporcional.- Normalmente se usa para estimar concentraciones de contaminantes primarios y secundarios; está basado en la idea que la calidad del aire se deteriora en proporción a un incremento en las emisiones. Este modelo también considera la velocidad del viento.

Modelos de base Gaussiana - Estos modelos, agregan la habilidad de considerar dispersión turbulenta y estabilidad atmosférica; hay diferentes tipos de estos modelos de calidad del aire, usados para estimar los impactos al aire. Los modelos de base Gaussiana, solo pueden manejar procesos simples de química del aire, lo cual limita su aplicación.

Modelos de base numérica.- Son el cuarto tipo de modelos de calidad del aire; son los más comúnmente usados y en la mayoría de los casos los más precisos. Son los que mejor consideran los procesos complejos de química del aire, requieren una base de datos mucho mas grande y mejores habilidades del modelador.

6.5.3 Modelación de la calidad del agua

Los modelos de la calidad del agua, se han desarrollado para ayudar a los investigadores, a comprender lo que pasa a los contaminantes en los sistemas de aguas superficiales y subterráneas; estos modelos, calculan y proveen ilustraciones en tres dimensiones, de como se mueven el agua y los contaminantes en el sistema. Algunos modelos incluyen otras variables, en adición a los factores relacionados con el agua, como elementos biofisicos, socioculturales e institucionales.

Hay muchos diferentes indicadores ambientales usados en los modelos, para ayudar a evaluar la calidad del agua, se han listado mas de 100 indicadores diferentes como pH, Oxígeno disuelto OD, etc. Todos estos indicadores se organizan en las siguientes categorías generales:

Geofísica

- Geología
- Suelos
- Topografía
- Erosión/sedimentación

Hidrología

- Agua superficial
- Agua subterránea
- Meteorología

Calidad del agua

- Agua superficial
- Agua subterránea

Sistemas de agua

- Uso del agua
- Facilidades de tratamiento de agua
- Sistemas de distribución

Sistemas de agua de desecho

- Sistemas de recolección
- Sistemas de tratamiento

Hay tres tipos generales de modelos de calidad del agua que pueden ser utilizados:

- De una dimensión.- Normalmente se usan para corrientes que fluyen solo en una dirección; se supone que todas las concentraciones son uniformes a través de la corriente y verticalmente, lo cual no es verdad en la realidad.
- De dos dimensiones - Se usan para ríos grandes, que no son uniformes en concentración en el ancho y profundidad; se toman en cuenta las condiciones de estratificación térmica
- De tres dimensiones - Estos modelos, consideran variaciones en las direcciones lateral, horizontal y vertical, y se requiere mayor habilidad y datos para soportarlo, dando como resultado mayor precisión y costo.

Se pueden considerar varias aplicaciones de modelos de agua, entre los que se encuentran los siguientes.

- De zona de mezclado.- Ayudan a determinar cuando los contaminantes se mezclan uniformemente, a través de toda la corriente.
- De Oxígeno disuelto.- Consideran la demanda bioquímica de Oxígeno (DBO), temperatura y Oxígeno disuelto (OD), dentro del cuerpo de agua.
- De temperatura.- Ayudan a determinar los perfiles de temperatura dentro del cuerpo de agua, que es importante porque afecta muchas otras reacciones.
- De pequeños lagos.- Considera el mezclado inducido por el viento y las entradas de flujo de dos fuentes.
- De corrientes (escurrimientos) - Estiman la distribución temporal de escurrimientos de las áreas.
- De erosión y sedimentación.- Considera los cambios en las tasas de erosión y los cambios en los patrones de sedimentación. Son útiles durante la construcción de proyectos.
- De agua subterránea.- Ayudan a determinar la tasa de extracción máxima sustentable de un acuífero. Se puede modelar tanto la hidrología del agua subterránea, como la calidad del agua.

6.5.4 Modelación de la vegetación y fauna silvestre

No hay muchos modelos avanzados para evaluar los impactos biológicos totales, como hay para los impactos en aire y agua.

Los impactos en la vegetación y fauna silvestre, son normalmente evaluados a través de la medición de varios parámetros e interpretaciones, concernientes a las interrelaciones de los ecosistemas.

Los pocos modelos que existen están basados en un número de variables, muchas suposiciones e información en el sitio, sobre la vegetación y fauna silvestre. Estos modelos, permiten probar las variables junto con los impactos esperados y la afectación de controles, p.e . algunos modelos ayudan a evaluar el impacto de una operación sobre la migración animal, especies raras y endémicas y los hábitats. Muchos de los métodos de evaluación biológica:

- Son subjetivos
- Usan datos cualitativos
- Requieren mucha experiencia y paciencia
- Requieren juicio e intuición
- Son altamente sensitivos de tiempo

Los modelos y metodologías de evaluación de la vegetación y fauna silvestre, por lo general se categorizan en los siguientes cuatro tipos:

Ambiental/biológico general.- Los modelos y evaluaciones de impacto biológico/ambiental general, son de los siguientes tipos:

- Ad hoc (guía mínima)
- Cubrimiento (uso de mapas)
- Check list (lista de parámetros)
- Matriz (uso de rangos, clasificaciones, importancia)
- Redes

Este último tipo (de red), es el más comprensivo y se expande sobre el método de matriz, agregando las interrelaciones causa-condición-efectos, lo cual permite una identificación de los efectos acumulativos e indirectos, y también hacer la distinción entre impactos primarios, secundarios y terciarios. Con frecuencia, estos impactos se muestran visualmente como árboles de impactos

El método de red, ayuda al analista a apreciar la complejidad del ambiente, y el hecho que con frecuencia un impacto lleva a otros; en realidad algunos impactos son circulares, lo cual complica aún mas la situación.

Ambiente físico.- Los modelos de evaluación del ambiente físico, relacionan los datos geográficos, geológicos, de suelos y climatológicos con los datos biológicos; estas son adiciones importantes al modelo, puesto que es el ambiente en el cual viven los organismos. Estas variables pueden magnificar o reducir los impactos.

Flora.- Los modelos y evaluaciones de la flora, requieren un inventario y mapeo de las especies, comunidades, densidad, madurez, sucesión, productividad, diversidad y dominancia de plantas; la evaluación utiliza trazos de rejillas, transversales y muestras. También se usan otros tipos de datos secundarios, que relacionan la topografía, geología, suelos y la influencia de la organización

Fauna.- Los modelos y evaluación de la fauna, utilizan los mismos conceptos de la vegetación, sin embargo, es más difícil registrar y estudiar especies animales porque son móviles. Esto, puede requerir observaciones y/o equipos de recolección especiales, como nidos para pájaros, y observaciones durante todas las horas del día y la noche; también hay diferencias mayores entre las técnicas usadas para fauna silvestre terrestre y marina.

6.5.5 Modelación de la energía

Cuando se evalúa el comportamiento de toda la energía, por lo general se necesita sumar varios tipos de energía o potencia, que pueden estar expresadas en unidades diferentes, por lo que primeramente se deben convertir todas a las mismas unidades, p.e., en la lista siguiente se incluyen algunas unidades utilizadas y que deben ser convertidas para compararlas o sumarias

- BTU
- kW-h
- MW-h
- Barriles
- HP-h
- m-kg
- joules
- ergs
- Cal
- kCal
- CV,HP
- watt
- kW

- MW
- barriles/día
- barriles/año
- kCal/s
- kCal/h
- $\frac{\text{kg-m}}{\text{s}}$

El análisis y modelación del impacto de la energía, por lo general es un proceso constituido por las tres etapas siguientes.

- Primera.- Debe hacerse un inventario de la energía, que incluya todos los tipos de energía consumidos, producidos y conservados.
- Segunda.- Identificar las medidas de conservación usadas para minimizar el consumo de energía, que incluya en detalle los ahorros, características y cantidades de todas las energías.
- Tercera.- Predecir o evaluar los efectos de la energía, junto con los suministros y demandas de energía.

La comprensión de los cambios en el suministro y demanda de la energía, son el elemento clave de la evaluación de la energía.

6.5.6 Condicionantes

Para que exista un riesgo, en el caso de sustancias peligrosas, se requiere que éstas sean liberadas al ambiente, lo cual, en el caso de líquidos y gases siempre implica su dispersión en el aire.

Algunos de los factores y escenarios, que hacen compleja la elaboración de modelos de simulación son los siguientes:

- Multitud de escenarios de emisión y dispersión
- Emisión continua o instantánea
- Tubería o recipiente
- Gases o líquidos
- Presurizados o sin presión
- Densidad mayor o menor que el aire
- Involucramiento de cambios de fase
- Interacciones termodinámicas con el ambiente
- Diferentes irregularidades y consistencia del terreno
- Configuración de las estructuras de la planta
- Diferentes condiciones atmosféricas
- Temperatura de los fluidos emitidos
- Otros

Los modelos de simulación, también pueden clasificarse en los siguientes dos tipos:

- Cualitativos.- Solo utilizan expresiones que describen o narran el comportamiento del sistema, no especificándose cantidades

- Cuantitativos.- Utilizan ecuaciones matemáticas para especificar y cuantificar en detalle los cambios en el sistema.

En el análisis de riesgos, los modelos de simulación tienen diversas aplicaciones, entre las que se encuentran principalmente las siguientes:

- Estimación de la probabilidad, magnitud y efectos por fugas y derrames de sustancias peligrosas.
- Localización de una planta, arreglos de conjunto, generales y de equipo
- Diseño de estructuras, sistemas, equipos y componentes.
- Determinación de la confiabilidad de instalaciones.
- Definición de modificaciones a procesos, incluyendo aspectos de seguridad.
- Preparación de planes de emergencia.
- Entrenamiento de personal.

De acuerdo con la etapa en que se encuentre la sustancia, los modelos de simulación pueden clasificarse en la siguiente forma de:

- Proceso.- Predicen la transformación y comportamiento de las sustancias, durante las diferentes etapas del proceso productivo.
- Dispersión.- Predicen el comportamiento y dirección, que seguirán las sustancias cuando sean liberadas; hay modelos separados para dispersión en el aire, en el agua y en el subsuelo, pero no hay un modelo de dispersión en los tres medios simultáneamente.
- Descarga.- Predicen lo que sucederá con el material, al momento de ser liberado al ambiente, y calculan:
 - Si el material se libera como líquido, gas o ambos y sus proporciones.
 - La rapidez de emisión
 - Forma de cambio de su temperatura.
 - Si se forma un charco, sus dimensiones y velocidad de evaporación.
 - La rapidez de mezcla con el medio en que se liberó.
- Explosión.- Calculan el alcance de las ondas de sobrepresión, generadas por la explosión de una nube de vapor.
- Incendio.- Calculan el alcance de niveles de radiación térmica, producida por las flamas de una sustancia.

6.5.7 Aplicabilidad

Las principales características que debe tener un modelo de simulación, a efecto que pueda tener una aplicación útil en el análisis de riesgos, son las siguientes:

- Ser aplicable a sustancias peligrosas, y considerar no únicamente sus propiedades físico-químicas, sino también sus propiedades de toxicidad e inflamabilidad.
- Poderse aplicar a eventos en que la sustancia se libera al ambiente, es decir, debe tomar en cuenta las condiciones ambientales, en donde ocurre el accidente.
- Ser capaz de predecir el comportamiento de la sustancia al ser liberada, es decir, poder predecir la formación de nubes, charcos o neblinas, y definir los cambios que ocurren durante la dispersión, como turbulencia, densidad de la nube e influencia del viento.

- Que la dispersión que modele, identifique el alcance de concentraciones de interés que pueda definir el usuario, o bien que sean concentraciones que señalen algún grado de afectación.
- Definir las distancias para diferentes niveles de afectación por toxicidad, explosividad o inflamabilidad.

Otras características importantes que deben tener los modelos de simulación, son las siguientes:

- Rapidez para realizar los cálculos, que puede significar un ahorro de tiempo.
- Exactitud de los resultados, que puede significar ahorro de recursos, al señalar zonas que no requieren protección, o bien dedicar recursos a zonas que si requieran protección.
- Precisión o reproducibilidad, lo cual asegura confianza en los resultados.
- Costo, que es directamente proporcional al beneficio que pueda generar. De cualquier forma, el costo de un buen modelo puede ser muchas veces menor a los costos de reparar daños, causados por un evento indeseable no evaluado adecuadamente.

Los criterios que siga el analista para evaluar los riesgos, son junto con las características del modelo, los aspectos más importantes; los criterios que puede seguir el analista son los siguientes:

- Modelar todos los escenarios que se pueda imaginar el analista.
- Estudiar los antecedentes del proceso, y modelar los eventos que han ocurrido en el pasado o pudieron ocurrir.
- Identificar los eventos indeseables y modelarlos.
- Identificar los escenarios que resulten de la liberación al ambiente de la sustancia.
- Calcular las consecuencias o radios de afectación potenciales.

6.5.8 Metodologías y validación

Para establecer los criterios de modelación, se pueden utilizar los siguientes dos documentos como guía:

- Manual de Técnicas para Evaluar Riesgos Industriales, MTERI, del Banco Mundial.
- Risk Management Program Rule RMP, de la EPA (Environmental Protection Agency)

La metodología sugerida por el MTERI, es en general la siguiente:

- Dividir el proceso en los equipos que lo conforman.
- Agrupar los equipos por tipo, p.e., bombas, tuberías, etc.
- Evaluar fugas para cada tipo de equipo en la siguiente forma:
 - La ruptura total instantánea del recipiente o tubería.
 - Una fuga de diámetro equivalente al de la línea de mayor diámetro conectada al recipiente
 - Una fuga equivalente al 20% del diámetro de la línea de mayor diámetro conectada al recipiente.
 - La apertura del sistema de alivio, cuando corresponda.
 - Una BLEVE, cuando se trate de recipientes que contengan sustancias inflamables.

El RMP de la EPA, especifica los siguientes criterios de modelación:

- Modelar un escenario llamado "Peor Caso", para cada sustancia tóxica y para cada sustancia inflamable. El "Peor Caso", es la liberación de todo el inventario que pueda contener el recipiente de almacenamiento más grande, en un tiempo de 10 min., si la sustancia es tóxica, o instantáneamente si es inflamable.
- Modelar, además del Peor Caso, un "Escenario Alternativo", para cada sustancia tóxica, y uno que represente a todas las sustancias inflamables. Un "Escenario Alternativo", es cualquier escenario que tenga una probabilidad razonable de ocurrir, y presente radios de afectación que alcancen a la población.
- Modelar Escenarios Alternativos adicionales, según se requiera, para tener información de afectación para todos los posibles receptores.

El RMP, especifica también consideraciones sobre condiciones ambientales de la zona donde se realice la modelación, según el Peor Caso o el Escenario Alternativo, de acuerdo con la Tabla VI-12.

TABLA VI-12.- CONDICIONES AMBIENTALES DE LA ZONA PARA MODELACION, SEGÚN RMP

| PEOR CASO | ESCENARIO ALTERNATIVO |
|---|---|
| Velocidad del viento / estabilidad | |
| 1.5 m/s y estabilidad F o según el sitio. | Según el sitio o 3.0 m/s y estabilidad D |
| Temperatura / humedad | |
| Temperatura máxima diaria más alta y humedad promedio con base en los últimos 3 años o 25°C y 50% | Temperaturas y humedades promedio o 25°C y 50% |
| Altura de la emisión | |
| A nivel de piso | Según el escenario o a nivel de piso |
| Topografía | |
| Urbana o rural según aplique | Urbana o rural según aplique |
| Temperatura de la sustancia | |
| Temperatura máxima diaria más alta en el caso de líquidos no refrigerados, con base en los últimos 3 años, o la temperatura del proceso, la que sea mayor. En el caso de gases licuados por refrigeración a presión atmosférica usar sus puntos de ebullición. O bien 25°C o el punto de ebullición de la sustancia | Según la temperatura de proceso o ambiente adecuada al escenario. O bien 25°C o el punto de ebullición de la sustancia |
| Puntos finales | |
| ERPG 2, LOC, 10% IDLH, 0.1LC ₅₀ o 0.01LD ₅₀ para sustancias tóxicas. Sobrepresión de 1.0 psi para explosión. | ERPG 2, LOC, 10% IDLH, 0.1LC ₅₀ o 0.01LD ₅₀ para sustancias tóxicas. Sobrepresión de 1.0 psi para explosión. 5 Kw/m ² por 40 segundos para incendios. Límite inferior de inflamabilidad |

La validación de un modelo de simulación, es una medida de la confianza en los resultados, que se obtienen con la aplicación del modelo para un fenómeno dado.

Un modelo de simulación, se obtiene por el desarrollo de técnicas analíticas, que simulen mecanismos físicos responsables de un fenómeno p.e., la dispersión de una sustancia liberada. En muchos casos, los modelos solo son ecuaciones o secuencia de éstas, correctas según investigaciones, muchos modelos, toman esas ecuaciones y

proporcionan un formato, de manera que el usuario alimente con facilidad la información necesaria, y obtenga los resultados de forma escrita o gráfica.

No obstante lo anterior, la mayoría de los modelos de dispersión no reflejan la realidad deseada para evaluar el riesgo, consecuencias y efectos probables. Las razones principales de lo anterior son las siguientes:

- Complejidad de los fenómenos físicos (complejidad del terreno y condiciones meteorológicas).
- Incertidumbres asociadas a los procesos
- Los modelos contienen, por lo anterior, muchas simplificaciones y consideraciones.
- Falta de alimentación de datos precisos y detallados, que describan el escenario de la emisión.

Por todo lo anterior, los resultados de los modelos de dispersión conducen a predicciones, que en el mejor de los casos se pueden considerar como estimaciones

La validación de un modelo de simulación de dispersión, puede realizarse en las formas siguientes:

- Por experiencias anteriores (se requiere una persona experimentada).
- Por la realización de experimentos, liberando materiales de prueba, y midiendo sus concentraciones a diferentes distancias en favor del viento; posteriormente, se hacen simulaciones y se comparan los resultados. Si los resultados de concentraciones son semejantes, entonces se dice que el modelo es válido

La exactitud de un modelo de simulación, depende de los parámetros o variables que considera, que incluyen, desde propiedades de la sustancia hasta factores ambientales. Para reflejar mejor las condiciones reales, un modelo debe considerar los siguientes parámetros:

Material - Se incluyen principalmente las características siguientes:

- Punto de ebullición
- Punto de fusión
- Peso molecular
- Presión de vapor
- Densidad
- Tendencia a polimerizarse
- Reacciones con el aire o con el agua
- Facilidad de modelar mezclas
- Uso de valores absolutos para propiedades
- Incorporación de coeficientes para las ecuaciones de cálculo de las propiedades.

Descarga - Principales características de la forma en que es descargada la sustancia, p.e.:

- Determinación de la tasa de emisión
- Estado físico al ser liberada

- Variación de temperatura durante la descarga
- Tamaño de las partículas emitidas
- Formación de charcos
- Requerimientos de alimentación por el usuario

Dispersión. - Se deben considerar las diferentes etapas de la dispersión siguientes:

- Expansión turbulenta inicial
- Densidad de la nube
- Dispersión pasiva
- Estabilidad atmosférica
- Velocidad del viento

A la fecha no hay un protocolo de validación de modelos. La validación, no depende que tan apegadamente refleja la realidad, sino mas bien de lo siguiente:

- Validez de las ecuaciones que utiliza
- Los criterios que usa
- Los parámetros que considera.



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

**DIPLOMADO INTERNACIONAL EN
RIESGO AMBIENTAL**

**MODULO III
CA 087**

**MÉTODOS DE ANÁLISIS Y CUANTIFICACIÓN
DE RIESGOS AMBIENTALES**

TEMA

**ANEXO 1
ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS**

APENDICES

**TECHNICAL BASIS FOR CONSEQUENCE ANALYSIS PROCEDURES
OVERVIEW OF "SHELTER IN PLACE" CONCEPTS
CHEMICAL COMPATIBILITY CHART**

**EXPOSITOR: BIO. GABRIELA CEDILLO PONCE
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO DEL 2002**

ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS

La cantidad y las características físicas y químicas de las sustancias involucradas en una actividad industrial o de servicios (en proyecto o en operación), así como en un transporte, constituyen los factores de mayor importancia para definir su grado de riesgo. Es por ello, que se han constituido listados de sustancias peligrosas reguladas (principalmente tóxicas o explosivas e inflamables, definidas en el cuadro 1), para las cuales se han fijado *cantidades de reporte o de control*.

1. **Sustancias de toxicidad aguda:** Una sustancia es considerada como un tóxico agudo de acuerdo a que: su concentración capaz de producir la muerte de la mitad o el 50 por ciento (CL50) de los animales expuestos vía inhalación durante ocho horas sea de 0.5 mg/l de aire; o bien que su dosis dérmica que provoca la muerte del 50 por ciento (DL50) de los animales expuestos sea de 50 mg/kg de peso corporal; o que su dosis oral (DL50) sea equivalente a 25 mg/kg de peso corporal. En ausencia de estos valores, se utilizan las concentraciones o dosis más bajas que son letales para cualquier animal de prueba
2. **Sustancias inflamables:** Son aquellas capaces de formar una mezcla, con el aire, en concentraciones tales que las haga formar una flama espontáneamente o por la acción de una chispa. La concentración de dicha mezcla se considera equivalente al límite inferior de inflamabilidad. Dichas sustancias son consideradas como inflamables si poseen un punto de inflamación menor a 60 °C, una presión de vapor absoluta que no exceda de 2.81 Kg/cm² y temperatura de ebullición de 37.8 °C. Un líquido inflamable es definido por la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NFPA) como aquel líquido con un punto de flasheo por debajo de los 37.8 °C. La misma NFPA establece las siguientes subclasificaciones para estos líquidos:
 - Clase 1A : son aquellos que tienen puntos de flasheo por debajo de los 22.8 °C y que tienen un punto de ebullición por debajo de 37.8 °C.
 - Clase 1B : son aquellos que tienen puntos de flasheo por debajo de los 22.8 °C y cuyo punto de ebullición es o se encuentra por arriba de 37.8 °C.
 - Clase II: son aquellos que tienen puntos de flasheo de 0 por arriba de los 37.8 °C y debajo de los 60 °C.
 - Clase III: líquidos subdivididos en 2 subclases:
 - Clase IIIA : todos aquellos que tienen puntos de flasheo de 0 por arriba de 60 °C y por debajo de 93.3 °C.
 - Clase IIIB : todos aquellos que tienen puntos de flasheo de 0 por arriba de 93.3 °C.
3. **Sustancias explosivas:** Son aquellas que producen una expansión repentina, por turbulencia, originada por la ignición de cierto volumen de vapor inflamable, acompañada por ruido, junto con fuerzas físicas violentas capaces de dañar seriamente las estructuras por la expansión rápida de los gases.

En México, para calcular las cantidades de reporte o de control, se tomó como referencia una distancia de 100 metros, en torno a las fuentes emisoras; dentro de la cual para el caso de sustancias tóxicas, se alcanzaran valores de concentraciones iguales al IDLH (ver explicación de este valor en los anexos); en el caso de sustancias inflamables, se produjeran niveles de radiación térmica iguales a 5 kw/m^2 y para las sustancias explosivas, se presentaran ondas de sobrepresión de 0.5 psi.

El criterio de distanciamiento de 100 metros se adoptó considerando que al desprenderse un gas o evaporarse una sustancia líquida tóxica o inflamable, se formara una nube con forma elíptica, que por la acción del viento, llevara a dicha sustancia a concentrarse en el extremo de la elipse (concentración IDLH para sustancias tóxicas y/o la concentración equivalente al Límite Inferior de Explosividad, LIE, para sustancias inflamables). Para ello, se tomaron en cuenta las consideraciones señaladas en la Guía de Acciones de Emergencia para selección de materiales peligrosos, publicada en 1978 por el Departamento de Transporte (DOT) de Estados Unidos.

Es importante hacer notar que en cada país la inclusión de una sustancia en los listados a los que se hace referencia, debe además tomar en cuenta otros factores, empezando por verificar que exista o se utilice en el país; así como la frecuencia en que se haya visto involucrada en accidentes y la gravedad de las repercusiones de los mismos.

Después de establecer una comparación entre los listados extranjeros, se decidió la inclusión de todas las sustancias que:

- tienen un IDLH menor de 10 mg/m^3 ,
- se producen, manejan o transportan en México en grandes volúmenes (aunque no sean tóxico-agudas, porque en caso de liberarse podrían presentar problemas serios al considerarse su concentración en el ambiente),
- se encuentren en cantidades tales que de producirse una liberación, ya sea por fuga o derrame de las mismas, provocaría la formación de nubes inflamables cuya concentración sería semejante a la de su límite inferior de inflamabilidad, en un área determinada por una franja de 100 m de longitud en torno a las instalaciones o medio de transporte dados,
- generen ondas de sobre presión de 1 lb/pulg.^2 en una franja similar a la anterior en el caso de formación de nubes explosivas.

1. DETERMINACIÓN DEL AREA DE INFLUENCIA POR EXPLOSIVIDAD (de "Handbook of Industrial Loss Prevention" McGraw Hill, 1967; Loss Prevention in the Process Industries", Lees F., 1985).

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

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

Hace algunos años el International Risk Institute reconoció que una fuga de grandes cantidades de gases inflamables puede ocasionar una nube explosiva en espacios abiertos que pueden causar severos o catastróficos daños a extensas áreas de una planta. Por tal motivo se ha desarrollado un método de cálculo para determinar el potencial explosivo aproximado de una nube inflamable y los daños que puede llegar a ocasionar.

Consideraciones para determinar el potencial explosivo:

- La fuga del material (almacenado o en proceso) es instantánea, excluyéndose escapes paulatinos de gas a menos que se trate de fugas en tuberías de gran capacidad.
- El material fugado se vaporiza en forma y la nube se forma inmediatamente, de acuerdo a las condiciones termodinámicas del gas o líquido inflamable antes de la fuga.
- La nube adquiere una forma cilíndrica cuya altura es su eje vertical. No se consideran distorsiones ocasionadas por viento o por estructuras y edificios presentes.
- 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.

- Se tomará el calor de combustión de la TNT (20,000 Btu/lb) para convertir, el calor de combustión del material a un equivalente en peso de TNT.
- La temperatura ambiente es constante = 25°C.

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

DETERMINACIÓN:

Cálculo de la energía desprendida por la nube explosiva, expresada por su equivalente en toneladas de TNT.

$$\text{Ton (TNT)} = \frac{W \times H_c \times f}{10^6}$$

En dónde:

ton (TNT) = peso en toneladas de TNT que produce una fuerza equivalente a la sobrepresión generada por la explosión de la nube.

W= Peso del líquido evaporado (Kg), se tomarán los mismos valores determinados anteriormente.

H_c = Calor de combustión(Kcal/Kg)

f = factor de explosividad

El factor de explosividad (f) de materiales varia de 0.01 a 0.1 y depende de la capacidad del material a detonar.

2. MODELOS DEL DPTO. DE TRANSPORTE DE E.U.A. Y ADOPTADO POR PEMEX.

Este modelo estima que al ocurrir un derrame de un líquido volátil o una fuga de un gas, se forma una nube de forma elipsoidal, cuya distancia mayor a favor del viento es del doble de su ancho (elipse revolucionada 180°); para una velocidad de viento de 9 a 18 km./hr. Además se considera que dentro de este volumen se distribuye uniformemente el producto inflamable, para formar una mezcla explosiva, sobre la base de su límite inferior de expresividad.

La distancia de la zona de influencia se obtiene entonces de la siguiente manera:

$$d=2(6Wx10^6/Cx3.1416)^{1/3}$$

En dónde:

C= Concentración Mínima Explosiva en mg/m³

W = Peso del líquido evaporado en kg

En dónde:

$$C= \underline{LIE \times 1.2928 \times r \times 10^6}$$

100

3. DETERMINACIÓN DE RADIACIÓN TÉRMICA DEBIDA A FUEGO

En el punto anterior, se determinaron los círculos de riesgo por la formación de nubes con características inflamables, al derramarse el contenido completo de un tanque de gasolina; sin embargo, en caso de que éstas se encendieran por la presencia de una fuente de ignición, la radiación producida por el fuego en el punto en que lo hicieran puede también ser un riesgo adicional, cuyo alcance se determinará en este apartado. Por otro lado, para una radiación de 1.74 Kw/m^2 , el umbral de dolor se alcanza en aproximadamente un minuto, mientras que si triplicamos esta intensidad, el tiempo necesario se reduce a 16 segundos. Como elemento de comparación, la intensidad de radiación que recibimos procedente del sol puede estimarse en torno a 1 Kw/m^2 , y niveles de radiación equivalentes a 1.6 Kw/m^2 puede tolerarse durante períodos de tiempo relativamente prolongados.

Como se ha indicado las quemaduras aparecen rápidamente tras alcanzarse el umbral del dolor. Por ejemplo a un nivel de radiación de 9.5 Kw/m^2 se alcanza el umbral de dolor en aproximadamente 8 segundos, y prosigue la exposición a la radiación con la misma intensidad pueden producirse quemaduras de segundo grado en unos 20 segundos.

De los datos de Eisenberg y Cols, se desprende que con una exposición de 1.43 segundos de duración y una intensidad de radiación de 131 Kw/m^2 se alcanzan quemaduras de segundo grado. Si la intensidad de radiación aumenta hasta 146 Kw/m^2 se alcanza el umbral de mortalidad. Por otro lado un nivel de radiación de 128 Kw/m^2 , produciría un 100% de mortalidad si la exposición se prolonga hasta 10.1 segundos.

Los efectos de la radiación térmica son obviamente diferentes para estructuras de diferentes naturalezas. La incidencia de la radiación térmica sobre estructuras combustibles puede causar la ignición y combustión de las mismas. Por el contrario, en materiales no combustibles, como estructuras metálicas, el efecto más peligroso de la incidencia de la radiación es el de rebajar la resistencia del material, con el consiguiente riesgo de colapso de la estructura. A este respecto, la incidencia directa de la llama es más peligrosa que la radiación térmica sin contacto con la estructura.

A la hora de evaluar el daño a edificios y estructuras, es muy importante determinar si ocurre la ignición del material considerado. A este respecto, es de notar que los tratamientos superficiales de los distintos materiales pueden modificar fuertemente las características de ignición. Se considera a 37.5 Kw/m^2 como el valor de la intensidad de radiación suficiente para causar daños en el equipo de proceso.

Los valores de intensidad de radiación que se usarán para determinar la franja de riesgo moderado es de 1,500 BTU/hr-Pie² (4.73 kw/mt²); la franja de amortiguamiento se delimitará con 110 BTU/hr-Pie² (1.40 kw/mt²).

Para simular los eventos se considerará el modelo presentado en el reporte del API-RP-521, tercera edición, de Noviembre de 1990, el cual ha sido adoptado por Pemex Refinación, para determinación de franjas de seguridad en las terminales locales de ventas (en el área de tanques, llenaderas y descargaderas de autotanques, fosa separadora tipo A.P.I. y autotanque volcado) y el Gobierno Federal (anterior SEDESOL); para determinar estas franjas se hará la siguiente consideración:

- Los valores de intensidad de radiación que se usarán para determinar la franja de riesgo moderado es de 1,500 BTU/hr-Pie² (4.73 kw/mt²); la franja de amortiguamiento se delimitará con 110 BTU/hr-Pie² (1.40 kw/mt²).

Por lo que se aplicará la Ecuación No.8 del API-RP-521:

$$D = (T FQ/4 \times 3.1416 \times K)^{1/2}$$

$$T = 0.79 (100/r)^{1/16} (30.5/Dp)^{1/16}$$

$$F = 0.048 (PM)^{3/2}$$

$$Q = W(Hc)$$

$$K = \frac{T F Q}{4 \times 3.1416 \times D^2}$$

$W = A \times Vq$; Vq se determina de la tabla No. 2 del API 521 3ª edición, Noviembre de 1990 "Guide for Pressure-Relieving and Depressuring Systems"

$$A = \frac{3.1416 \times d^2}{4}$$

$$Y = HT + (d/2)$$

$$X = (D^2 - Y^2)^{1/2}$$

En donde:

D = Distancia mínima desde el punto medio de la flama a un punto considerado (pies)

T = Fracción de la intensidad de calor transmitida.

F = Fracción de calor radiado; Se determina de la tabla No. 2 del API 521 3ª Edición, Noviembre de 1990 "Guide for Pressure-Relieving and Depressuring Systems"

Q = Calor liberado (BTU/hr)

K = Radiación permitida (BTU/hr - Pie²)

r = Humedad Relativa de la localidad (%)

PM = Peso Molecular del producto

W = Flujo de quemado (lb/hr)

Hc= Poder calorífico neto (BTU/lb)

A = Area transversal del tanque (mt²)

Vq = Velocidad de quemado (kg/mt² x seg)

X = Distancia del centro del tanque al punto considerado (mt)

Y = Altura Total de la base del tanque al centro de la flama (mt)

4. TOXICIDAD (DE “ATMOSPHERIC DIFUSIÓN: THE DISPERSION OF WINDBORNE MATERIAL FROM INDUSTRIAL AND OTHER SOURCES” PASQUILL F., 1974; SIMPLIFICATION OF A GASUSSIAN PUFF MODEL FOR REAL-TIME MINICOMPUTER USE” LUDWING F.L., 1977).

Es poco factible que un derrame de gasolina y diesel puedan tener efectos tóxicos graves por inhalación; a no ser que por razones muy específicas de un accidente, se expusiera a un individuo a los vapores desprendidos durante un tiempo prolongado (8 hr por ejemplo); por lo que un efecto mayor al mareo o dolor de cabeza, es mucho más probable sólo a nivel ocupacional.

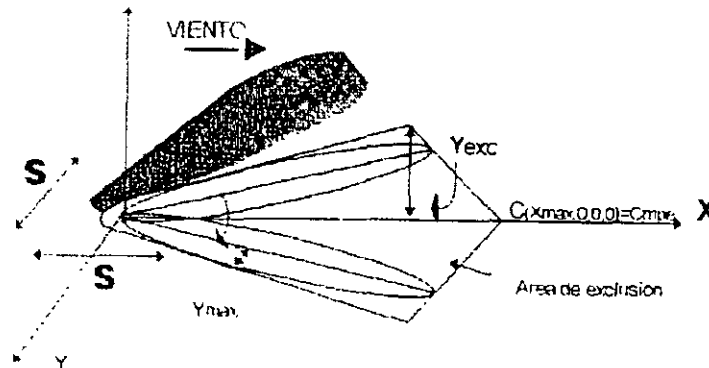
El valor de toxicidad para el caso de las gasolinas (octano) es de 500 ppm (1848.40 mg/mt³), que se refiere a la concentración máxima permisible de sus vapores, a la que se puede exponer un trabajador durante un tiempo de 15 minutos de trabajo.

Se realizará una simulación del posible alcance de la toxicidad de gasolina. El diesel no se considera ya que sus concentraciones son muy bajas.

Debe apreciarse que la concentración de los límites inferiores de explosividad de las gasolinas son mucho mayores (75,328.87 mg/m³ para las gasolinas) con respecto a los de toxicidad (1,851.29 mg/m³), por lo que las distancias para que se diluyan los vapores desprendidos más allá de estas concentraciones (en que dejarían de ser peligrosos) deben ser mayores; aunque como se dijo antes, los daños que se ocasionen serían de mucho menor magnitud que los causados por la inflamación o explosión de los mismos; considerando además que se tendrían que confinar éstos en un punto en que pudieran ser inhalados por un tiempo mínimo de 15 minutos.

Al ser más pesados que el aire los vapores de estos productos, tienden a confinarse con mayor frecuencia en puntos bajos, cerca de la estación de servicio.

Los cálculos por el SCRI dan como resultado importante la distancia máxima (Xmax) alcanzada por la curva de isoconcentración (Cmpe), el ancho máximo de la elipse Ymax y el área de exclusión la cual es el ángulo de fluctuación (\square) de la pluma de gas o vapor que esta en función de las condiciones atmosféricas.



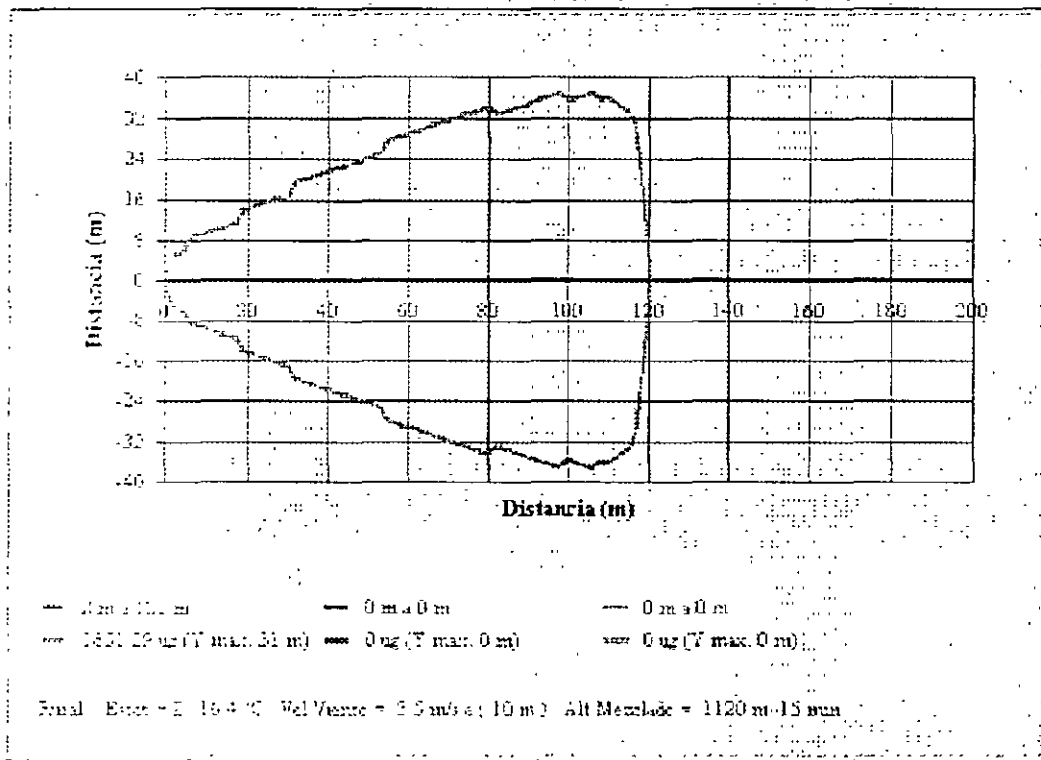
Es importante notar que este riesgo de la nube tóxica de vapores de gasolina, debe tomarse únicamente como referencia, ya que en la práctica, tiene una probabilidad casi nula de ocurrencia debido a que para la gasolina solamente existe el límite máximo permitido para un tiempo de exposición continua de 15 minutos ($TLV_{STEEL} = 500$ ppm para gasolinas), lo cual implica que durante ese tiempo una nube de vapores de gasolina con esa concentración, debe permanecer en el ambiente, esto es poco posible ya que las condiciones del sitio son de un lugar no confinado en donde la velocidad promedio del viento es de 3.5 m/s.

Para que sea representativo el modelo de una nube tóxica de gasolina, se requeriría el límite inmediatamente peligroso para la vida y la salud (IDLH), el cual, para la gasolina no está determinado porque ésta no es lo suficientemente tóxica para ocasionar daños a la salud de manera inmediata.

Con respecto al diesel no se considera una nube tóxica, ya que sus concentraciones de toxicidad son muy bajas.

Los resultados obtenidos por el SCRI, son los siguientes:

Para una concentración de 1,851.29 mg/m³ de gasolina se obtuvo la siguiente gráfica:



MODELOS

Introducción

La industria emplea modelos de simulación en diversos aspectos de sus sistemas productivos. Son de especial interés aquellos que tienen que ver con las sustancias peligrosas que se manejan.

En su mayoría las sustancias peligrosas son liberadas al ambiente u pueden constituir un riesgo. En el caso de gases y líquidos liberados al ambiente invariablemente implica su dispersión en el aire, la cual debe estimarse para poder evaluar los riesgos que implica.

Estos riesgos tienen el potencial de afectar tanto a la población como al ecosistema o bien al personal e instalaciones de la empresa. Es de aceptación general que la afectación a la población y al personal de la empresa tiene mayor jerarquía que la afectación al ecosistema o a las instalaciones de la empresa, es por ello que al hablar de modelos de simulación se toquen en detalle aquellos que estiman las consecuencias potenciales negativas al ser humano.

Los procesos físicos involucrados en la emisión y dispersión de muchas sustancias peligrosas son muy complejos y en algunos casos no muy bien entendidos, mucho de la complejidad del problema consiste en la multitud de escenarios de emisión y dispersión que pueden existir en una instalación. La emisión puede ser instantánea o continua desde un recipiente o tubería involucrando gases presurizados, líquidos refrigerados o presurizados o líquidos a presión y temperatura ambiente, resultando en emisiones de vapor que pueden o no ser más pesados que el aire. Las emisiones pueden involucrar cambios de fase e interacciones termodinámicas con el ambiente, con posible condensación de gotas de líquido desde la nube. A menudo, las estructuras en la planta e irregularidades del terreno afectan significativamente el destino de las sustancias liberadas, que hacen más complicado el proceso de evaluación de riesgos. Estos aspectos técnicos involucrados en la evaluación de dispersión de una sustancia peligrosa han requerido el desarrollo de una serie de metodologías y técnicas, algunas de las cuales pueden ser ejecutadas a mano y muchas que han sido computarizadas, a la fecha existirán mas de 100 modelos matemáticos de varios niveles de sofisticación que pretenden considerar alguno o la mayoría de los procesos físicos que pueden estar potencialmente involucrados en los

escenarios de accidentes. Muchos de estos modelos están basados en microcomputadoras, mientras que otros requieren de instalaciones mayores. Algunos modelos son más amigables que otros. Los amigables pueden no requerir de mucha experiencia para su aplicación a un problema en particular mientras que otros requieren de antecedentes técnicos de procesos químicos, termodinámica y teoría de difusión turbulenta.

Un modelo de simulación es una expresión que pretende representar el comportamiento de un conjunto de elementos reales. Típicamente los modelos de simulación se emplean para predecir el comportamiento de sistemas mediante el estudio de su funcionamiento y la definición de variables que representen a sus elementos.

Podemos generalizar los modelos de simulación en dos tipos: cualitativos y cuantitativos.

Los modelos de simulación cualitativos se limitan a usar expresiones que describan el comportamiento del sistema, por ejemplo una cadena alimenticia donde los productores primarios son consumidos por los consumidores primarios y estos a su vez son consumidos por los consumidores secundarios que al perecer son incorporados al suelo por los organismos reintegradores que los descomponen en nutrientes empleados por los productores primarios y así sucesivamente, en estos modelos no se especifican cantidades transferidas de una etapa a otra.

Los modelos de simulación cuantitativos emplean expresiones matemáticas para especificar en detalle los cambios que ocurren en el sistema, un balance de agua en una instalación industrial es un buen ejemplo de un modelo cuantitativo, cuando los consumos de agua están perfectamente definidos basta con medir la extracción para conocer cuanta se va a aprovechar y cuanta se va a desperdiciar, si hubiere cambios en cualquiera de las etapas el modelo debe ser capaz de predecir que ocurrirá con cada una de las corrientes de agua y aquí es donde empiezan las complicaciones de los modelos ya que en ocasiones sus predicciones no se ajustan a lo que sucede en la realidad. Esto sólo es indicativo de que el modelo no estaba suficientemente definido y se requiere una mayor investigación para definir relaciones y coeficientes e incorporarlas en el modelo.

En riesgo resultan de utilidad los modelos que calculan las consecuencias potenciales de una determinada emisión, tales consecuencias representan un grado de afectación, o modificación, en los receptores. Podemos definir al grado de afectación como el

nivel de modificación de un elemento de interés, esta modificación normalmente es indeseable.

La afectación puede ocurrir lo mismo en instalaciones industriales, construcciones, población o ambiente. Tal afectación puede ser evidente o bien ocurrir a nivel microscópico o a velocidades demasiado lentas para ser captadas de inmediato. El grado de afectación se mide una vez que se identifican las diferencias ocurridas en el elemento de interés.

La finalidad última de una evaluación de riesgos consiste en identificar los riesgos existentes y estimar su grado de afectación potencial para poder definir las medidas de prevención o mitigación necesarias para comunicar a los trabajadores, población, dirección de la empresa y autoridades cuales son los riesgos asociados. Un riesgo no está bien definido si no se identifica cuál es su grado de afectación, el cuál debe entenderse como una estimación *a priori* para poder identificar las medidas de mitigación pertinentes. La forma más sencilla de comunicar los riesgos es mediante la determinación de radios de afectación, que no son otra cosa que la distancia existente entre el evento indeseable y el efecto que ocasiona.

En el estudio de riesgos el grado de afectación puede evaluarse en términos de toxicidad, explosividad, inflamabilidad o daño físico y por lo general está relacionado con la liberación de sustancias químicas.

Usos de modelos de simulación en el análisis de riesgos

Los modelos de simulación tienen aplicación prácticamente en todos los procesos tanto naturales como artificiales, sin embargo nos limitaremos a la aplicación para análisis de riesgos. Típicamente los modelos de simulación en riesgos tienen aplicación en todas las actividades relacionadas con la vida de un proceso, a continuación se indican algunos ejemplos de tales actividades:

- a) Estimación de la magnitud de las consecuencias por fugas y derrames de sustancias peligrosas.
- b) Revisión de localización de la planta, arreglo de equipo y diseño de instalaciones.
- c) Determinación de modificaciones en el proceso tomando en cuenta el aspecto de la seguridad.
- d) Preparación de planes de contingencia.

e) **Promoción de la conciencia de la seguridad**

La lista puede ser interminable ya que usando los resultados del modelo se puede inclusive facilitar la toma de decisiones sobre inversiones relacionadas con el proceso

Tipos de modelos usados en análisis de riesgos

Como se menciona anteriormente el riesgo de las sustancias peligrosas está en relación con su liberación al ambiente, los modelos de simulación buscan predecir el comportamiento del material durante las diferentes etapas por las que va pasando. Podemos agrupar a los modelos de acuerdo a la etapa del material en que pueden aplicarse como sigue:

- a) **Modelos de proceso.-** estos modelos esencialmente predicen las transformaciones y comportamiento de las sustancias durante las diferentes etapas del proceso productivo. Pueden llegar a ser tan sofisticados que de hecho controlan el proceso.
- b) **Modelos de dispersión.-** estos modelos predicen el comportamiento y dirección que seguirán las sustancias cuando son liberadas. Existen modelos para dispersión en aire, modelos para dispersión en agua y modelos para dispersión en el subsuelo, a la fecha no se tiene conocimiento de un modelo que indique la dispersión en los tres medios de manera simultánea.
- c) **Modelos de descarga.-** estos modelos predicen qué sucederá con el material en el momento en que es liberado al ambiente. Típicamente calculan si el material es liberado como líquido, gas o ambos y en qué proporciones, qué tan rápido se emite, como cambia su temperatura, se es que se forma un charco y qué dimensiones tiene y a qué velocidad se evapora, así como también con qué rapidez se mezcla con el medio en que se liberó.
- d) **Modelos de explosión.-** estos modelos calculan el alcance de ondas de sobrepresión generadas por la explosión de una nube de vapor de una sustancia.
- e) **Modelos de incendio.-** calculan el alcance de niveles de radiación térmica causados por las flamas de una sustancia que se ha encendido.
- f) **Modelos de proyectiles.-** determinan las distancias a que pueden llegar objetos y trozos de recipientes que han estallado.

Para que un modelo de simulación tenga una aplicación útil en el análisis de riesgos es conveniente que considere los aspectos siguientes:

1. Debe ser aplicable a sustancias peligrosas, por lo tanto debe considerar no sólo sus propiedades fisicoquímicas sino también sus características de toxicidad e inflamabilidad.
2. Debe poder ser aplicable a eventos en que la sustancia en cuestión es liberada al ambiente, por lo que debe tomar en cuenta las condiciones ambientales de la zona donde ocurre el accidente.
3. Debe ser capaz de predecir el comportamiento de la sustancia al ser liberada, esto es que pueda predecir o manejar la formación de nubes, charcos o neblinas según el tipo de sustancia emitida, e igualmente debe poder definir los cambios que ocurren durante la dispersión tales como turbulencias, densidad de la nube e influencia del viento.
4. La dispersión que modele debe identificar el alcance de concentraciones de interés que el usuario pueda definir, o bien que sean concentraciones que indiquen algún grado de afectación.
5. Debe poder definir las distancias a diferentes niveles de afectación ya sea por toxicidad, explosividad o inflamabilidad.

Un modelo que cumpla con las condiciones anteriores será muy útil en última instancia para la toma de decisiones. , otras consideraciones sobre el uso de modelos de simulación se indican a continuación:

La rapidez con que el modelo realice sus cálculos representará un ahorro sustancial de tiempo. La exactitud de los resultados permitirá un ahorro en recursos ya que se evitará que se realicen gastos para proteger zonas que ya sean seguras o bien permitirá una dedicación adecuada de recursos en las áreas que requieran protección. La precisión o reproducibilidad del modelo asegurará confianza en los resultados obtenidos. Finalmente el costo del modelo será directamente proporcional al beneficio que pueda generar pero hay que tomar en cuenta que si es un buen modelo su costo será muchas veces menor al de los gastos para reparar los daños causados por un evento indeseable que no fue evaluado.

Criterios de modelación

Casi tan importante como las características del modelo empleado son los criterios que siga el analista para evaluar los riesgos. Ante todo debe identificar escenarios que resulten en la liberación de la sustancia al ambiente para que después, de acuerdo al tipo de modelo que se esté usando, se calculen las consecuencias o radios de afectación. En principio se pueden modelar todos los escenarios que puedan imaginársele al analista, sin embargo siempre es mejor tomar un enfoque sistemático ya que de esa manera se evita que halla subjetividad en el análisis; siguiendo ese enfoque se puede optar por estudiar los antecedentes del proceso y modelar aquellos eventos que han ocurrido en el pasado o que pudieron haber ocurrido. Otro enfoque consiste en identificar los eventos indeseables y modelarlos.

Existen dos documentos que pueden servir de guía para establecer criterios de modelación:

1. El Manual de Técnicas para Evaluar Riesgos Industriales, del Banco Mundial.
2. La Risk Management Program Rule, de la EPA.

El Manual de Técnicas para Evaluar Riesgos Industriales sugiere una metodología que consiste en dividir el proceso en los equipos que lo constituyen, agrupar los equipos por tipo, es decir, tuberías, recipientes, bombas, etcétera y proceder a evaluar fugas para cada tipo de equipo. Típicamente se sugiere evaluar para cada equipo la ruptura total instantánea del recipiente o tubería, una fuga de diámetro equivalente al de la línea de mayor diámetro conectada al recipiente, una fuga equivalente al 20% del diámetro de la línea de mayor diámetro conectada al recipiente, la apertura del sistema de alivio cuando corresponda y una BLEVE cuando se trate de recipientes que contengan sustancias inflamables.

La Risk Management Program Rule especifica que para cada sustancia tóxica y para cada sustancia inflamable se debe modelar un escenario denominado "Peor Caso" que consiste en la liberación de todo el inventario que pueda contener el recipiente de almacenamiento más grande en un tiempo de 10 minutos si la sustancia es tóxica o instantáneamente si la sustancia es inflamable. Además del Peor Caso se debe modelar un "Escenario Alternativo" para cada sustancia tóxica y un Escenario Alternativo que represente a todas las sustancias inflamables. Se deberán modelar escenarios alternos adicionales según se requiera a fin de que se tenga información de afectación

para todos los posibles receptores. Un Escenario Alterno es cualquier escenario que tenga una probabilidad razonable de ocurrir y que presente radios de afectación que alcancen a la población. A diferencia de los criterios del Banco Mundial, los criterios del RMP también especifican consideraciones sobre condiciones ambientales de la zona donde se realice la modelación según sea el Peor Caso o el Escenario Alterno de acuerdo con la tabla siguiente:

| PEOR CASO | ESCENARIO ALTERNO |
|---|---|
| Velocidad del viento / estabilidad | |
| 1.5 m/s y estabilidad F o según el sitio | Según el sitio o 3.0 m/s y estabilidad D |
| Temperatura / humedad | |
| Temperatura máxima diaria más alta y humedad promedio con base en los últimos 3 años o 25°C y 50% | Temperaturas y humedad promedio o 25°C y 50% |
| Altura de la emisión | |
| A nivel de piso | Según el escenario o a nivel de piso |
| Topografía | |
| Urbana o rural según aplique | Urbana o rural según aplique |
| Temperatura de la sustancia | |
| Temperatura máxima diaria más alta en el caso de líquidos no refrigerados, con base en los últimos 3 años, o la temperatura del proceso, la que sea mayor. En el caso de gases licuados por refrigeración a presión atmosférica usar sus puntos de ebullición. O bien 25°C o el punto de ebullición de la sustancia | Según la temperatura de proceso o ambiente adecuada al escenario. O bien 25°C o el punto de ebullición de la sustancia. |
| Puntos finales | |
| ERPG 2, LOC, 10% IDLH, 0.1 LC50 o 0.01 LD50 para sustancias tóxicas. Sobrepresión de 1.0 psi para explosión. | ERPG 2, LOC, 10% IDLH, 0.1 LC50 o 0.01 LD50 para sustancias tóxicas. Sobrepresión de 1.0 psi para explosión. 5 Kw/m ² por 40 segundos para incendios. Límite inferior de inflamabilidad. |

Validación

A pesar de todo el esfuerzo consumido en desarrollar técnicas analíticas que simulen los mecanismos físicos responsables de la dispersión de una sustancia liberada, la mayoría de los modelos de dispersión no reflejan el realismo deseado para propósitos de evaluación de riesgo y consecuencias. Esto es debido en gran parte a la complejidad inherente e incertidumbre asociadas con estos procesos y acopladas con numerosas incertidumbres y falta de datos de alimentación precisos y detallados que definan el escenario de emisión de interés. El punto fundamental es que los modelos de dispersión contienen muchas simplificaciones y consideraciones que conducen a predicciones que en el mejor de los casos pueden considerarse como estimaciones. Muchos estudios han sido auspiciados por la EPA para determinar el grado de precisión de las predicciones y han dado como resultado que la precisión depende mucho de la complejidad del terreno y condiciones meteorológicas.

La validación en sí es una medida de la confianza en los resultados del modelo, sin embargo hay que tomar en cuenta que en muchos casos los modelos no son más que ecuaciones que de uno u otro nodo son correctas, los mismos resultados se obtendrían si se hacen los cálculos a mano y esto es algo que por lo general crea confusión. Muchas veces se cuestiona la validación sin pensar qué es lo que el programa está haciendo y lo que está haciendo es simplemente reportar los resultados de una secuencia de ecuaciones basadas en investigaciones y presentadas en foros científicos, muchos modelos lo que hacen es tomar estas mismas ecuaciones y dar un formato de manera que el usuario puede fácilmente alimentar la información necesaria y obtener resultados de manera escrita o gráfica. Una persona experimentada puede validar un modelo basándose en experiencias anteriores, o bien lo que se hace en la práctica es realizar experimentos donde se liberan materiales de prueba y se miden sus concentraciones a diferentes distancias a favor del viento, posteriormente se realizan las simulaciones y se comparan los resultados. Si los resultados reportados por el modelo son semejantes a las concentraciones medidas se dice que el modelo es válido. Ahora bien, el hecho de que un modelo no reporte resultados semejantes a los medidos no quiere decir que el modelo no sirva, a lo mucho quiere decir que las ecuaciones usadas no son aplicables a las condiciones del experimento.

La exactitud de un modelo depende en gran medida de los parámetros que considera y por parámetros se entienden variables que están considerando, éstas van desde las

propiedades de la sustancia hasta factores ambientales. Algunos de los parámetros que debe considerar un modelo para reflejar mejor condiciones reales son:

- a) **Material.-** punto de ebullición, punto de fusión, peso molecular, presión de vapor, densidad, tendencia a polimerizarse, reacciones con el aire o con el agua, facilidad de modelar mezclas, uso de vapores absolutos para propiedades o incorporación de coeficientes para las ecuaciones del cálculo de dichas propiedades, entre otros.
- b) **Descarga.-** determinación de tasa de emisión, estado físico al ser liberada, variación de temperatura durante la descarga, tamaño de las partículas emitidas, formación, formación de charcos o si requiere que el usuario alimente esta información.
- c) **Dispersión.-** consideración de las diferentes etapas de dispersión: expansión turbulenta inicial, densidad de la nube, dispersión pasiva, consideración de la estabilidad atmosférica y velocidad del viento.

Finalmente habrá que decir que no existe un protocolo de validación de modelos y si bien existen investigadores que se han dado a la tarea de comparar el desempeño de diferentes modelos que en teoría tienen la misma aplicación, los parámetros de comparación dependen mucho de quién está haciendo la investigación y cual es su objetivo.

Podemos resumir diciendo que la validación de un modelo no depende de que tan apegadamente refleja la realidad sino más bien de la validez de las ecuaciones que utiliza, los criterios que asume y los parámetros que toma en cuenta. Conociendo qué hay dentro de un modelo uno puede darse una buena idea de si su aplicación es conveniente o no, no es necesario esperar a que ocurra un evento indeseable para comparar sus consecuencias con las estimadas por el modelo.

APPENDIX B ¹

TECHNICAL BASIS FOR CONSEQUENCE ANALYSIS PROCEDURES

B.1 Introduction

This appendix provides a technical overview of the various computational procedures contained in ARCHIE and their key assumptions. Many of these models reflect the state-of-the-art in terms of development work undertaken at public and private research facilities, information in the published literature, and data collected or estimated from experiments and actual accidents. Nevertheless, to make models workable for ARCHIE within constraints imposed by available data and project resources, it was necessary at times to employ a number of idealizations and assumptions which must not be overlooked in the interpretation of results. Accordingly, it is believed that trends are predicted accurately, but estimated values are less certain. In general, estimates of hazard zones are conservative, in that uncertainties overpredict rather than underpredict the extent of the hazard zones associated with an accidental release. Exceptions are possible and likely, however, so the application of safety factors by users is encouraged.

In selection and development of hazard assessment models for ARCHIE , particular emphasis was placed on simplicity of computational procedure, minimization of required input, applicability to a wide range of accident scenarios, and reasonable accuracy of results. Individual subsections below address individual models in the computer program

¹This appendix was prepared using a special word processing system because of the large number of equations presented. This prevented matching of the fonts and type sizes used throughout the rest of this handbook

Disc. [unclear] code No. 1000

B.2 Liquid Discharge Models

For a given liquid height and vapor space pressure, the instantaneous liquid release rate from a tank or other container is commonly given by the equation:

$$m = A_h C_d \sqrt{\rho_l [2g\rho_l (H_L - H_h) + 2(P_o - P_a)]} \quad (\text{B.1})$$

where

m = Discharge rate, kg/s

g = Gravitational constant, 9.8 m/s^2

ρ_l = Liquid density, kg/m^3

P_o = Storage pressure, N/m^2

P_a = Ambient pressure, N/m^2

H_L = Liquid height above bottom of container, m

H_h = Height of discharge opening, m

A_h = Area of discharge opening, m^2

C_d = Discharge coefficient

An average release rate may be obtained for tanks operating at atmospheric pressures by computing the time (T_e) required to empty a tank. Closed form expressions are available for storage tanks of specific geometries [27] and are as follows for the system of units being utilized:

- Rectangular Tank:

$$T_e = \frac{8LW\sqrt{H_T}}{C_d D_o^2 \pi \sqrt{2g}} \quad (\text{B.2})$$

- Vertical Cylindrical Tank:

$$T_e = \frac{\sqrt{2H_T} D_T^2}{D_o^2 \sqrt{g} C_d} \quad (\text{B.3})$$

- Horizontal Cylindrical Tank:

$$T_e = \frac{16}{3\pi} \frac{H_T D_T^{1.5}}{D_o^2 \sqrt{2g} C_d} \quad (\text{B.4})$$

- Spherical Tank:

$$T_e = \frac{16}{15} \frac{D_T^{2.5}}{D_o^2 \sqrt{2g} C_d} \quad (\text{B.5})$$

where:

D_T = Tank diameter, m

D_o = Opening diameter, m

H_T = Liquid height, m

T_e = Time to empty, sec

In deriving the above equations, it is assumed that the tank is full and a circular opening of diameter D_o is at the bottom of the tank. The average release rate is therefore given by:

$$m_{avg} = \frac{M}{T_e} \quad (\text{B.6})$$

where M is the total liquid mass in the tank in kilograms.

Equation B.1 is also used to calculate pressurized liquid release rates. In this case the difference between the tank pressure and the ambient pressure is much larger than the liquid head. When assuming that liquid head is negligible, Equation B.1 becomes:

$$m = A_h C_d \sqrt{\rho_l 2(P_o - P_a)} \quad (\text{B.7})$$

This model should be used to calculate liquid discharge from vessels where the discharge outlet is less than 4 inches from the inner wall of the tank. It has been shown by Fletcher [18,19] that a length of pipe of 4 inches is necessary and sufficient to establish two-phase flow independent of the pipe diameter size. The more appropriate discharge rate equation for this latter condition is presented in section B.6.

B.3 Gas Discharge From a Tank

This model calculates the initial discharge rate of a gas from a pressure vessel. The model assumes that the process is adiabatic and that wall friction effects are negligible. Using the mechanical energy balance, an expression for an instantaneous discharge rate under non-choked flow conditions may be calculated from:

$$m = A_h \sqrt{2p_o \rho_o \left(\frac{\gamma}{\gamma - 1} \right) \left[\left(\frac{p_1}{p_o} \right)^{2/\gamma} - \left(\frac{p_1}{p_o} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right]} \quad (\text{B.8})$$

Under choked flow conditions, the mass flow rate is calculated from:

$$m = A_h \sqrt{\gamma p_o \rho_o \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}} \quad (\text{B.9})$$

where:

m = Discharge rate, *kg/s*

A_h = Opening area, *m²*

γ = Ratio of specific heats

p_o = Tank pressure, *Pascals*

p_1 = Ambient pressure, *Pascals*

ρ_o = Density, *kg/m³*

It can be shown that choked flow (maximum flow rate) occurs at a critical pressure ratio of:

$$\left(\frac{p_1}{p_o} \right)_{crit} = \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (\text{B.10})$$

These equations are based on ideal gas behavior. They can be modified using a compressibility factor correlation such as Pitzer's correlation [46] but are not so in ARCHIE for model simplification purposes.

B.4 Gas Discharge From a Pipeline

Two primary computational approaches are available for estimation of gas discharge rates from punctured or ruptured pipelines conveying strictly gaseous products. The pipeline can be considered to be a volume of compressed non-flowing gas or it can be considered as a length of pipe with gas velocity increasing towards the discharge location.

The volume model is simple and relies upon the equations described earlier for gas discharge from a tank. It essentially neglects the effects of friction along the pipe and therefore provides a conservative estimate of the discharge rate. This is the model used in ARCHIE .

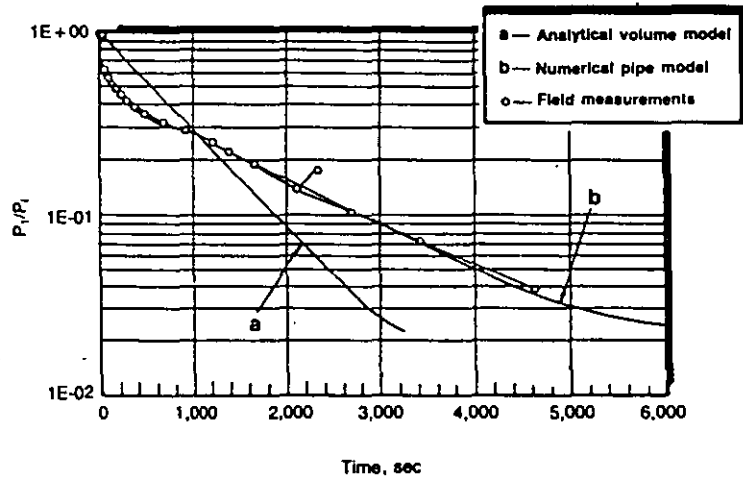
Consideration of frictional resistance to flow often requires graphical techniques to calculate discharge rates. The charts referred to are those described by Lapple [35] and later corrected by Levenspiel [37]. It is also possible to use a complex numerical algorithm to solve the mass and energy conservation equations needed to describe the problem, with the flow being divided into two parts:

1. A frictionless adiabatic flow at the junction of the reservoir and the pipe.
2. An adiabatic expansion with friction through the pipe.

Weiss et. al [51] present a comparison between field test data, volume model results, and results obtained using a complex numerical model for pipeline blowdown calculation. Although the volume model underpredicts the blowdown time, it leads to generally conservative vapor dispersion calculations since it overpredicts the discharge rate for any given amount of gas in a pipeline (See Figure B.1).

Biol. Gabriela Cedillo FONSE

Figure B.1: Models vs. Field Measurements. Taken from Weiss et al.



B.5 Liquid Discharge From a Pipeline

This model is a direct application of the Bernoulli equation [39]. It assumes the density of the liquid is constant and solves for an average discharge velocity without accounting for wall friction. Loss coefficients for valves and fittings may be accounted for by calculating the equivalent pipe length but are set to 0 in ARCHIE. The working equation is:

$$\frac{(P_a - P_b)}{\rho} + \frac{g}{g_c}(Z_a - Z_b) = \frac{(V_b^2 - V_a^2)}{2g_c} \quad (\text{B.11})$$

P_a = Pressure at pipe inlet, *Pascals*

P_b = Pressure at pipe outlet, *Pascals*

Z_a = Height above datum plane at pipe inlet, *m*

Z_b = Height above datum plane at pipe outlet, *m*

- g = Gravitational acceleration, m/s^2
 g_c = Newton's law proportionality factor, 1.0
 V_a = Inlet velocity, m/s
 V_b = Outlet velocity, m/s

B.6 Two-Phase Flow From a Tank

This method is used to estimate the two-phase gas-liquid discharge rate from a tank or other vessel when the discharge outlet is more than four inches from the inner wall of the vessel and the vessel contains a liquefied compressed gas.

The model is based on theoretical and experimental studies conducted by Fauske and Associates [15] under the sponsorship of the Design Institute for Emergency Relief Systems (DIERS). Details of the model are given in Fauske [15] and Lueng [38].

The final equation describing flashing two-phase flow through a line greater than 4 inches in length is:

$$D_r = 0.104D_o^2 \left(\frac{dP}{dT} \right) \left(\frac{T}{C_p} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{B.12})$$

Where:

D_r = discharge rate, lbs/minute

D_o = line or pipe diameter, inches

T = absolute temperature, degrees R

C_p = liquid specific heat, $\frac{Btu}{lb-R}$

$\frac{dP}{dT}$ = slope of vapor pressure curve, $\frac{mmHg}{K}$

Equation B.12 is derived from an equilibrium critical flow model. Fauske (1985) has determined that for a pure flashing component exiting through a line greater than 4 inches in length, the flow rate may be approximated by:

$$G = \frac{dP_s}{dT} \left[\frac{Tg_c}{C_p} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{B.13})$$

where:

G = mass flux

$\frac{dP_s}{dT}$ = slope of vapor pressure curve

T = absolute temperature

C_p = liquid specific heat

g_c = gravitational constant

The flow rate given by Equation B.13 is governed by the sonic velocity at equilibrium flash condition and is not significantly affected by frictional effects. In order to estimate this flow rate, it is necessary to determine the heat capacity of the liquid and the slope of the vapor pressure curve.

The slope of the vapor pressure curve may be determined readily if the vapor pressure data are available. However, material safety data sheets usually specify the vapor pressure at only one specific temperature and also typically provide the normal boiling point of the substance. Since the vapor pressure at the normal boiling point is one atmosphere or 760 mm of mercury, these two vapor pressure data points are used in ARCHIE to estimate the approximate slope of the vapor pressure curve using the expression:

$$\frac{dP_s}{dT} = \frac{P_s \ln \left(\frac{P_s}{760} \right)}{T_s - T_b} \quad (\text{B.14})$$

Where:

P_s = vapor pressure at temperature T_s , in mm of mercury

T_b = boiling point (the vapor pressure is 760 mm of mercury)

The heat capacity of liquid is not a parameter given in material safety data sheets, but the range of heat capacities for various types of materials is relatively narrow.

- Organic materials made up of predominantly carbon, hydrogen, oxygen, nitrogen and sulfur typically have a heat capacity ranging from 0.3 Btu/lb-F to 0.8 Btu/lb-F.
- Chemicals containing chlorine, fluorine and silicon typically have heat capacities in the range of 0.2 to 0.4 Btu/lb-F.
- Chemicals containing bromine and iodine and metals containing organics typically have heat capacities ranging from 0.1 to 0.2 Btu/lb-F.

In the absence of specific data for a chemical, the program and Chapter 12 suggest use of the following values:

- Chemicals containing carbon, hydrogen, oxygen, nitrogen and sulfur:
 $C_p = 0.3 \text{ Btu/lb} - F.$
- Chemicals containing chlorine, fluorine or silicon: $C_p = 0.2 \text{ Btu/lb} - F.$
- Chemicals containing iodine, bromine or metals: $C_p = 0.1 \text{ Btu/lb} - F.$

Equation B.12 can be utilized by first applying Equation B.14 to determine the approximate slope of the vapor pressure curve and then identifying or selecting an appropriate liquid heat capacity.

B.7 Pool Size Estimation Methods

Estimation of pool areas resulting from discharges of liquid into the terrestrial environment is one of the most difficult and error prone aspects of

Biol. Gabriela Cedillo Pcnce

accident scenario evaluations for hazardous materials. Exceptions only involve those cases in which the discharge source is confined by a secondary containment system of known dimensions and the liquid can be expected to cover the exposed surface of the containment area. In the real world, unconfined spills rarely occur in a location where the ground surface is perfectly flat and impermeable. Rather, spilled liquids will typically follow rainwater discharge paths while simultaneously vaporizing, burning, and / or soaking into the ground. Thus, this model is actually comprised of a number of different estimation procedures, all of which are designed to ease the task of the program user in obtaining a result that is reasonable and likely to be within the correct *ballpark*.

In the case of a liquid not expected to boil upon release to the environment due to the relationship between its normal boiling point and ambient and storage temperatures, ARCHIE first estimates the rate at which the liquid will evaporate on a unit area basis using a correlation developed by the U.S. Air Force that is described in section B.8. This evaporation flux is then used as input to a generalized pool spreading model described in section B.10, with substitution of the evaporation regression rate for the burning velocity of the liquid. The result is a maximum credible area for the scenario being evaluated under specified environmental conditions.

Remaining pool size estimation techniques for non-boiling liquids are simple and permit refinement of results. A pool area may be calculated based on user-supplied data from observations at the potential accident or incident site, the user may select use of the maximum credible pool area, or the user may choose use of a simple and very crude correlation based on limited experimental data, this being:

$$\log(A) = 0.492 \log(m) + 1.617 \quad (\text{B.15})$$

where:

m = Total liquid mass spilled, *lbs*

A = Pool area, *ft²*

Computation of pool areas for boiling liquids is accomplished via use of the boiling rate models described in section B.8 to determine the vaporization flux and the same pool spreading model described in section B.10. In this latter case, the vaporization flux is substituted for the burning velocity of the liquid in appropriate units.

B.8 Emission Rates From Liquid Pools

Pools of evaporating liquids are modeled with one of two methods, depending upon the volatility, normal boiling point, and storage temperature of the liquid and their relationship to the ambient temperature. [11,14,31].

If a discharged liquid is near ambient temperature, a simplified model developed by the U. S. Air Force Engineering and Services Laboratory [32] is used to predict the evaporation rate. This model was correlated to a complex numerical model [31], also developed by the Air Force and validated with experimental data [11]. It requires far less user input, yet yields reasonably accurate answers. The model applies to spills that can vary up and down in temperature as the liquid pool heats and cools, and is limited in emission rate by how fast mass can transfer into the air from the pool surface. It is also reasonably accurate for pools being heated moderately by the sun, but does not fully account for the decreases in evaporation rates that boiling or very volatile liquids may experience as a result of cooling by evaporation. However, the error applies only to one specialized category of spills, and normally results in a conservative answer. Inaccuracies resulting from heating of a relatively low volatility substance spilled onto a hot surface or warmed by the sun over time are counterbalanced by recommendations

made to users of ARCHIE in Chapter 12 with respect to specification of ambient and liquid storage temperatures.

The equation used to calculate the evaporation flux of volatile liquid is:

$$E_v = 4.66 \times 10^{-6} U_w^{0.75} T_F \frac{P_s M_w}{P_{sh}} \quad (\text{B.16})$$

where

E_v = Evaporation flux, *lbs/min/ft²*

U_w = Wind speed, *mph*

P_s = Vapor pressure of chemical, *mm Hg*

P_{sh} = Vapor pressure of hydrazine, *mm Hg*

M_w = Molecular weight of chemical

T_F = Spill temperature correction factor

The spill temperature correction factor is defined as follows:

$$T_F = 1 \quad T_p < 0 \text{ C} \quad (\text{B.17})$$

$$T_F = 1 + 4.3 \times 10^{-3} T_p^2 \quad T_p > 0 \text{ C} \quad (\text{B.18})$$

where T_p is the pool temperature in degrees C. The vapor pressure of hydrazine is given by the following equation:

$$\ln(P) = 65.3319 - \frac{7245.2}{T} - 8.22 \ln(T) + 6.1557 \times 10^{-3} T \quad (\text{B.19})$$

where T is in kelvins and P is in atmospheres. Note that the total vaporization rate of the pool is obtained by multiplying the evaporation flux by the pool area. The duration of vapor emission is obtained by dividing the total mass of discharged liquid by the total vaporization rate. Equation B.18 is used by ARCHIE for all non-boiling liquids and for those liquids which boil at pool temperatures in excess of zero degrees Celcius.

The vaporization rate of cold boiling liquids, including most liquefied gases, is normally driven by the rate of heat transferred from the ground by conduction. Accurate computation of vaporization rates by so-called *ground conduction models* requires knowledge of several ground surface properties as well as the physio-chemical properties of the spilled material. Further complicating the proper use of such models is the fact that rates will vary with time as the surface beneath the pool is cooled. Notwithstanding the above, several existing models without excessive data demands were tested for inclusion in ARCHIE , including a novel approach based on observations of the relationship between the boiling and burning rates of liquids which provided the best overall results.

An understanding of the logic applied during development of the latter approach requires knowledge of the following observations:

1. Larger differences in temperature between the ground and the boiling point of the discharged liquid lead to higher vaporization rates in general.
2. The depletion rate of a boiling pool at low temperatures can approach but not exceed the expected rate of depletion if the pool is burning.
3. Burning rates of most common flammable liquids vary within a relatively narrow range regardless of the boiling point of the liquid.
4. The burning rate of a liquid is a function of its boiling point, molecular weight, and density.

Based on the above findings, a simplified method was developed by correlating burning velocities estimated by the equation presented in section B.10 with experimentally derived boiling rates for a variety of hazardous materials, these including butane, sulfur dioxide, propane, methane, and oxygen.

Doc. E. Cabrera Cedillo Ponce

The resulting correlation was:

$$F = 0.5322 - 0.001035T_b \quad (\text{B.20})$$

$$E_v = Fy\rho \quad (\text{B.21})$$

where,

E_v = Vaporization flux, $kg/m^2/s$

T_b = Boiling point, F

ρ = Liquid density, kg/m^3

y = Burning velocity, m/s

This approach provides answers of reasonable accuracy within the correct order of magnitude. It is slated for further refinement in a future version of ARCHIE .

B.9 Vapor Dispersion Model

The size of a dispersion hazard zone depends upon the quantity of the material released, its effective density, volatilization, prevailing atmospheric conditions, source elevation, and the user specified toxicity limit.

The toxicity limit must be selected by the user carefully to reflect both the impact of interest (fatality, serious injury, injury, etc.) and the scenario release conditions (especially duration of release or pool evaporation). Chapter 6 of the guide discusses this topic in detail.

The model in ARCHIE is used to determine the downwind distances where the concentrations are at or above a user specified toxic limiting concentration. Among the models required for hazard assessments, vapor dispersion

models are perhaps the most complex. This is primarily due to the varied nature of release scenarios as well as the varied nature of chemicals that may be released into the environment.

In general, dispersion of toxic gases or vapors is influenced by the following parameters:

- Release Rate and Duration
- Prevailing Atmospheric Conditions
- Limiting Concentration
- Duration of Release
- Elevation of the Source
- Surrounding Terrain
- Source Geometry
- Initial Density of the Release

Each one of these parameters are discussed with special emphasis on their influence on estimation of downwind distances.

Release Quantity or Release Rate refers to the total amount of hazardous chemical which has the potential to be released over a given period of time in the event of an accident. This parameter is a major factor in determining the dispersion distance. In general, larger quantities lead to larger dispersion distances. However, the dispersion distance does not increase linearly with quantity or release rate. In fact, a factor of 10 increase in release rate usually increases the dispersion distance by a factor of about 3. A factor of 100 increase in release rate may lead to a factor of 10 increase in the dispersion distance. For gaseous and high vapor pressure liquid releases, the release rate to the atmosphere will be the same as the discharge rate from

a vessel or pipeline. For liquids with low vapor pressures, the vapor release rate will be governed by the liquid-specific evaporation characteristics, the spill area, and the ambient conditions; it can never exceed the liquid spill rate.

Prevailing Atmospheric Conditions include a representative wind speed and an atmospheric stability class. Less stable atmospheric conditions result in shorter dispersion distances than more stable weather conditions. Wind speed affects the dispersion distance inversely. Since weather conditions at the time of an accident can not be determined *a priori*, it is usually prudent to exercise the model for at least typical and worst case weather conditions for hazard analysis purposes.

Limiting Concentration affects the dispersion distance inversely. Lower concentrations lead to larger dispersion distances. As with source release rate, the effect is not linear, with a factor of 100 reduction in the limiting concentration resulting in an increase in the dispersion distance by a factor of about 10.

Duration of Release is a parameter dependent on release conditions. Most dispersion models use one of the two extreme cases, i.e., continuous release or instantaneous release. In the case of instantaneous release (i.e., for very short duration releases), the total quantity of the chemical released during the accident contributes to the dispersion hazard, and the dispersion takes place in longitudinal (along wind), lateral (across wind) and vertical directions. In case of a continuous release (i.e., a release that lasts a long time compared with downwind travel time), the release rate is the important parameter, and dispersion is commonly assumed to take place only in the lateral and vertical directions.

Clearly, most releases do not fall into either one of the above two categories. Models developed to predict strictly continuous or instantaneous releases

cannot be applied with reasonable accuracy because they do not take into account the actual release duration. Consequently, a finite duration correction (see Palazzi [42]) is incorporated into ARCHIE . This model approaches the two limiting cases as the release duration is varied from very short to very long times. The finite duration correction was validated by Palazzi et. al. using the experimental data of De Faveri et. al. [13].

The concentration at any location is given in ARCHIE by:

$$C_f = \frac{C_c}{2} \left[\operatorname{erf} \left(\frac{x}{\sqrt{2}\sigma_x} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{x - U_w t}{\sqrt{2}\sigma_x} \right) \right] \quad \text{when } t \leq t_R \quad (\text{B.22})$$

$$C_f = \frac{C_c}{2} \left[\operatorname{erf} \left(\frac{x - U_w(t - t_R)}{\sqrt{2}\sigma_x} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{x - U_w t}{\sqrt{2}\sigma_x} \right) \right] \quad \text{when } t \geq t_R$$

where:

$$C_c = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z U_w} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} \quad (\text{B.23})$$

$$\times \left[\exp \left(-\frac{(z - H)^2}{2\sigma_z^2} \right) + \exp \left(-\frac{(z + H)^2}{2\sigma_z^2} \right) \right]$$

Here, t_R is the duration of release in seconds. The maximum concentration is given by the following equation:

$$C_{max} = \frac{C_c}{2} \left[\operatorname{erf} \left(\frac{x}{\sqrt{2}\sigma_x} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{x - U_w t_R}{\sqrt{2}\sigma_x} \right) \right] \quad x \leq \frac{U_w t_R}{2} \quad (\text{B.24})$$

$$C_{max} = C_c \left[\operatorname{erf} \left(\frac{U_w t_R}{2\sqrt{2}\sigma_x} \right) \right] \quad x \geq \frac{U_w t_R}{2} \quad (\text{B.25})$$

The parameters used in the above equations are defined as follows:

C_{max} = Maximum centerline concentration, kg/m^3

Q = Continuous source release rate, kg/sec

U_w = Wind speed, m/sec

z = Vertical distance, m

y = Crosswind distance, m

x = Downwind distance, m
 H = Source height, m
 σ_x = Longitudinal standard deviation, m
 σ_y = Lateral standard deviation, m
 σ_z = Vertical standard deviation, m

The model uses Pasquill-Gifford [43] dispersion coefficients (i.e., standard deviations) which provide a measure of the turbulence intensity in the lateral and vertical directions. These coefficients are a function of downwind distance. It is customary to assume for short duration sources that the longitudinal dispersion coefficient is identical to the lateral dispersion coefficient.

As the duration of the release becomes small, the results approach that of an instantaneous model; conversely, as the duration becomes very large, the results resemble that of a continuous point source model.

Elevation of the Source is attributed to its physical height (such as a tall stack). In general, the effect of source height is to increase dispersion in the vertical direction (since it is not ground restricted), and reduce the concentration at ground level.

Surrounding Terrain affects the dispersion process greatly. For example, rough terrains involving trees, shrubs, buildings and structures usually enhance dispersion, and lead to a shorter dispersion distance than predicted using a flat terrain model. Building and terrain effects are site-specific and cannot be considered in a generalized dispersion model.

Source Geometry refers to the actual size and geometry of the source emission. For example a release from a safety valve may be modeled as a point source. However, an evaporating pool may be very large in area and may require an area source model. The source geometry effects are significant

when considering near-field dispersion (less than ten times the characteristic dimensions of the source). At farther distances, the source geometry effects are smaller and eventually become negligible. Thus, ARCHIE uses a point source model in all cases. Since most toxic substances have long dispersion distances, this level of detail was considered adequate for emergency planning purposes.

Initial Density of the release affects the dispersion process. A buoyant release may increase the effective height of the source. By the same token, a *heavier than air* release will slump towards the ground. For heavier-than-air releases at or near ground level, the initial density determines the initial spreading rate. This is particularly true for large releases of liquefied or pressurized chemicals where flashing of vapor and formation of liquid aerosols contribute very significantly to the initial effective vapor density and therefore to the density difference with air.

Results of recent research programs dramatically indicate the importance of heavy gas dispersion in the area of chemical hazard assessment. In fact, heavy gas dispersion phenomena exhibit a predictable pattern.

- The initial rate of spreading (often termed slumping) is significant and is dependent on the differences between the effective mean vapor density and the air density.
- The rapid mixing with ambient air due to slumping leads to lower concentrations at shorter distances than those predicted using neutral density dispersion models.
- There is very little mixing in the vertical direction, and thus, a vapor cloud *hugging* the ground is generated.
- When the mean density difference becomes small, the subsequent dispersion is governed by prevailing atmospheric conditions.

Biol. Gabriela Cedillo Ponce

Since *heavy gas dispersion* occurs near the release, it is particularly important when considering large releases of pressurized flammable chemicals. To examine the feasibility of having a simplified version for ARCHIE, the results of a detailed heavy gas model [41] were compared with those from a neutral buoyancy vapor dispersion model for both flammable and toxic hazard scenarios. The models were exercised for the following two scenarios with both neutral and stable atmospheric conditions:

- Liquefied propane gas (LPG) released instantaneously with 35 % flashing into vapor and the remaining liquid in the form of aerosols within the vapor cloud. The mass of release was varied from 1 ton to 100 tons. The limiting concentration was chosen to be one-half of lower flammability limit for propane.
- Pressurized releases of chlorine with 20 % flashing and the remaining 80 % in the form of liquid aerosols. The mass of release varied from 0.1 ton to 10 tons. The limiting concentration was chosen to be the IDLH for chlorine (25 ppm).

The results of the model comparison were as follows:

- The heavy gas dispersion model, when exercised for the LPG scenario, gave very similar dispersion distances for both stability categories. The typical distances were between 1000 ft (1 ton release) to 3000 ft (100 ton release).
- The neutral buoyancy dispersion model, when applied to the LPG scenario produced to larger dispersion distances under stable weather conditions. The dispersion distances were typically 50 % to 100 % greater than heavy gas dispersion model predictions for neutral weather conditions. For stable weather conditions, the neutral buoyancy dispersion distances were about 3 to 5 times greater than those given by the

heavy gas dispersion model.

- The heavy gas dispersion model results for chlorine release scenarios were sensitive to the atmospheric stability conditions with stable weather leading to larger dispersion distances than neutral weather conditions. The heavy gas dispersion model resulted in slightly larger dispersion distances than the neutral buoyancy dispersion distances largely due to limited vertical mixing. Over the range of parameters, the differences between the two model results were about 10 %.

Based on this comparison, it was concluded that use of a neutral buoyancy dispersion model would be adequate for toxic release scenarios being evaluated by ARCHIE for emergency planning purposes.

The time of arrival of a cloud or plume at a downwind point is often calculated by simply dividing the downwind distance by an average wind speed:

$$t_{arrive} = \frac{X_{dw}}{U_w} \quad (B.26)$$

where:

X_{dw} = Downwind distance, m

U_w = Average wind speed, m/s

In the above expression, the wind speed is assumed to be constant and independent of height. The vapor cloud is assumed to travel at a velocity similar to that of ambient air.

A more realistic estimate may be calculated using a wind speed profile with a power law expression:

$$U_w = U_{ref} \left(\frac{z}{z_{ref}} \right)^{0.14} \quad (B.27)$$

where:

Biol. Gabriela Cedillo Fcnce

U_{ref} = Reference wind speed, *m/s*

z_{ref} = Reference height, *m* (usually 10 m)

To provide conservative estimates of cloud departure and arrival times, ARCHIE uses the following logic:

- For discharges with source elevations less than 10 meters, the wind speed reported at a 10 meter height is used to calculate arrival time; 50 % of this speed is used to calculate departure time.
- For discharges with source elevations greater than 10 meters, the power law is used to calculate wind speed for arrival time; 50 % of the 10 meter reference wind speed is used to calculate departure time.

Recommended initial evacuation zone widths are estimated using the methodology described in Chapter 3 of this guide.

B.10 Pool Fire Model

Upon ignition, a spilled liquid hydrocarbon pool will burn in the form of a large turbulent diffusion flame. Calculating the incident flux to an observer involves four steps: geometric characterization of the flame, estimation of flame radiation properties, estimation of attenuation coefficients, and computation of the geometric view factors between the observer and flame. The size of the flame will depend upon the spill surface and thermo-chemical properties of the spilled liquid. In particular, the diameter of the fire (if not confined by a dike), the visible height of the flame, and the tilt and drag of the flame due to wind can be correlated with the burning velocity of the liquid. The radiative output of the flame will depend on the fire size, the extent of mixing with air and the flame temperature. Some fraction of the thermal radiation is absorbed by carbon dioxide and water vapor in the intervening atmosphere. In addition, large hydrocarbon pool fires produce thick smoke which can significantly obscure flame radiation. Finally, the incident flux at an observer location will depend on the radiation view factor which is a function of the distance from the flame surface, the observer's orientation, and the flame geometry.

Experimental data on thermal radiation hazards suggest that an incident flux of about 5 kW/m^2 (1600 Btu/hr-ft^2) will cause second-degree burn injuries on bare skin if the duration of exposure is about 45 seconds. An incident flux level of 10 kW/m^2 (3200 Btu/hr-ft^2) quickly causes third-degree burns that are likely to lead to fatality. These two levels are typically used in determining injury and fatality hazard zones (See Buettner [10]).

Estimating the thermal radiation hazards from pool fires involves three main steps: characterization of the flame geometry, approximation of the radiative properties of the fire, and calculation of the safe separation distance to specified levels of thermal radiation. The model is used to calculate the

following parameters:

- Fuel burning velocity;
- Effective emissive power; and
- Fatality and injury hazard zones.

Several simplifying assumptions have been made in the calculation procedure. These are summarized below:

- Pool area is circular
- Observer is at ground level
- Ambient temperature is 20 degrees C.
- Atmospheric absorption of thermal radiation is negligible
- Negligible wind in the vicinity of the flame; thus, uniform thermal radiation field radially and no flame tilt.
- When the user assumes pool ignition occurs shortly after release, the fire achieves a size such that the burning rate equals the spill rate, with some adjustments made for special circumstances. Otherwise, the fire has the base area determined via the use of the evaporating or boiling pool area estimation models.

The burning velocity of a liquid pool is the rate at which the pool level decreases with time. The mass burning rate is a related term, being a product of the burning velocity and the fuel liquid density. Extensive burn rate measurements (See Burgess [9]) have shown a definite relationship between the burning velocity and thermochemical fuel properties, such as the ratio of the net heats of combustion and vaporization. The single most readily available property that best correlates with these heats is the normal boiling point. Therefore, a simple expression for the burning velocity was obtained,

covering a wide range of boiling points. It is important to note that the correlation developed is independent of pool size. In effect, it is assumed there is a large, turbulent diffusion flame behaving as an optically thick gray body. This condition is satisfied for most pool fires exceeding about 10 feet in diameter. The equation to estimate the burning velocity is ²:

$$y = \frac{92.6e^{-0.0043T_B} M_w 10^{-7}}{\rho 6} \quad (\text{B.28})$$

where:

y = Burning velocity, *m/s*

M_w = Molecular weight, *kg/kgmol*

ρ = Liquid specific gravity

T_B = Normal boiling point, degrees F

The spectrum of hydrocarbon liquid spill scenarios is wide. Spills can be classified based on the rate of release and duration:

- Continuous spills - in which the spill continues at a specified finite rate for a long duration.
- Instantaneous spills - in which all of the spill occurs in a *very short time*.
- Finite duration spills - where a given volume of liquid is spilled over a given duration of time. Both the release rate and the release duration are finite.

The diameter of the pool fire depends upon the release mode, release quantity (or rate) and the burning rate. In addition, if the spill occurs on land,

²This equation underpredicts the burning rate for hydrogen. ARCHIE therefore includes a special adjustment for hydrogen

the frictional resistance offered by the terrain will limit the spreading velocity of the liquid. In the case of a continuous spill, the liquid spreads and increases the burning area until the total burning rate equals the spill rate. This condition of equilibrium is represented by an equilibrium diameter given by the following equation:

$$D_{eq} = 2\sqrt{\frac{V}{\pi y}} \quad (\text{B.29})$$

Here,

D_{eq} = Steady state diameter of the pool, m

V = Liquid spill rate, m^3/s

y = Liquid burning rate ³, m/s

This equation assumes that the dominant mode of heat transfer to the liquid pool comes from the flame and the burning rate is constant. This is a valid assumption for all liquid hydrocarbons whose boiling temperatures are above ambient. This is also true for liquefied hydrocarbon spills on water where heat transfer from water to the pool is relatively constant. This results in a higher burning rate. The equation, however, ignores the time dependent heat transfer from substrate such as on land where heat transfer decreases with time. It is also assumed in deriving this equation that the mass balance is maintained within the burning pool. Hence, the loss of liquid due to percolation through the soil or dissolution in the water column are not included.

In the absence of frictional resistance during spreading, the equilibrium diameter given by Equation B.29 is reached over a time given by the following equation:

$$t_{eq} = 0.949 \frac{D_{eq}}{(\Delta y D_{eq})^{1/3}} \quad (\text{B.30})$$

³see section B.5 for equation

where, Δ is the effective gravity.

The effective gravity is equal to the gravitational constant for spills on land. It is important to note that the equilibrium diameter does not represent the maximum diameter of the flame. The excess volume spilled up to the time to reach the equilibrium diameter spreads further. The maximum diameter is given by:

$$D_{max} = \sqrt{2}D_{eq} \quad (B.31)$$

If the spill duration is less than t_{eq} , a steady state diameter is not reached. The maximum diameter and the time to reach this diameter are given by the following expression:

$$D_{max} = \left[\frac{4}{3} + \left(\frac{D_s}{D_{ch}} \right)^4 \right]^{1/4} D_{ch} \quad (B.32)$$

$$t_{max} = 0.6966 \left[\frac{V_s}{\Delta y^2} \right]^{1/4} \left(1 + \frac{3}{4} \left[\frac{D_s}{D_{ch}} \right]^4 \right)^{1/6} + t_s \quad (B.33)$$

$$D_{ch} = 1.65 \left[\frac{V_s^3 \Delta}{y^2} \right]^{1/8} \quad (B.34)$$

Here,

V_s = Volume remaining in the pool at the end of the spill, m^3

t_s = Spill duration, *sec*

D_s = Spill diameter at the end of the spill duration, *m*

A similar expression may be obtained for simultaneous spreading and burning of instantaneous releases in the absence of frictional resistance during spreading. Here the radius of the pool increases until all the material is consumed by the fire. The expressions for the maximum diameter and time to reach maximum diameter are as follows:

$$D_{max} = 1.7766 \left[\frac{V_s^3 \Delta}{y^2} \right]^{1/8} \quad (B.35)$$

$$t_{max} = 0.6966 \left[\frac{V}{\Delta y^2} \right]^{1/4} \quad (B.36)$$

Equations B.32, B.33 and B.34 may be used to derive the above equations by substituting the total liquid volume V in place of V_s and setting the initial diameter D_s and spill duration t_s to zero.

For liquid hydrocarbon spills on land, the spreading velocity is largely controlled by frictional resistance offered by the terrain. The maximum pool diameter and the time to reach the maximum for an instantaneous release are given by the following expressions:

$$D_{max} = 1.7982 \left[\frac{V^2}{y} \sqrt{\frac{g}{C_d}} \right]^{2/11} \quad (B.37)$$

$$t_{max} = 0.5249 \left[\frac{V^3 C_d^2}{g^2 y^7} \right]^{1/11} \quad (B.38)$$

It should be noted that an instantaneous unconfined pool fire grows in size until a barrier is reached or until all the fuel is consumed. Therefore, the maximum diameters predicted by these equations will exist only for a short duration. Use of maximum pool diameter will therefore lead to very conservative results. A time averaged pool diameter can be obtained by integrating the time dependent expressions for pool diameter or more appropriately by dividing the maximum diameter by the square root of two, this being the approach taken in ARCHIE .

A similar expression may be devised for a continuous spill on ground, taking frictional resistance into consideration. The equilibrium diameter is given by equation B.29. The maximum diameter and time to reach the maximum diameter are as follows:

$$D_{max} = 1.254 D_{eq} \quad (B.39)$$

$$t_{max} = 0.897 \left[\frac{D_{eq}^3 C_d}{y^2 g} \right]^{1/4} \quad (B.40)$$

Here C_d is the ground friction coefficient. It has been assigned a value of 0.5 in ARCHIE for general application purposes.

The criteria by which a given spill situation can be categorized as instantaneous or continuous are difficult to establish. Comparisons can be made only between the rapid release of a given volume of liquid and the release of the same volume of liquid relatively slowly. One criterion for classification is the maximum radius of the burning pool. That is, for a given situation, the maximum radii of spread are calculated using both instantaneous and continuous models, and the spill is classified into the category which gives the smaller of the two spread extents. Raj [45] indicates that a spill can be treated as instantaneous if its dimensionless time, τ , is less than 0.002:

$$\tau = \frac{t_s y}{V^{1/3}} \quad (\text{B.41})$$

where, t_s is the spill duration.

The mean visible flame height, estimated by ARCHIE is based on the correlation of experimental data for laboratory-scale wooden crib fires (See Thomas [49]) which agrees well with observations of actual liquid pool fires. Based on these experimental data, Thomas developed a correlation for the mean visible flame height, H_{flame} :

$$H_{flame} = 42D_p \left[\frac{BV\rho}{\rho_a \sqrt{gD_p}} \right]^{0.61} \quad (\text{B.42})$$

where:

H_{flame} = Flame height, m

ρ = Liquid density, kg/m^3

ρ_a = Air density at ambient temperature, kg/m^3

D_p = Pool diameter, m

g = Gravitational acceleration, 9.8 m/s^2

Diol. Gabriela Cealme Ponce

The emissive power of a large turbulent fire is a function of the black body emissive power and the flame emissivity. The black body emissive power, in turn, can be computed using Planck's law of radiation, if the mean radiation flame temperature is known. For incident flux calculations, however, it is more important to estimate the effective emissive power of the flame, which accounts for shielding by surrounding layers of smoke for liquid hydrocarbon fires. Based on observed values of emissive powers reported in the literature and other available data (See Huggland et al [24] and Alger et al. [2]), the effective emissive power was correlated to the normal boiling point for selected fuels by the expression:

$$E_P = -0.313 T_B + 117 \quad (B.43)$$

where:

E_P = Effective emissive power, kW/m^2

T_B = Normal boiling point in degrees F

Materials with a boiling point above 30 degrees F typically burn with sooty flames. The emissive power from the sooty portion, based on limited data, is on the order of $20 \frac{kW}{m^2}$. An effective sooty flame average emissive power can therefore be estimated by assigning relative areas of sooty and unshielded flame and calculating an area based average emissive power.

The incident flux at any given location is given by the equation:

$$Q_{incident} = EP \times \tau \times VF \quad (B.44)$$

where:

$Q_{incident}$ = Incident flux, kW/m^2

τ = Transmissivity

VF = Geometric view factor

τ , the transmissivity coefficient, is mainly a function of the path-length (distance from observer to flame surface), relative humidity, and the flame temperature. For the calculation scheme in ARCHIE, τ has been set to 1, and the attenuation of thermal flux due to atmospheric absorption is not taken into account. This assumption provides a conservative hazard estimate, since the presence of water and carbon dioxide tends to reduce the incident flux at any given location.

The view factor defines the fraction of flame that is *seen* by a given observer. This geometric term has been calculated as a function of distance from the flame center for an upright flame approximated by a cylinder. It has also been assumed that the optimum orientation between observer and flame that yields a maximum view factor prevails. The resulting equation is as follows:

$$VF = 1.143 \left[\frac{R_p}{X} \right]^{1.757} \quad (B.45)$$

where:

X = Distance from flame center, m

R_p = Pool radius, m

For fatality, the incident flux level is set to 10 kW/m². For injury, the corresponding level is 5 kW/m². These levels are based on analysis of numerous sources of experimental burn data (Mudan,1984). Applying these two damage criteria, the above equations were rearranged to solve for hazard distances X_{10} and X_{05} for fatality and injury, respectively:

$$X_{10} = 0.30 \frac{R_p}{0.3048} EP^{0.57} \quad (B.46)$$

$$X_{05} = 0.43 \frac{R_p}{0.3048} EP^{0.57} \quad (B.47)$$

where:

X_{10} = Radius for expected fatalities, feet

X_{05} = Radius for expected injuries, feet

B.11 Fireball Model

A large release of a liquefied hydrocarbon (e.g., propane) may burn in the form of a fireball. When this occurs, the fireball grows larger and also moves upwards continuously because of buoyancy. The thermal radiation depends on the size of the fireball, the distance to the observer (which is continuously changing), and the observer's orientation. Experimental data and observation indicate that the duration of a fireball is typically a few seconds. Therefore, the incident flux at an observer location changes rapidly with time, and as before, is dependent upon flame shape, emissive power, attenuation and view factor (See Fay et al. [17]).

Due to the transient nature of both the size and location of a fireball, the thermal radiation field also varies with time. The equations that follow define the maximum diameter and height the fireball attains in a short duration, as well as the safe separation distances for fatality and injury. Several simplifying assumptions have been made in the calculation procedure. These are summarized below:

- The fuel is propane or has similar characteristics
- Ambient temperature is 20 degrees C. (68 degrees Fahrenheit)
- Atmospheric absorption of thermal radiation is negligible
- Fraction of combustion energy radiated = 0.2
- Observer is at ground level
- Directly under the fireball, the high levels of thermal radiation would be fatal. Therefore, the minimum fatality zone is equal to half the maximum diameter calculated.

A series of experiments involving pure vapor samples of methane, ethane, and propane suggest geometric and dynamic scaling relationships for the geometry of fireballs (Fay & Lewis, 1977). The first of these involve the maximum diameter, height, and duration of the fireball according to the following equations:

$$D_{max} = 16W^{1/3} \quad (B.48)$$

$$Z = 26.3W^{1/3} \quad (B.49)$$

$$T = 2.23W^{1/6} \quad (B.50)$$

where:

W = Mass in vessel, *lbs*

D_{max} = Maximum diameter of fireball, *ft*

Z = Maximum height of fireball, *ft*

T = Duration of fireball, *seconds*

Based on extensive experimental data on pigskin burns, damage criteria for fatality and injury have been established. A *Critical Energy Model*, which assumes that the burn severity depends upon the amount of energy that is absorbed by the skin after the surface temperature reaches 55 degrees C, provides a basis for the damage criteria from fireballs. These criteria represent two levels of thermal radiation: a heat flux in excess of 160 kilojoules per square meter (kJ/m²) could be fatal for humans due to irreversible skin tissue damage. A lesser level of 40 kJ/m² could cause pain or mild second-degree burns (Modeled, Wong and Williams, 1973). Therefore, in this calculation scheme, these two values have been used to define the safe separation downwind distances from a fireball for fatality and injury, respectively (Mudan & Desgroseilliers, 1981). Simple equations were developed by numerical analysis of results from the rigorous model of fireball hazards.

Biol. Gabriela Cedillo Flores

The safe separation distance for fatality, XF , in feet, was found to be:

$$XF = 1.48W^{0.56} \quad W \geq 2000 \text{ lbs} \quad (\text{B.51})$$

$$XF = 8.0W^{0.33} \quad W < 2000 \text{ lbs} \quad (\text{B.52})$$

Note: The minimum fatality zone equals half the calculated fireball diameter D_{max} , i.e. the fireball radius. This assumes that anyone directly under the fireball is in a fatality zone.

For injury, the safe separation distance, XI , in feet, is:

$$XI = 4.53W^{0.52} \quad (\text{B.53})$$

Note: For mass W less than 2000 lbs, the hazard zones are limited to the immediate vicinity of the fireball.

B.12 Flame Jet Model

The flame length expression for momentum dominated jets is based on models in the literature with correlating experimental data (See [25,28]). Flame length is proportional to the molecular weight of the fuel relative to air, and the diameter of the jet; in addition, it is inversely proportional to the lean limit concentration of the fuel.

For turbulent flame jets, the jet momentum governs the shape of the flame. In addition, the momentum-induced mixing with ambient air is very efficient and results in higher effective emissive powers for jet flames. A detailed flame jet model takes these differences into account to estimate incident fluxes at various locations.

The flame length correlation by Brzustowski (1973) for momentum- domi-

nated jets is given by the following equation:

$$\frac{F_{len}}{D_{jet}} = \frac{1050}{C_d} \sqrt{\frac{M_a}{M_f}} \quad (\text{B.54})$$

where:

F_{len} = Flame length, m

D_{jet} = jet diameter, m

C_d = Lean limit concentration, $vol\%$

M_a = Molecular weight of air

M_f = Molecular weight of fuel

Some of the theoretical assumptions in this model are as follows:

- For turbulent, momentum-dominated flame jets, flame length is independent of mass flow rate.
- In order to account for both visible and non-visible portion of flame length, a concentration criterion is applied. Essentially, the end of a turbulent diffusion flame occurs at that point on the longitudinal axis where the fuel concentration equals its lean limit. In view of extensive laboratory data, this assumption appears valid.
- Effect of crosswind on flame length not included.
- The incident flux levels for observer locations at radial distances from the flame are not computed. Since the direction of the jet cannot be predicted, it is assumed that the hazards in the longitudinal (axial) direction represent the maximum distance of impact.
- The flame length is correlated against a jet pseudo-diameter for expanded turbulent jets.
- The model does not distinguish among vertical, horizontal, or inclined jet flames.

- Hazards are evaluated at the plane of the jet. For jet flames at an elevation, the height and orientation of the jet should be considered.

The thermal radiation hazards from flame jets have been estimated by characterizing the flame length as a function of the fuel, and assuming twice the length dimension to represent the hazard zone.

The primary purpose of the model is to point out possible knock-on effects. The thermal radiation hazards to personnel are generally exceeded by potential damage to equipment which may be in the path of a flaming jet.

B.13 Vapor Cloud Fire Model

This method is applicable for a cloud or plume of flammable vapor which is released to the atmosphere and is ignited as it drifts downwind. A flame burns and propagates through the space occupied by the cloud. The hazard zone is defined by the length and width dimensions of this cloud. **ARCHIE** uses the model for toxic vapor dispersion for neutrally buoyant gases or vapors and a simplified heavy gas model for negatively buoyant gases to determine the length and width of the hazard zone. The heavy gas procedure was developed as follows:

- Using the results of a detailed heavy gas model applied to a number of pressurized releases, logarithmic plots were developed for instantaneous and steady-state releases at neutral (Pasquill D) and stable (Pasquill F) atmospheric conditions. The model was exercised for various flammable materials, such as propane, ethylene, ethane, butane, and LNG, over a wide range of release rates and quantities. The distance to the lower flammability limit (LFL) was calculated and correlated with a dimensional parameter, which is a function of the release

rate (or quantity for instantaneous spill scenarios), and selected properties of the material, such as molecular weight and LFL. The resulting correlating expressions were found to yield good approximations of the more rigorously calculated downwind hazard zones under a given set of atmospheric conditions and were incorporated into ARCHIE .

- All releases were assumed to occur at or near groundlevel. Elevated releases of heavy gases are assumed to fall to the ground before dispersing.
- Ambient temperature was assumed to be 20 C.
- In order to estimate the maximum crosswind dimensions of the cloud, the results of the more detailed model were again reviewed and correlated resulting in a series of rules-of-thumb that are applied under various release conditions.
- The effects of finite release duration were included in a semi-quantitative manner. Given a release rate and duration, the model assumes steady state, and computes the downwind hazard distance. The characteristic travel time of the cloud to this distance is then compared to the release duration. If the release duration is significantly larger than the characteristic travel time, then the steady state assumption is considered valid; if it is smaller, then the release is modeled as instantaneous. Where the two terms are comparable in magnitude, finite duration effects may be significant. In general, the model predicts that, for a given quantity of flammable material, a shorter release duration results in a larger hazard zone. Since an release assumption provides the largest zone, relatively short-duration releases were assumed to be instantaneous.

Readers should note that dispersion distances computed using the neutrally buoyant vapor dispersion model are generally 2 to 5 times larger

Biol. Gabriela Cedillo Ponce

than those using the heavy gas model. Since the width of the flammable zone typically ranges from 16 to 50 % of the downwind dispersion distance, **ARCHIE** assumes 50 % of the downwind hazard as being the approximate total cloud width for neutrally buoyant gases and vapors.

B.14 Unconfined Vapor Cloud Explosion Model

The explosive effect that may be produced by the ignition of unconfined flammable vapor clouds is one of the less frequent but severe consequences of spills. Although the precise form of the vapor cloud explosion is still not fully understood (detonation vs. high speed vs. low speed deflagration), it is common practice to express the energy released as a TNT-equivalent charge, and utilize extensive overpressure data available for TNT explosions (Zabetakis [53]). This is accomplished by comparing the combustion energy per unit mass of a vapor cloud with that of TNT, and taking into account that only a fraction of the energy in the cloud will contribute to the explosion. Overpressure data compiled from measurements on TNT explosions are then used to relate overpressure to distance from the explosion. Tables B.1 and B.2 show typical damage criteria as a function of overpressure for all types of explosions.

TABLE B.1
Explosion Overpressure Damage Estimates

| Overpressure* (psig) | Expected Damage |
|-------------------------|--|
| 0.03 | Occasional breaking of large windows already under stress. |
| 0.04 | Loud noise (143 dB); sonic boom glass failures. |
| 0.10 | Breakage of small windows under strain. |
| 0.15 | Typical pressure for glass failure. |
| 0.30 | Some damage to house ceilings; 10% window glass breakage. |
| 0.40 | Limited minor structural damage. |
| 0.50 - 1.0 | Windows usually shattered; some window frame damage. |
| 0.7 | Minor damage to house structures. |
| 1.0 | Partial Demolition of houses; made uninhabitable. |
| 1.0 - 2.0 | Corrugated metal panels fail and buckle. Housing wood panels blown in. |
| 1.0 - 8.0 | Range for slight to serious injuries due to skin lacerations from flying glass and other missiles. |
| 1.3 | Steel frame of clad building slightly distorted. |
| 2.0 | Partial collapse of walls and roofs of houses. |
| 2.0 - 3.0 | Non-reinforced concrete or cinder block walls shattered. |
| 2.3 | Lower limit of serious structural damage. |
| 2.4 - 12.2 | Range for 1-90% eardrum rupture among exposed populations. |
| 2.5 | 50% destruction of home brickwork. |
| 3.0 | Steel frame building distorted and pulled away from foundation. |
| 3.0 - 4.0 | Frameless steel panel building ruined. |
| 4.0 | Cladding of light industrial buildings ruptured. |
| 5.0 | Wooded utility poles snapped. |
| 5.0 - 7.0 | Nearly complete destruction of houses. |
| 7.0 | Loaded train wagons overturned. |
| 7.0 - 8.0 | 8-12 in. thick non-reinforced brick fail by shearing of flexure. |
| 9.0 | Loaded train box cars demolished. |
| 10.0 | Probable total building destruction. |
| 15.5 - 29.0 | Range for 1-99% fatalities among exposed populations due to direct blast effects. |

* These are the peak pressures formed in excess of normal atmospheric pressure by blast and shock waves.

Source: Lees, F.P, Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 1, Butterworths, London and Boston, 1980.

| Equipment | Overpressure PSI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|--|
| | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 5.5 | 6.0 | 6.5 | 7.0 | 7.5 | 8.0 | 8.5 | 9.0 | 9.5 | 10.0 | 12.0 | 14.0 | 16.0 | 18.0 | 20.0 | |
| Control house steel roof | A | C | D | | | | N | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Control house concrete roof | A | B | P | D | | | N | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cooling tower | B | | | P | | | O | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tank: cone roof | | D | | | | | K | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Instrument cubicle | | | A | | | | LM | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fire heater | | | | G | I | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Reactor: chemical | | | | A | | | | I | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Filter | | | | H | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Regenerator | | | | | | | I | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tank: floating roof | | | | | | | K | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Reactor: cracking | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pine supports | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Utilities: gas meter | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Utilities: electric transformer | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Electric motor | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Blower | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fractionation column | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pressure vessel horizontal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Utilities: gas regulator | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Extraction column | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Steam turbine | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Heat exchanger | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tank sphere | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pressure vessel: vertical | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pump | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

- A. Windows and quages break
- B. Louvers fall at 0.3 - 0.5 psi
- C. Switchgear is damaged from roof collapse
- D. Roof collapses
- E. Instruments are damaged
- F. Inner parts are damaged
- G. Brick cracks

- H. Debris-missile damage occurs
- I. Unit moves and pipes break
- J. Bracing fails
- K. Unit uplifts (half-filled)
- L. Power lines are severed
- M. Controls are damaged
- N. Block walls fail

- O. Frame collapses
- P. Frame deforms
- Q. Case is damaged
- R. Frame cracks
- S. Piping breaks
- T. Unit overturns or is destroyed
- U. Unit uplifts (0.9 filled)
- V. Unit moves on foundations

Source: Stephens, M. M., Minimizing Damage to Refineries, U.S. Dept. of the Interior, Office of Oil & Gas, February 1970.

TABLE B.2
Explosion Overpressure Damage Estimates

The most serious limitation of the TNT-equivalent model for use in evaluating this type of scenario is that it may overestimate overpressures in the near field. TNT detonates and produces extremely high pressure shock waves at short distances with complete destruction of practically everything within the immediate area. Several actual unconfined vapor cloud incidents seem to indicate, however, that the overpressure within the near field is well below the level predicted by the TNT equivalent model. Based on these data, the Health and Safety Executive in England (HSE second report [26]), suggests that the maximum overpressure resulting from an unconfined vapor cloud explosion model be limited to 1 bar (15 psi) and this recommendation, with a minor exception, is incorporated into ARCHIE .

Of the total energy available for explosion, only a fraction (given by the yield factor) actually contributes to the explosive effect. The yield factor is probably the most important, yet least precisely known parameter in explosion hazard analysis. It generally ranges from 2 to 20 percent. For most aliphatic hydrocarbons, 3 percent is a commonly recommended value. For certain alkenes, approximately 6 percent has been observed. Those fuels that contain oxygen tend to have a higher explosive yields, of up to 16-18 percent. Table B.3 presents typical yield factor values for several chemicals.

TABLE B.3
Yield Factors for Explosive Vapors and Gases

| Substances With Yield Factors of Y = .03 | |
|--|----------------------|
| Acetaldehyde | 3-Methyl-Butene-1 |
| Acetone | Methyl-Butyl-Ketone |
| Acrylonitrile | Methyl Chloride |
| Amyl Alcohol | Methyl-Ethyl-Ketone |
| Benzene | Methyl Formate |
| 1,3-Butadiene | Methyl Mercaptan |
| Butene-1 | Methyl-Propyl-Ketone |
| Carbon Monoxide | Monochlorobenzene |
| Cyanogen | N-Amyl Acetate |
| 1,1-Dichloroethane | Naphthalene |
| 1,2-Dichloroethane | N-Butane |
| Di-Methyl Ether | N-Butyl Acetate |
| Dimethyl Sulphide | N-Decane |
| Ethane | N-Heptane |
| Ethanol | N-Hexane |
| Ethyl Acetate | N-Pentane |
| Ethylamine | N-Propanol |
| Ethyl Benzene | N-Propyl Acetate |
| Ethyl Chloride | O-Dichlorobenzene |
| Ethyl Cyclohexane | P-Cymene |
| Ethyl Formate | Petroleum Ether |
| Ethyl Propionate | Phthalic Anhydride |
| Furfural Alcohol | Propane |
| Hydrocyanic Acid | Propionaldehyde |
| Hydrogen | Propylene |
| Hydrogen Sulphide | Propylene Dichloride |
| Iso-Butyl Alcohol | P-Xylene |
| Isobutylene | Styrene |
| Iso-Octane | Tetrafluoroethylene |
| Iso-Propyl Alcohol | Toluene |
| Methalamine | Vinyl Acetate |
| Methane | Vinyl Chloride |
| Methanol | Vinyldene Chloride |
| Methyl Acetate | Water Gas |

| Substances With Yield Factors of Y = .06 | |
|--|--------------------|
| Acrolein | Ethylene |
| Carbon Disulphide | Ethyl Nitrite |
| Cyclohexane | Methyl-Vinyl-Ether |
| Di-Ethyl Ether | Phthalic Anhydride |
| Di-Vinyl Ether | Propylene Oxide |

| Substances With Yield Factors of Y = .19 | |
|--|-------------------|
| Acetylene | Isopropyl Nitrate |
| Ethylene Oxide | Methyl Acetylene |
| Ethyl Nitrate | Nitromethane |
| Hydrazine | Vinyl Acetylene |

Although overpressures in the near field may be significantly overestimated, estimates of overpressure experienced in the far field are believed to be more accurate and applicable. Note that the far field region is usually of greater interest because a relatively small pressure rise is sufficient to cause failures of buildings and structures.

It should be noted that the model in ARCHIE does not account for unignited cloud drift. For the total explosion hazard zone, a drift factor, calculated using the vapor cloud fire model, must be added to the radial overpressure distance. This explains the note to users in Chapter 12 that the center of the equation can be anywhere within the hazard zone computed by the vapor cloud fire model for the LFL boundary.

Note that the model gives the user a choice of computing radial hazard zone distances for a free spherical air explosion (above ground) or groundlevel explosion (hemi-spherical). The distances calculated by ARCHIE for free air events are lesser by a factor of 1.260 than groundlevel hazard zone distances.

Selected simplifying assumptions made in the calculation procedure are:

- Ambient temperature is 20 degrees C. (68 degrees Fahrenheit)
- The mass of explosive is compared against an equivalent charge of TNT
- The effects of terrain, buildings, obstacles have not been considered.

The calculational procedure itself begins by computing the adjusted equivalent mass of TNT using the following equation:

$$m_{TNT} = \left[m_{cloud} \times \frac{\Delta H_c}{1155} \times Y_f \right] \quad (B.55)$$

where:

m_{TNT} = TNT equivalent mass, *lbs*

ΔH_c = Lower heat of combustion, *kcal/kg*

m_{cloud} = Mass in cloud, *lbs*

Y_f = Yield factor

The distance to a given overpressure is then calculated from the equation:

$$X = m_{TNT}^{1/3} \exp(3.5031 - 0.7241 \ln(O_p) + 0.0398(\ln O_p)^2) \quad (B.56)$$

where:

X = Distance to given overpressure, *ft*

O_p = Peak overpressure, *psi*

Data in Lee's [36] which provide the curve of overpressure versus scaled distance were utilized to obtain these working equations using regression analysis.

B.15 Tank Overpressurization Explosion Model

As discussed in Chapter 5, explosion hazard zones can also result from the violent rupture of an overpressurized container without combustion taking place. The energy that produces the overpressure field comes from the volume and internal pressure of the vapor space in the container. Thus, a nearly empty pressurized container of gas can be a more severe explosion hazard than a container nearly full of liquid that ruptures at the same pressure.

ARCHIE utilizes a model that assumes that the tank ruptures in manner in which the blast wave propagates omni-directionally (See Baker [3]). It assumes a ground level, hemi-spherical field and yields ground level hazard zones. If the ruptured container is elevated, calculated hazard zone distances

Biol. Gabriela Cedillo Fcncc

should be reduced by a factor of 1.26 to yield the radial hazard zone from the center of the explosion.

The computational algorithm proceeds as follows:

1. Calculate the ratio P_i/P_a where P_a is the absolute ambient pressure and P_i is the absolute internal gas pressure at which the tank is expected to rupture.
2. Compute the ratio T_i/T_a where T_a is the absolute ambient air temperature and T_i is the absolute temperature of the gas in the tank.
3. Determine the initial overpressure ratio, P_{so} , by solving the following equation by trial and error:

$$\begin{aligned}
 f &= 0 \\
 &= \ln(P_i/P_a) - \ln(1 + P_{so}) \\
 &\quad - \frac{2\gamma_i}{1 - \gamma_i} \ln \left[1 - \frac{(\gamma_i - 1)P_{so}}{2\sqrt{T_i/T_a}\sqrt{\gamma_a^2 + 0.5\gamma_a(\gamma_a + 1)P_{so}}} \right]
 \end{aligned}$$

where, γ is the ratio of specific heat at constant pressure to that at constant volume.

4. Compute the nondimensional starting distance R_o from:

$$R_o = \frac{1}{\left[\frac{\frac{4\pi}{3} \left(\frac{P_i}{P_a} - 1 \right)}{\gamma_i - 1} \right]^{1/3}} \quad (\text{B.57})$$

5. compute the value of R from:

$$R = \frac{r}{\left[V \left(\frac{P_i}{P_a} - 1 \right) \right]^{1/3}} \quad (\text{B.58})$$

where,

V = Volume of the gas in the tank

r = Distance from the center of the tank at which the side-on overpressure is desired ⁴.

6. Locate the point associated with P_{s0} and R_0 on Figure B.2. This is the starting point ⁵.
7. Follow the nearest curve for P_s vs. R to the R value computed in step 5. Read the P_s value associated with this R value. If the gas vessel is on the ground and/or close to a reflecting surface, increase P_s by 100 % for R less than 1 and by 10 % for R greater than 1.
8. The side-on overpressure is determined by multiplying the above resultant value of P_s by the absolute value ambient atmospheric pressure P_a .

If the volume of the gas in the bursting tank is better represented by a cylinder ⁶ than a sphere, adjust the above result for side-on overpressure as follows:

- For R less than 0.3, the calculated overpressure should be multiplied by a factor of 4 or 5.
- For R near 1.0, multiply the answer by a factor of 1.6.
- for R greater than about 3.5, multiply the answer by a factor of 1.4.

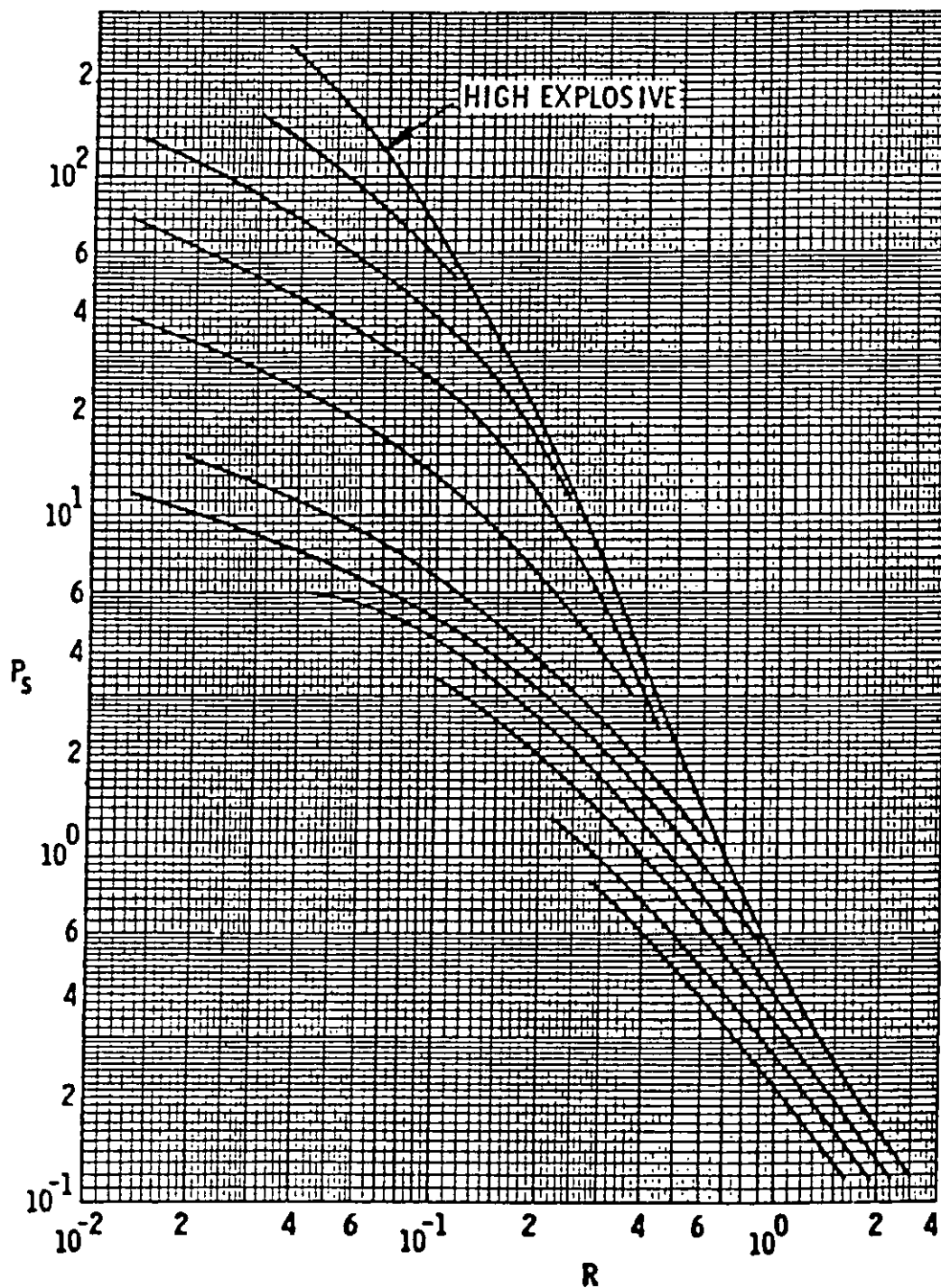
Note that the difference between spherical and cylindrical vessel bursts is only known qualitatively. Therefore, the corrections are very crude.

⁴The above equation is for gas vessel bursts far from reflecting surfaces. If the gas vessel is on ground, multiply V above by a factor of 2, as is done in ARCHIE

⁵ARCHIE uses a curve fit of this graph.

⁶Although not discussed with respect to this estimation procedure, NASA workbooks typically assume cylinders have a length to diameter ratio of 10 while spheres have a ratio of one.

Figure B.2: P_s vs. R for Overpressure Calculations. Taken from Baker



B.16 Condensed Phase Explosion Model

This model calculates the explosion hazard zones resulting from the detonation of solid or liquid explosives. This method is essentially the same as the TNT model upon which the previously described UVCE model is based. This model takes into account the difference in available combustion energy between the material of concern and TNT. Since the explosive material will also detonate, the yield factor is unity and no limit is placed on the near field overpressures.

APPENDIX C

OVERVIEW OF "SHELTER-IN-PLACE" CONCEPTS

Introduction

There are essentially two ways to protect the public from the effects of toxic gas or vapor discharges into the atmosphere. One of these methods is evacuation and involves relocation of threatened populations to shelters in safer areas. The other involves giving instructions to people to remain inside their homes or places of business until the danger passes. In other words, it involves telling people to "shelter-in-place."

Evacuation is clearly safer with respect to the specific hazards posed by a toxic gas or vapor release but has certain limitations and may pose new problems. For example, it is fairly well appreciated that a major evacuation takes time and may not be feasible once large amounts of toxic gases or vapors have actually entered the atmosphere. Indeed, asking people in the path of a toxic cloud or plume to leave their homes may actually cause greater harm than good in some cases. Thus, large-scale evacuations in response to toxic gas or vapor hazards are best considered when:

- There is a strong potential for a toxic discharge, the discharge has not yet taken place, and there appears to be time available to relocate people.
- The discharge has taken place but people are sufficiently far downwind to permit time for evacuation.
- People not yet in the direct path of a cloud or plume are threatened by a future shift in the wind direction.
- The safety hazards of evacuation are outweighed by benefits of the action, and/or
- Telling people to shelter-in-place might not fully protect them from serious consequences.

Much has been written and said over the years pertaining to the merits and disadvantages of evacuation, but little information has been made available on sheltering-in-place, and indeed, far too many people and organizations have come to believe that sheltering-in-place will provide adequate protection to the public under a wide variety of circumstances without actually studying the issues involved. It is therefore the purpose of

this appendix to explain why staying indoors provides some degree of protection, to discuss the degree of protection that might be expected, and to discuss how best to instruct the public to shelter-in-place.

Outside Air Entry Into Buildings

If a building or other structure is airtight, i.e., like a sealed box, people inside will be completely immune from exposure to any toxic gases or vapors outside its walls. On the other hand, if walls on the upwind and downwind sides of the building are missing, these people will be exposed to the same level of contamination "indoors" as they would be if they were in the open. It is easy to understand, therefore, that the exposure of people inside a structure to toxic gases or vapors in the external environment is a function of the "airtightness" of the building and the rate at which outdoor air passes in and out.

There are essentially three main ways in which air can enter (and exit) a structure, these being:

- Natural ventilation
- Mechanical ventilation, and
- Infiltration

Natural ventilation refers to entry of outdoor air into a building through open windows or doors without assistance from fans. Obviously, the more openings in a building, the greater the rate at which outdoor air can pass through. Occupants can generally control this rate by opening and closing various windows and doors.

Mechanical ventilation refers to the use of fans and other equipment to bring air into a building, possibly heat, cool, filter, and/or recirculate it several times, and then exhaust it from the structure. This type of system is most often seen in office buildings, other commercial establishments, and factories. As above, occupants usually have considerable control over the rate of ventilation.

Infiltration is air leakage into a building through cracks and small openings around windows and doors and through floors and walls. The rate at which air enters a building by this mechanism depends on the type of building, workmanship and materials applied during construction, and the condition of the building. Infiltration differs from natural and mechanical ventilation in the sense that occupants are *generally* considered to have little effective control over its rate. The total rate at which outdoor air enters a building, for the purposes of this discussion, can be considered as being the sum of the three types of ventilation described above.

Rates of outdoor air ventilation are typically expressed in units of air changes per hour (acph), this being the number of building *volumes* of outdoor air that enter the building or other structure in the course of an hour. For example, if a building has an internal volume of 10,000 cubic feet, and 20,000 cubic feet of outdoor air enters the building each hour, its total "fresh air" ventilation rate is said to be 2.0 acph. If only 5,000 cubic feet of air enter the building in the same span of time, the rate becomes 0.5 acph.

The natural ventilation rate in structures with open windows and doors can vary widely and depends on the area of openings, the wind speed, the orientation of openings with respect to the wind direction, and the building volume. It could be as little as a fraction of 1.0 acph or as high as 80-90 acph, and possibly even more if residents do not mind a strong breeze blowing through the structure on a windy day.

Mechanical ventilation rates in office buildings and the like typically range from 4 to 12 acph with certain exceptions. During pleasant weather, 90 to 100 percent of this air might be from the outdoors. In very cold or very hot weather, building operators often have the option to reduce heating or cooling costs by lowering the fresh air entry rate to 5 to 35 percent of the mechanical ventilation rate by recirculating (reusing) large volumes of air.

There are a great many factors that influence infiltration rates in homes and other buildings. When outdoor wind velocities are very low and indoor-outdoor temperature differences are minimal, infiltration rates may be as low as 0.1 acph. The average rate in American homes, however, is on the order of 0.8-0.9 acph, and "leaky" homes may experience 2.5 acph or so, especially under poor weather conditions with high winds and low temperatures. Available data on other types of building construction are limited but suggest an average infiltration rate of about 1.0 acph for office-type buildings.

Effect of Total Outdoor Air Ventilation Rates on Indoor Exposures

The overall subject of how outdoor air pollutants can affect exposures indoors is rather complex and is best discussed using two examples; one for the case when a distinct cloud of airborne contaminants passes a building, and another for the case when the building is engulfed by a plume of vapor or gas for a prolonged period of time. The cloud is assumed to pass in a total time period of 30 minutes, while the plume is assumed to last 10 hours. Both the cloud and plume are assumed to have an average contaminant concentration of 100 ppm for the duration of their existence at any outdoor location.

Table C.1, developed from a mass balance model of indoor-outdoor pollutant relationships, presents average indoor contaminant concentrations expected for the *cloud* scenario when outdoor air ventilation rates range from 0.1 to 50 acph. Important observations are that:

Biol. Gabriela Cedillo Flores

**TABLE C.1
INDOOR CONCENTRATIONS FOR HYPOTHETICAL CLOUD PASSAGE**

| Time (minutes) | Internal Concentrations (ppm) at Various Air Change Rates (acph) | | | | | | | | |
|----------------|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| | 0.1 acph | 0.5 acph | 1.0 acph | 1.5 acph | 2.0 acph | 2.5 acph | 5.0 acph | 10.0 acph | 50.0 acph |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0.8 | 4.1 | 8.0 | 11.8 | 15.4 | 18.8 | 34.1 | 56.5 | 98.4 |
| 10 | 1.7 | 8.0 | 15.4 | 22.2 | 28.3 | 34.1 | 56.5 | 81.1 | 100 |
| 15 | 2.5 | 11.8 | 22.1 | 31.3 | 39.3 | 46.5 | 71.3 | 91.8 | 100 |
| 20 | 3.3 | 15.4 | 28.3 | 39.3 | 48.7 | 56.5 | 81.1 | 96.4 | 100 |
| 25 | 4.1 | 18.8 | 34.1 | 46.5 | 56.5 | 64.7 | 87.5 | 98.4 | 100 |
| 30 | 4.9 | 22.1 | 39.3 | 52.8 | 63.2 | 71.3 | 91.8 | 99.3 | 100 |
| 40 | 4.8 | 20.3 | 33.3 | 41.1 | 45.3 | 47.0 | 39.9 | 18.8 | 0 |
| 50 | 4.7 | 18.7 | 28.2 | 32.0 | 32.4 | 31.0 | 17.3 | 3.5 | 0 |
| 60 | 4.6 | 17.2 | 23.8 | 24.9 | 23.3 | 20.4 | 7.5 | 0.7 | 0 |
| 90 | 4.4 | 13.4 | 14.5 | 11.8 | 8.6 | 5.9 | 0.6 | 0 | 0 |

Note: The cloud is assumed to have an average concentration of 100 ppm outdoors. Its leading edge reaches the building at time equals zero. Its trailing edge passes the building at time equals 30 minutes, at which point internal contaminant concentrations begin to drop.

- Indoor concentrations increase steadily until the point in time that the discharge ceases and the last of the airborne contamination passes a building.
- Tight buildings or average buildings in highly favorable weather, with air change rates of 0.1 acph, are expected to experience a peak indoor contaminant concentration only 5 percent of the outdoor average after 30 minutes. Due to the lack of ventilation, however, indoor levels will drop slowly after the cloud has passed.
- "Average" homes and buildings under average conditions, with air change rates of 0.5 to 1.0 acph, may experience indoor concentrations on the order of 20-40 percent of outdoor levels after 30 minutes.
- "Leaky" buildings or average buildings exposed to severe weather conditions, with air change rates of 1.5 to 2.5 acph, may experience 45 to 65 percent of outdoor concentrations in 30 minutes.
- Buildings that have open windows or doors or mechanical ventilation systems bringing in outdoor air at high rates will experience contaminant concentrations close to those experienced outdoors.
- Peak indoor levels will be lower if the cloud passes in less than 30 minutes and higher if the cloud requires more than 30 minutes to pass.
- There are benefits to be realized by telling people to open their windows and turn on ventilation systems as soon as possible after the danger has passed. This will help "flush out" any contaminants trapped in buildings.

Table C.2 demonstrates average indoor contaminant concentrations expected while a building is exposed to a plume of vapor or gas for 10 hours. Outdoor air ventilation rates on the table again range from 0.1 to 50 acph. Important observations are that:

- Indoor concentrations increase steadily until the point in time that the discharge ceases and the last of the airborne contamination passes a building.
- Average buildings under average weather conditions, with outdoor air ventilation rates of 0.5 to 1.0 acph, will have indoor contaminant concentrations of 40 to 65 percent of those outdoors in an hour, 60 to 85 percent or so in two hours, and 75 to 95 percent in three hours. Buildings with higher rates of outdoor air entry will require less time to reach these levels.

TABLE C.2
INDOOR CONCENTRATIONS FOR HYPOTHETICAL PLUME EXPOSURE

| Time (hours) | Internal Concentrations (ppm) at Various Air Change Rates (acph) | | | | | | | | |
|--------------|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| | 0.1 acph | 0.5 acph | 1.0 acph | 1.5 acph | 2.0 acph | 2.5 acph | 5.0 acph | 10.0 acph | 50.0 acph |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 9.5 | 39.3 | 63.2 | 77.7 | 86.5 | 91.8 | 99.3 | 100 | 100 |
| 2 | 18.1 | 63.2 | 86.4 | 97.0 | 98.2 | 99.3 | 100 | 100 | 100 |
| 3 | 25.9 | 77.7 | 95.0 | 98.9 | 99.8 | 99.9 | 100 | 100 | 100 |
| 4 | 33.0 | 86.4 | 98.2 | 99.8 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 5 | 39.3 | 91.8 | 99.3 | 99.9 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 6 | 45.1 | 95.0 | 99.8 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 7 | 50.3 | 97.0 | 99.9 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 8 | 55.1 | 98.2 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 9 | 59.3 | 98.9 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 10 | 63.2 | 99.3 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 11 | 57.2 | 60.2 | 36.8 | 22.3 | 13.5 | 8.2 | 0.7 | 0 | 0 |
| 12 | 51.7 | 36.5 | 13.5 | 5.0 | 1.8 | 0.7 | 0 | 0 | 0 |

Note: The plume is assumed to have an average concentration of 100 ppm outdoors. Its leading edge reaches the building at time equals zero. Its trailing edge passes the building at time equals 10 hours, at which time internal contaminant concentrations begin to drop.

- Sheltering-in-place may not make sense when discharges are expected to be prolonged and outdoor concentrations are expected to be harmful.

Recommended Shelter-In-Place Instructions

The previous sections have demonstrated the circumstances under which sheltering-in-place can provide some degree of protection from toxic gases and vapors in the atmosphere and those circumstances under which the practice may not be effective. They have also demonstrated limitations of the practice and shown how minimization of outdoor air infiltration and/or ventilation rates into buildings is critical. This section draws upon the information presented above and substantial other data to present a list of suggested instructions to be given populations asked to shelter-in-place, these being:

1. Close all doors to the outside and close and lock all windows (windows sometimes seal better when locked).
2. Building superintendents should set all ventilation systems to 100 percent recirculation so that no outside air is drawn into the structure. Where this is not possible, ventilation systems should be turned off.
3. Turn off all heating systems.
4. Turn off all air-conditioners and switch inlets to the "closed" position. Seal any gaps around window type air-conditioners with tape and plastic sheeting, wax paper, or aluminum wrap.
5. Turn off all exhaust fans in kitchens, bathrooms, and other spaces.
6. Close all fireplace dampers.
7. Close as many internal doors as possible in your home or other building.
8. Use tape and plastic food wrapping, wax paper, or aluminum wrap to cover and seal bathroom exhaust fan grilles, range vents, dryer vents, and other openings to the outside to the extent possible (including any obvious gaps around external windows and doors).
9. If the gas or vapor is soluble or even partially soluble in water -- hold a wet cloth or handkerchief over your nose and mouth if the gases start to bother you. For a higher degree of protection, go into the bathroom, close the door, and turn on the shower in a strong spray to "wash" the air. Seal any

Biol. Gabriela Cedillo Ponce

openings to the outside of the bathroom as best as you can. Don't worry about running out of air to breathe. That is highly unlikely in normal homes and buildings.

10. If an explosion is possible outdoors -- close drapes, curtains, and shades over windows. Stay away from external windows to prevent potential injury from flying glass.
11. Minimize the use of elevators in buildings. These tend to "pump" outdoor air in and out of a building as they travel up and down.
12. Tune into the Emergency Broadcast System on your radio or television for further information and guidance.

As a final note, be advised that this appendix mostly deals with the problem of toxic gases and vapors in the atmosphere. Since these substances can pass through tiny spaces where dusts and other aerosols in air may not, sheltering-in-place may provide a much greater degree of protection when airborne contaminants are in the form of liquid or solid particles.

Technical Basis for Internal Concentration Estimates

Given the potential importance of this topic and the possible desire of emergency planning personnel and others to undertake more formal analyses of indoor/outdoor pollutant relationships in occupied structures, this subsection of the appendix presents the technical basis for the estimates shown in Tables C.1 and C.2.

Figure C.1 illustrates a structure with a forced air ventilation system. With an initial assumption that all external windows and doors to the structure have been closed, outdoor air with a contaminant concentration of C_{∞} enters the internal space via infiltration and a mechanical make-up air system (i.e., a system using one or more fans to force air into the structure to replace air supplies being exhausted to the outdoors via exhaust fans). Besides being mechanically forced out, air also exits the structure via exfiltration in a process similar but opposite to infiltration.

As is the case in most structures with forced air systems, heating and/or cooling costs are minimized by recirculating some fraction of the total internal ventilation rate through an air filter of some type before reintroduction to occupied spaces. For completeness, the illustration also shows a source of airborne contaminants within the structure itself, though the actual presence of such a source is unlikely in the case of the vast majority of hazardous materials that may be released to the external environment.

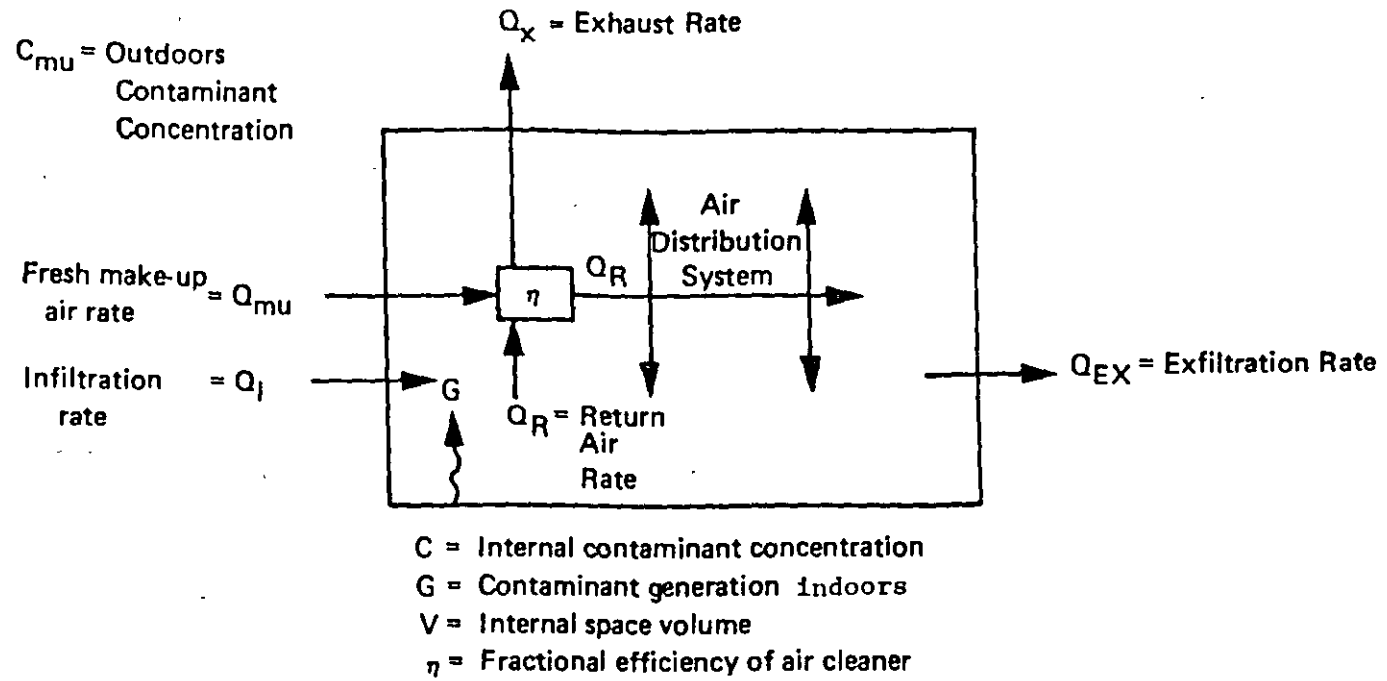


FIGURE C.1
ILLUSTRATION OF VENTILATED STRUCTURE

Table C.3 presents a formal derivation of the equation necessary to evaluate the buildup of internal contaminant concentration (C) in the structure as a function of elapsed time (t) when the structure is first exposed to contamination at time "t₀". The resulting equation is then simplified for use with structures in which forced-air ventilation systems are turned off (or never existed in the first place) in response to emergency shelter-in-place instructions from public authorities. This equation is only valid up to the instant in time that the trailing edge of the external contaminant cloud or plume passes the structure and therefore only applies while contaminant concentrations are increasing indoors. If it is desired to express the natural air infiltration rate in units of air changes per hour (acph), and this rate is simply shown as Q, the buildup phase equation becomes:

$$C = C_{\infty} [1 - \exp(-Qt)]$$

Thus, if external concentration C_∞ equals 100 ppm, the total ventilation rate is one air change per hour, and the structure has been engulfed in a plume for one-half hour, the internal contaminant concentration can be estimated as being 39.3 ppm.

Once the trailing edge of a cloud or plume passes a structure, the external environment will be generally free of contamination, but it will take additional time for contaminants to be purged from the structure if new sources of fresh air are not introduced. Derivation of the equation for the purging phase of contamination is similar to that shown in Table C.3 until the final steps. Instead of being equated to zero, the parameter C₀ is used to represent the concentration in the structure at the instant the trailing edge of the cloud or plume passes. Similarly, parameter t₀ is equated to the elapsed time of this occurrence, and finally C_∞ is set to zero. The resulting equation for the purging phase becomes:

$$C = C_0 \exp[-Q(t-t_0)]$$

Thus, if the trailing edge of a plume passes a structure in an elapsed time (t₀) of one-half hour, the internal contaminant concentration (C₀) is 39.3 ppm at this time, the total ventilation rate is one air change per hour, and it desired to determine the internal concentration (C) at a total elapsed time of one hour from initial exposure of the structure, the above equation can be used to predict a concentration of 23.8 ppm.

The model is based upon several assumptions requiring explanation. These involve:

- Perfect mixing
- Use of a single compartment
- Negligible deposition or decay of contaminant
- Perfect air balance
- Constant external contaminant concentration

TABLE C.3
DERIVATION OF MODEL FOR CONTAMINANT
BUILDUP PHASE IN STRUCTURES

Rate of Accumulation = Rate of Generation - Rate of Removal

$$VdC = Gdt + C_{MU}Q_I dt + C_{MU}Q_{MU}dt + (1 - \eta)CQ_R dt - CQ_X dt - CQ_{EX}dt - CQ_R dt$$

$$\frac{1}{V} \int_{t_0}^t dt = \int_{C_0}^C \frac{dC}{G + C_{MU}Q_I + C_{MU}Q_{MU} + (1 - \eta)CQ_R - CQ_X - CQ_{EX} - CQ_R}$$

$$\ln \left[\frac{G + C_{MU}(Q_I + Q_{MU}) + C_2(\eta Q_R + Q_X + Q_{EX})}{G + C_{MU}(Q_I + Q_{MU}) - C_0(\eta Q_R + Q_X + Q_{EX})} \right] = -\frac{\eta Q_R + Q_X + Q_{EX}}{V} (t - t_0)$$

$$\text{Let } A = G + C_{MU}(Q_I + Q_{MU})$$

$$B = \eta Q_R + Q_X + Q_{EX}$$

$$\ln \left[\frac{A - BC}{A - BC_0} \right] = -\frac{B}{V} (t - t_0)$$

$$C = \frac{A}{B} \left[1 - e^{-\frac{B}{V}(t-t_0)} \right] + C_0 e^{-\frac{B}{V}(t-t_0)}$$

$$C = \frac{G + C_{MU}(Q_I + Q_{MU})}{\eta Q_R + Q_X + Q_{EX}} \left[1 - e^{-\frac{B}{V}(t-t_0)} \right] \text{ when } C_0 = 0$$

Note:

1. $Q_x + Q_{ex} = Q_{mu} + Q_i$ in all cases.
2. $Q_{ex} = Q_i$ when fans are turned off or are not present.
3. $G = 0$ where there are no internal contaminant sources.
4. $Q_{mu} = 0$ and $Q_r = 0$ when fans are turned off or are not present.
5. $t_0 = 0$ when time (t) is measured from the instant a cloud or plume reaches the structure.
6. C_0 , the internal contaminant concentration at time = 0, can be assumed to be zero when there are no internal contaminant sources. With these simplifications:

$$C = C_{MU} \left[1 - e^{-\frac{Q_I t}{V}} \right]$$

The first assumption involves the contention that all air volumes entering a specific internal area of a structure will instantly and perfectly mix with all other air volumes that occupy that area. Its use permits one to ignore details of complex interactions between air streams of differing flowrate and orientation, and force attention upon the overall average contamination level expected.

Earlier literature dealing with the dilution of airborne contaminants within an industrial setting typically suggested that actual contaminant levels at specific sites may be greater than the overall average by a factor in the range of 3 to 10. More recent work, however, has shown that the "mixing factor" is more often on the order of 2, and sometimes considerably less than 1 in typical rooms. This latter finding is completely logical and recognizes the law of mass conservation and its application to the scenarios of interest. In consequence, the assumption of perfect mixing has the following ramifications:

- It ignores the potential adverse effects of "hotspots" within a given space; and
- It ignores the potential benefits to the analysis of locations that are less contaminated than average conditions.

The assumption that the entire internal volume of a structure can be treated as a single compartment is essentially an extrapolation of the perfect mixing assumption from the boundaries of any specific room to the outer boundary of all building areas served by the same ventilation system. The advantages and disadvantages of this action are analogous to those itemized for perfect mixing.

As formulated, the model does not address the possibility that the contaminant may become deposited on exposed surface areas or somehow decay. In this respect, it may provide conservative results for reactive or particulate contaminants but underestimate exposures resulting from radioactive particles that have settled on internal surfaces (and which may pose threats unrelated only to inhalation of toxic substances). The assumption of a perfect air balance simply contends that the total volumetric rate of air entering the structure of interest is exactly equal to the rate of air leaving.

The assumption that the external contaminant concentration is a constant is most significant for short duration cloud passage, but can be mitigated by use of an average rather than peak value for C_{∞} . The assumption has little impact in the case of relatively long duration plumes of contaminants evolved at a fairly constant emission rate. Consideration of time dependent source terms and resulting transient contamination levels within a structure requires a substantially more sophisticated computational procedure, albeit one that would be based on the same fundamental principles of the model presented herein.

APPENDIX D

CHEMICAL COMPATIBILITY CHART

Introduction

Most information sources on the reactivity hazards of hazardous materials list and describe the specific consequences of combining specific chemicals. The best and most complete of these are cross-referenced compilations of reports of past mishaps which occurred during experimentation or use of specific chemicals or substances, *as reported in the general literature*. Two particularly well researched and readily available compilations were referenced in Chapter 7.

Since there are literally tens of thousands of known chemicals in commerce, and since the consequences of only a small fraction of the possible combinations of these materials have been reported upon in the general literature, none of these information sources can claim (and none do) that combinations of unlisted materials will not produce a hazardous reaction. Thus, although these information sources provide valuable guideposts for evaluating potential chemical compatibility hazards, they are inherently limited in scope, and cannot always be relied upon to provide the user with desired and/or necessary information.

To help fill gaps in available information and data with a reasonable amount of effort, a relatively little known project was undertaken by the California Department of Health Services some years ago to develop a single chemical compatibility chart which would provide its user with a *general* indication of the *typical* effects of mixing a substance from one chemical *family* with a substance from another *family*. By concentrating on the most common families of chemicals (i.e., substances with generally similar molecular structure), and by studying the effects of combining the most reactive chemicals in each family, researchers were able to produce a chart that provides an excellent tool to screen lists of chemicals (as might be found at a facility or in a transportation vehicle) for those which may pose an unusual and/or dangerous threat when inadvertently combined (as might occur during some sort of process upset, transportation accident, or mismanaged material transfer operation). Although a later brief and apparently unpublished paper provides additional information, the primary reference for the work being cited is:

- Hatayama, H.K., Chen, J.J., de Vera, E.R., Stephens, R., and Storm, D.L., *A Method of Determining the Compatibility of Hazardous Wastes*, EPA Report No. EPA-600/2-80-076, Municipal Environmental Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, April 1980. Available as publication PB80-221005 from the National Technical Information Service, Springfield, Virginia 22161.

This appendix describes and presents the chart discussed above for use by emergency planning personnel in screening chemical substances in close proximity for potential incompatibilities. Note that the chart was developed by investigation of reactions between relatively pure chemical substances and therefore is *not* at all restricted to use for substances only considered to be hazardous wastes. Indeed, the chart is likely to be more reliable for combinations of relatively pure chemicals than for multicomponent waste streams.

A Word of Caution

Before introducing the chart and describing how it is used, it is well to first present somewhat modified and expanded versions of the warnings that its authors wished to provide all potential users, these being:

The chart is intended to provide an indication of some of the hazards that can be expected upon mixing of chemical substances. Because of the differing activities of the thousands of compounds that may be encountered, it is not possible to make any chart definitive and all inclusive. It cannot be assumed that members of chemical families not listed on the chart will be compatible with each other or with listed families. Although blanks on the chart generally indicate that there is no hazardous incompatibility expected between the families being considered, it cannot be guaranteed that this will always be the case. Detailed instructions as to the hazards involved in handling and/or disposing of any given substance should be obtained from the originator of the material or other expert source of information.

The potential reaction consequences predicted by the chart are based on pure chemical reactions only at ambient temperature and pressure. Concentration, synergistic, and antagonistic effects have been assumed not to influence the reactions. The reactions have not yet been validated on actual waste materials containing individual chemicals.

To the above caution must be added the observation that the chart is *solely* applicable to the combination of *two* materials from different families. The addition of one or more other materials to a mixture may (or may not) produce substantially different hazards. The chart should not be used in any attempt to identify materials that may be self-reactive (i.e., capable of runaway exothermic polymerization, runaway exothermic decomposition, explosion, or other hazardous activity upon simple heating or exposure to air).

Biol. Gabriela Cedillo Ponca

Introduction to Table D.1

Although the chemical compatibility chart is presented as Figure D.1 and directly follows this introductory text for convenience in future use, it is first necessary to discuss the concept of *Reactivity Group Numbers* (RGNs) and to introduce Table D.1.

The compatibility chart addresses 41 classes or families of chemical substances, each of which has been assigned a specific Reactivity Group Number that appears on the left and bottom margins of the chart. Each of the first 34 classes or families are listed alphabetically and are consecutively numbered one through 34. Members of each of these classes or families generally share structural similarities with other members of their class or family at the molecular level. The last seven reactivity groups are numbered 101 to 107 and are generic classes based on similarities in general behavior vis-a-vis chemical reactivity rather than similarities in chemical structure or properties.

Since the first 34 classes or families are differentiated on the basis of the presence of a particular type of molecular subgroup within the overall chemical molecule, and since the other seven classes are relatively generic in nature, it is important to realize that any given specific chemical can belong to more than one class or family. Indeed, some specific materials may belong to several, exhibiting one or more of the reactive properties of each.

To assist readers in determining the appropriate Reactivity Group Numbers (RGNs) to be assigned to any given material, Table D.1 lists a large number of common chemical substances together with their respective RGNs. The list of chemicals (including tradename materials denoted with asterisks) in the table was compiled from several sources, with lists of Hazardous Wastes and Hazardous Materials, Extremely Hazardous Wastes, and Extremely Hazardous Materials denoted in California's Industrial Waste Law of 1972 (Ref. 44) serving as a starting point. Other sources of information used to compile the list included references 1, 7, 10, 12, 13, 14, 32, 52, and 77 cited at the end of this appendix. The remaining references were used to develop the chart and are presented as a resource for those who wish to further investigate the reactivity of various substances.

Introduction and Use of the Chemical Compatibility Chart

As noted above, the actual chemical compatibility chart is presented in Figure D.1 that directly follows this introductory text. The first column of the chart lists the RGNs and is followed by a second column providing the respective names of the reactivity groups (i.e., the various classes and families of chemical substances). The RGNs are repeated on both the top and bottom of each page of the chart (which could not be placed on one page while maintaining readability) to facilitate finding of the specific square containing either a blank or the *Reactivity Codes* (RCs) for specific combinations of classes or families.

Biol. Gabriela Cedillo Fonce

Reactivity Codes (RCs) are abbreviations for the various hazardous phenomena expected to occur when two materials are combined and are defined on the second page of the chart. They include letters or combinations of letters such as:

- H to indicate heat may be evolved.
- F to indicate potential for fire.
- E to indicate potential for an explosion.
- P to indicate potential for violent polymerization.
- GT to indicate potential evolution of toxic gases.
- GF to indicate potential evolution of flammable gases.
- G to indicate potential evolution of innocuous gases.
- S to indicate solubilization of toxic substances.
- U to indicate an unknown but potentially hazardous reaction.

Where more than one code appears in a square, the one on the left (and generally the highest) indicates the primary consequence of the combination, the next to the right indicates the potential secondary effect, and so forth. The appearance of both GT and GF do not necessarily mean that two different gases will evolve, since any of a number of gases may be *both* flammable and toxic. (Note: As a precaution, it is well to treat the presence of a G in a square with a grain of salt. Until the gas is identified, treat it at least as being toxic. The chart is good, but not necessarily perfect.)

Follow the instructions presented below to find the Reactivity Codes (RCs) for the desired combination of two chemicals. Assume for the moment that each chemical has only one RGN, but realize that the procedure may have to be repeated several times for substances with multiple RGNs, once for each valid combination of RGNs.

- Step 1: Using a knowledge of chemistry or the list of chemicals in Table D.1, determine the Reactivity Group Number (RGN) appropriate for each of the two chemical substances of concern. If a specific chemical is not found in the table, look for one with similar characteristics and molecular groups (usually indicated -- but not always -- by similar name fragments).
- Step 2: For the first chemical, find its RGN on the first column of the chart.
- Step 3: Find the RGN of the second chemical on the bottom row of the chart.
- Step 4: Find the intersecting square for the two RGNs. For example, the intersection of RGN 101 with RGN 2 has reaction codes of H plus F plus GT in the correct square. The intersection of RGN 21 and RGN 20 has reaction codes of GF and H in the correct square.

- Step 5:** Note the Reaction Codes (RCs) in the square and refer to the chart legend for their definition.
- Step 6:** If no RCs are in the square (i.e., the square is blank), the combination is generally considered to be safe, keeping in mind the cautions presented earlier.

FIGURE D.1
COMPATIBILITY CHART

| Reactivity Group No. | REACTIVITY GROUP NAME | | | | | | | | | | |
|----------------------|---|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 1 | Acids Mineral Non-oxidizing | 1 | | | | | | | | | |
| 2 | Acids Mineral Oxidizing | | 2 | | | | | | | | |
| 3 | Acids Organic | | O H | 3 | | | | | | | |
| 4 | Alcohols and Glycols | H | H P | H P | 4 | | | | | | |
| 5 | Aldehydes | H P | H P | H P | | 5 | | | | | |
| 6 | Amides | H | H OT | | | | 6 | | | | |
| 7 | Amines, Aliphatic and Aromatic | H | H OT | H | | H | | 7 | | | |
| 8 | Azo Compounds, Diazo Compounds, and Hydrazines | H O | H OT | H O | H O | H | | | 8 | | |
| 9 | Carbamates | H O | H OT | | | | | | O H | 9 | |
| 10 | Caustics | H | H | H | | H | | | | H O | 10 |
| 11 | Cyanides | OT OP | OT OP | OT OP | | | | | O | | |
| 12 | Dihaloacrylates | H OP P | H OH P | H OT | | OR OT | | U | H O | | |
| 13 | Esters | H | H P | | | | | | H O | | H |
| 14 | Ethers | H | H P | | | | | | | | |
| 15 | Fluorides, Inorganic | OT | OT | OT | | | | | | | |
| 16 | Hydrocarbons, Aromatic | | H P | | | | | | | | |
| 17 | Halogenated Organics | H OT | H R OT | | | | | H OT | H O | | H OP |
| 18 | Isocyanates | H O | H R OT | H O | H P | | | H P | H O | | H P O |
| 19 | Ketones | H | H P | | | | | | H O | | H |
| 20 | Mercaptans and Other Organic Sulfides | OT OP | H P OT | | | | | | H O | | |
| 21 | Metals, Alkali and Alkaline Earth, Elemental | OR H P | OR H P | OR H P | OR H P | OR H P | OR H | OR H | OR H | OR H | OR H |
| 22 | Metals, Other Elemental & Alloys as Powders, Vapors, or Sponges | OR H P | OR H P | OP | | | | | H R OT | U | OR H |
| 23 | Metals, Other Elemental & Alloys as Sheets, Rod, Drops, Moldings etc. | OR H P | OR H P | | | | | | H P O | | |
| 24 | Metals and Metal Compounds, Toxic | S | S | S | | | S | S | | | S |
| 25 | Nitrides | OR H P | H P P | H OP | OR H P | OR H P | | | U | H O | U |
| 26 | Nitriles | H OT OP | H R OP | H | | | | | | | U |
| 27 | Nitro Compounds, Organic | | H R OT | | | H | | | | | H B |
| 28 | Hydrocarbons, Aliphatic, Unsaturated | H | H P | | | H | | | | | |
| 29 | Hydrocarbons, Aliphatic, Saturated | | H P | | | | | | | | |
| 30 | Peroxides and Hydroperoxides, Organic | H O | H B | | H P | H O | | H OT | H P B | H R OT | |
| 31 | Phenols and Cresols | H | H P | | | | | | H O | | |
| 32 | Organophosphates, Phosphothioates, Phosphodithioates | H OT | H OT | | | | | | U | H B | |
| 33 | Sulfides, Inorganic | OT OP | H P OT | OT | | H | | | B | | |
| 34 | Epoxydes | H P | H P | H P | H P | U | | H P | H P | | H P |
| 101 | Combustible and Flammable Materials, Miscellaneous | H O | H R OT | | | | | | | | |
| 102 | Explosives | H B | H B | H B | | | | | H B | | H B |
| 103 | Polymerizable Compounds | P H | P H | P H | | | | | P H | | P H |
| 104 | Oxidizing Agents, Strong | H OT | | H OT | H P | H P | H R OT | H R OT | H B | H R OT | |
| 105 | Reducing Agents, Strong | H OP | H R OT | H OP | H OP P | H P | OR H | H OP | H O | | |
| 106 | Water and Mixtures Containing Water | H | H | | | | | | O | | |
| 107 | Water Reactive Substances | EXTREMELY REACTIVE | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

| Reactivity Group No. | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|--|------------------|-----------------|----------------|----|----------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|
| 11 | 11 | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | 12 | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | | 13 | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | 14 | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | 15 | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | 16 | | | | | | | | | |
| 17 | H | | | | | | 17 | | | | | | | | |
| 18 | H O | U | | | | | | 18 | | | | | | | |
| 19 | H | | | | | | | | 19 | | | | | | |
| 20 | | | | | | | H | H | H | 20 | | | | | |
| 21 | OR _H | OF _{OT} | OR _H | | | | H _B | OP _H | OP _H | OP _H | 21 | | | | |
| 22 | | | | | | | H _B | OP _H | | H _{OP} | | 22 | | | |
| 23 | | | | | | | H _P | | | | | | 23 | | |
| 24 | | | | | | | | | | | | | | 24 | |
| 25 | OR _H | OR _H | OR _H | | | | OR _H | U | OR _H | OR _H | B | | | | 25 |
| 26 | | | | | | | | | | | H _P | | | B | OR _H |
| 27 | | | | | | | | | | | H _{OP} | | | | H _{OP} |
| 28 | | | | | | | | | | | | H _B | | | |
| 29 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | H _{ROT} | H _{FOT} | | | | | H _B | H | B | H _{ROT} | H _B | H _H | | H _O | H _{OP} |
| 31 | | | | | | | | H _P | | | OP _H | | | | OP _H |
| 32 | | | | | | | | | | | H | | | | |
| 33 | | | | | | | | H | | | | | | | |
| 34 | H _P | U | | | | | | | | H _P | H _P | H _P | | H _P | H _P |
| 101 | | | | | | | | | | | H _{OP} | | | | H _{OP} |
| 102 | | | H _B | | | | | | | | H _B | H _B | H _B | B | B |
| 103 | P _H | U | | | | | | | | | P _H | P _H | P _H | P _H | P _H |
| 104 | H _{FOT} | H _{ROT} | H _P | H _P | | H _P | H _{OT} | H _{ROT} | H _P | H _{ROT} | H _P | H _P | H _P | H _P | H _P |
| 105 | | H _{OT} | H _P | | | | H _B | OP _H | OP _H | OP _H | | | | | |
| 106 | | | | | | | | H _O | | | OP _H | OP _H | | B | OP _H |
| 107 | DO NOT MIX WITH ANY CHEMICAL OR WASTE MATERIAL | | | | | | | | | | | | | | |
| | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |

Reactivity Code

Consequences

- H** Heat generation by chemical reaction
- F** Fire from extremely exothermic reaction, ignition of reaction products or mixtures
- G** Innocuous and non-flammable gas generation such as N₂, CO₂, etc. causes pressurization and rupture of closed containers
- GT** Toxic gas generation
- GF** Flammable gas generation
- E** Explosion due to extremely vigorous reaction or reactions produce enough heat to detonate unstable reactants or reactions products
- P** Violet polymerization with extreme heat and sometimes toxic and flammable gases
- S** Solubilization of toxic substances including metals
- U** May be hazardous but unknown

Example:

- H**
- F** Heat generation, fire, and toxic gas generation
- GT**

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|--------------------|-----|-----|-----|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|-----|-------------------|------------------|------------------|-----|-----|--|
| Reactivity Group No. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | 26 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 27 | | 27 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 28 | | | 28 | | | | | | | | | | | | | | |
| 29 | | | | 29 | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | H P _{GT} | | H P | | 30 | | | | | | | | | | | | |
| 31 | | | | | H | 31 | | | | | | | | | | | |
| 32 | | | | | U | | 32 | | | | | | | | | | |
| 33 | | | | | H _{GT} | | | 33 | | | | | | | | | |
| 34 | | | | | H P | H P | U | H P | 34 | | | | | | | | |
| 101 | | | | | H P _{GT} | | | | | 101 | | | | | | | |
| 102 | | | | | H B | H B | | H B | H B | H B | 102 | | | | | | |
| 103 | | | | | P H | P H | | P H | | | H B | 103 | | | | | |
| 104 | H P _{GT} | H B | H B | H B | H O | H B | H P _{GT} | H P _{GT} | H F _O | H F _O | H B | H P _{GT} | 104 | | | | |
| 105 | H _{OP} | H B | | | H B | OP _H | OT _{OP} | | H | OP _H | H B | H P _{OP} | H P _B | 105 | | | |
| 106 | | | | | | | | OT _{OP} | | | | | | OP _{GT} | 106 | | |
| 107 | EXTREMELY REACTIVE | | | | | | | | | | | | | | | 107 | |
| | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 101 | 102 | 103 | 104 | 105 | 106 | 107 | |

**FIGURE D.2
RGN'S FOR SELECTED MATERIALS**

| Names | RGN |
|---------------------------|----------|
| Abate* | 32 |
| Acenaphthene | 16 |
| Acetamide | 6 |
| Acetaldehyde | 5 |
| Acetic acid | 3 |
| Acetic anhydride | 107 |
| Acetone | 19 |
| Acetone cyanohydrin | 4, 26 |
| Acetonitrile | 26 |
| Acetophenone | 19 |
| Acetoxybutane | 13 |
| Acetoxypentane | 13 |
| Acetyl acetone | 19 |
| Acetyl azide | 102 |
| Acetyl benzoyl peroxide | 30 |
| Acetyl bromide | 17, 107 |
| Acetyl chloride | 17, 107 |
| Acetylene | 28 |
| Acetyl nitrate | 27, 102 |
| Acetyl peroxide | 30 |
| Acrolein | 5, 103 |
| Acrylic acid | 3, 103 |
| Acrylonitrile | 26, 103 |
| Adipic acid | 3 |
| Adiponitrile | 26 |
| Agallol | 24 |
| Agaloarctan | 24 |
| Aldicarb | 9, 20 |
| Aldrin | 17 |
| Alkyl aluminum chloride | 107 |
| Alkyl resins | 101 |
| Allene | 28 |
| Allyl alcohol | 4 |
| Allyl bromide | 17 |
| Allyl chloride | 17 |
| Allyl chlorocarbonate | 13, 17 |
| Allyl chloroformate | 13, 17 |
| Allyl trichlorosilane | 107 |
| Aluminum | 22, 23 |
| Aluminum aminoborohydride | 107 |
| Aluminum borohydride | 105, 107 |
| Aluminum bromide | 107 |
| Aluminum carbide | 105 |

| Names | RGN |
|-------------------------------|--------------|
| Aluminum chloride | 107 |
| Aluminum diethyl monochloride | 105, 107 |
| Aluminum fluoride | 15, 107 |
| Aluminum hydride | 105 |
| Aluminum hypophosphide | 107 |
| Aluminum phosphide | 107 |
| Aluminum tetraazidoborate | 8 |
| Aminobenzene | 7 |
| Aminobutane | 7 |
| Aminochlorotoluene | 7, 17 |
| Aminodiphenyl | 7 |
| Aminoethane | 7 |
| Aminoethanol | 4, 7 |
| Aminoethanolamine | 7 |
| Aminoethane | 7 |
| Aminomethane | 7 |
| Aminopentane | 7 |
| Aminophenol | 7, 31 |
| Aminopropane | 7 |
| Amino propionitrile | 7, 26 |
| Aminothiazole | 7, 8 |
| Aminotoluene | 7 |
| Ammonia | 10 |
| Ammonium arsenate | 24 |
| Ammonium azide | 102 |
| Ammonium bifluoride | 15 |
| Ammonium chlorate | 102, 104 |
| Ammonium dichromate | 24, 102 |
| Ammonium fluoride | 15 |
| Ammonium hexanitrocobaltate | 24, 102 |
| Ammonium hydroxide | 10 |
| Ammonium hypophosphide | 105 |
| Ammonium molybdate | 24 |
| Ammonium nitrate | 102 |
| Ammonium nitridoosmate | 24, 104 |
| Ammonium nitrite | 102 |
| Ammonium perchlorate | 104 |
| Ammonium periodate | 102, 104 |
| Ammonium permanganate | 24, 102, 104 |
| Ammonium persulfate | 104 |
| Ammonium picrate | 102 |
| Ammonium sulfide | 33, 105 |
| Ammonium tetrachromate | 24, 104 |

**FIGURE D.2 (Cont.)
RGN'S FOR SELECTED MATERIALS**

| Names | RGN |
|------------------------------|--------------|
| Ammonium tetraperoxychromate | 24, 102, 104 |
| Ammonium trichromate | 24, 104 |
| Amyl acetate | 13 |
| Amyl alcohol | 4 |
| Amyl chloride | 17 |
| Amyl cyanide | 26 |
| Amylamine | 7 |
| Amylene | 28 |
| Amyl mercaptan | 20 |
| Aniline | 7 |
| Animer* V-101 | 20 |
| Anisole | 14 |
| Anisole chloride | 107 |
| Anthracene | 16 |
| Antimony | 23, 24 |
| Antimony chloride | 24, 107 |
| Antimony fluoride | 24, 107 |
| Antimony nitride | 24, 25 |
| Antimony oxychloride | 24 |
| Antimony oxide | 24 |
| Antimony pentachloride | 24 |
| Antimony pentafluoride | 24 |
| Antimony pentasulfide | 24, 33, 105 |
| Antimony perchlorate | 24, 104 |
| Antimony potassium tetratate | 24 |
| Antimony sulfate | 24 |
| Antimony sulfide | 24, 33, 105 |
| Antimony tribromide | 24, 107 |
| Antimony trichloride | 24, 107 |
| Antimony trifluoride | 24, 107 |
| Antimony triiodide | 24, 107 |
| Antimony trioxide | 24 |
| Antimony trisulfate | 24 |
| Antimony trisulfide | 24, 33 |
| Antimony trivinyl | 24, 107 |
| Aqualin | 5, 103 |
| Aqueous solutions & mixtures | 106 |
| Aretan* | 24 |
| Aroclor* | 17 |
| Arsenic | 24 |
| Arsenic bromide | 24, 107 |
| Arsenic chloride | 24, 107 |
| Arsenic disulfide | 24, 33, 105 |

| Names | RGN |
|---------------------------------------|--------------|
| Arsenic iodide | 24, 107 |
| Arsenic oxide | 24 |
| Arsenic pentaselenide | 24 |
| Arsenic pentasulfide | 24, 33 |
| Arsenic pentoxide | 24 |
| Arsenic sulfide | 24, 33, 105 |
| Arsenic tribromide | 24, 107 |
| Arsenic trichloride | 24, 107 |
| Arsenic trifluoride | 24 |
| Arsenic triiodide | 24, 107 |
| Arsenic trisulfide | 24, 33, 105 |
| Arsine | 24, 105 |
| Askarel | 17 |
| Asphalt | 101 |
| Azidocarbonyl guanidine | 8, 102 |
| Azido-s-triazole | 8 |
| Azinphos ethyl | 32 |
| Aziridine | 7, 103 |
| α,α -Azodisobutyronitrile | 8, 26 |
| Azodrin* | 32 |
| Bakelite* | 101 |
| Banol | 9 |
| Barium | 21, 24, 107 |
| Barium azide | 24, 102 |
| Barium bromate | 24, 104 |
| Barium carbide | 24, 105, 107 |
| Barium chlorate | 24, 104 |
| Barium chloride | 24 |
| Barium chromate | 24, 104 |
| Barium fluoride | 15, 24 |
| Barium fluosilicate | 24 |
| Barium hydride | 24, 105 |
| Barium hydroxide | 10, 24 |
| Barium hypophosphite | 24, 105 |
| Barium iodate | 24, 104 |
| Barium iodide | 24 |
| Barium monoxide | 10, 24, 107 |
| Barium nitrate | 24, 104 |
| Barium oxide | 10, 24, 107 |
| Barium perchlorate | 24, 104 |
| Barium permanganate | 24, 104 |
| Barium peroxide | 24, 104 |
| Barium phosphate | 24 |

10/10/2010 Gabriela Cecilia Ponce

**FIGURE D.2 (Cont.)
RGN'S FOR SELECTED MATERIALS**

| Names | RGN |
|-------------------------------|------------------|
| Barium stearate | 24 |
| Barium sulfide | 24, 33, 105, 107 |
| Barium sulfite | 24 |
| Bassa* | 9 |
| Bayer 25141 | 32 |
| Baygon* | 9 |
| Benzadox | 6 |
| Benzal bromide | 17 |
| Benzal chloride | 17 |
| Benzaldehyde | 5 |
| Benz-a-pyrene | 16 |
| Benzene | 16 |
| Benzene diazonium chloride | 8, 102 |
| Benzene phosphorus dichloride | 107 |
| Benzidine | 7 |
| Benzoic acid | 3 |
| Benzoinirile | 26 |
| Benzophenone | 19 |
| Benzoquinone | 19 |
| Benzotriazole | 8, 102 |
| Benzotribromide | 17 |
| Benzotrifluoride | 17 |
| Benzoyl chloride | 107 |
| Benzoyl peroxide | 30, 102 |
| Benzyl alcohol | 4 |
| Benzylamine | 7 |
| Benzyl benzene | 16 |
| Benzyl bromide | 17 |
| Benzyl chloride | 17 |
| Benzyl chlorocarbonate | 17 |
| Benzyl chloroformate | 17 |
| Benzyl silane | 105, 107 |
| Benzyl sodium | 105 |
| Beryllium | 24 |
| Beryllium copper alloy | 24 |
| Beryllium fluoride | 15, 24 |
| Beryllium hydride | 24, 105, 107 |
| Beryllium hydroxide | 10, 24 |
| Beryllium oxide | 24 |
| Beryllium sulfide | 33, 105 |
| Beryllium tetrahydroborate | 24, 105, 107 |
| Bidrin* | 32 |

| Names | RGN |
|--------------------------|-------------|
| Bismuth | 22, 23, 24 |
| Bismuth chromate | 24 |
| Bismuthic acid | 24 |
| Bismuth nitride | 24, 25, 102 |
| Bismuth pentafluoride | 24, 107 |
| Bismuth pentaoxide | 24 |
| Bismuth sulfide | 24, 33, 105 |
| Bismuth tribromide | 24 |
| Bismuth trichloride | 24 |
| Bismuth triiodide | 24 |
| Bismuth trioxide | 24 |
| Bismuth trisulfide | 24, 33, 105 |
| Blada-fum* | 32 |
| Blue vitriol | 24 |
| Bomyl | 32 |
| Borane | 24, 107 |
| Bordeaux arsenites | 24 |
| Boric acid | 1 |
| Boron arsenotribromide | 24, 105 |
| Boron bromodiiodide | 24, 107 |
| Boron dibromiodide | 24, 107 |
| Boron nitride | 24, 25 |
| Boron phosphide | 24, 107 |
| Boron triazide | 24, 107 |
| Boron tribromide | 24, 107 |
| Boron trichloride | 24, 107 |
| Boron trifluoride | 24, 107 |
| Boron triiodide | 24, 107 |
| Boron trisulfide | 24, 33, 105 |
| BPMC | 9 |
| Brass | 23 |
| Bromic acid | 2 |
| Bromine | 104 |
| Bromine azide | 102 |
| Bromine cyanide | 11 |
| Bromine monofluoride | 104, 107 |
| Bromine pentafluoride | 104, 107 |
| Bromine trifluoride | 104, 107 |
| Bromoacetylene | 17 |
| Bromobenzoyl acetanilide | 6, 19 |
| Bromobenzyl trifluoride | 17 |
| Bromodiborane | 105 |
| Bromodimethylaluminum | 107 |

Blod. E. C. L. de Cedillo Ponce™

**FIGURE D2 (Cont.)
RGN'S FOR SELECTED MATERIALS**

| Names | RGN |
|------------------------|------------|
| Bromodimethoxyaniline | 14 |
| Bromoform | 17 |
| Bromomethane | 17 |
| Bromophenol | 17, 31 |
| Bromopropene | 17 |
| Bromopropyne | 17 |
| Bromosilane | 105 |
| Bromotoluene | 17 |
| Bromotrichloromethane | 17 |
| Bromotrifluoromethane | 17 |
| Bromoxynil | 17, 26, 31 |
| Bronze | 23 |
| Buna-N* | 101 |
| Bunker fuel oil | 101 |
| Butacarb | 9 |
| Butadiene | 28, 103 |
| Butadiyne | 28 |
| Butanal | 5 |
| Butane | 29 |
| Butanediol | 4 |
| Butanethiol | 20 |
| Butanetriol trinitrate | 102 |
| Butanol | 4 |
| Butanone | 19 |
| Butenal | 5 |
| Butene | 28 |
| Butene-2-one | 19 |
| Butyl acetate | 13 |
| n-Butyl acrylate | 13, 103 |
| Butylamine | 7 |
| Butyl alcohol | 4 |
| t-Butyl azidoformate | 8 |
| Butyl benzene | 16 |
| Butyl benzyl phthalate | 13 |
| Butyl cellulosolve* | 4 |
| Butyl dichloroborane | 105 |
| Butyl ether | 14 |
| Butyl formate | 13 |
| Butyl fluoride | 17 |
| Butyl glycidyl ether | 34 |
| Butyl hydroperoxide | 30 |
| t-Butyl hypochlorite | 102, 104 |
| n-Butyl lithium | 105, 107 |

| Names | RGN |
|----------------------------------|--------------|
| Butyl mercaptan | 20 |
| Butyl peroxide | 30 |
| Butyl peroxyacetate | 30 |
| Butyl peroxybenzoate | 30 |
| Butyl peroxyisovalate | 30 |
| t-Butyl perbenzoate | 30 |
| t-Butyl-3-phenyl oxazirane | 34 |
| Butyl trichlorosilane | 107 |
| Butyramide | 6 |
| Butyraldehyde | 5 |
| Butyric acid | 3 |
| Butyronitrile | 26 |
| Bux* | 9 |
| Cacodylic acid | 24 |
| Cadmium | 23, 24 |
| Cadmium acetylide | 24, 105, 107 |
| Cadmium amide | 24, 10, 107 |
| Cadmium azide | 24, 102 |
| Cadmium bromide | 24 |
| Cadmium chlorate | 24, 104 |
| Cadmium chloride | 24 |
| Cadmium cyanide | 11, 24 |
| Cadmium fluoride | 15, 24 |
| Cadmium hexamine chlorate | 24, 102 |
| Cadmium hexamine perchlorate | 24, 102 |
| Cadmium iodide | 24 |
| Cadmium nitrate | 24, 102, 104 |
| Cadmium nitride | 24, 25, 102 |
| Cadmium oxide | 24 |
| Cadmium phosphate | 24 |
| Cadmium sulfide | 24, 33, 105 |
| Cadmium trihydrazine chlorate | 24, 102 |
| Cadmium trihydrazine perchlorate | 24, 104 |
| Calcium | 24, 102 |
| Calcium arsenate | 24 |
| Calcium arsenite | 24 |
| Calcium bromate | 104 |
| Calcium carbide | 105, 107 |
| Calcium chlorate | 104 |
| Calcium chlorite | 104 |
| Calcium fluoride | 15 |
| Calcium hexammoniate | 105 |
| Calcium hydride | 105, 107 |

**FIGURE D.2 (Cont.)
RGN'S FOR SELECTED MATERIALS**

| Names | RGN |
|---------------------------------|---------|
| Calcium hydroxide | 10 |
| Calcium hypochlorite | 104 |
| Calcium hypophosphide | 105 |
| Calcium iodate | 104 |
| Calcium-manganese-silicon alloy | 23 |
| Calcium nitrate | 104 |
| Calcium oxide | 10, 107 |
| Calcium oxychloride | 104 |
| Calcium perchromate | 104 |
| Calcium permanganate | 104 |
| Calcium peroxide | 104 |
| Calcium phosphide | 107 |
| Calcium sulfide | 33, 105 |
| Camphor oil | 101 |
| Capric acid | 3 |
| Caproic acid | 3 |
| Caprylic acid | 3 |
| Caprylyl peroxide | 30 |
| Carbacrol | 31 |
| Carbaryl | 9 |
| Carbetamide | 6 |
| Carbanolate | 9 |
| Carbofuran | 9 |
| Carbolic acid | 31 |
| Carbolic oil | 31 |
| Carbon, activated, spent | 101 |
| Carbon bisulfide | 20 |
| Carbon disulfide | 20 |
| Carbon tetrachloride | 17 |
| Carbon tetrafluoride | 17 |
| Carbon tetraiodide | 17 |
| Castrix | 7 |
| Catechol | 31 |
| Caustic potash | 10 |
| Caustic soda | 10 |
| CDEC | 12 |
| Cellulose | 101 |
| Cellulose nitrate | 27, 102 |
| Cerium | 22 |
| Cerium hydride | 105 |
| Cerium trisulfide | 33, 105 |
| Cerous phosphide | 105 |
| Cesium | 21 |

| Names | RGN |
|---------------------------------|---------------|
| Cesium amide | 107 |
| Cesium azide | 102 |
| Cesium carbide | 105 |
| Cesium fluoride | 15 |
| Cesium hexahydroaluminate | 105 |
| Cesium hydride | 105, 107 |
| Cesium phosphide | 107 |
| Cesium sulfide | 33, 105 |
| Chloral hydrate | 5 |
| Chlordane | 17 |
| Chlorestol | 17 |
| Chlorfenvinphos | 32 |
| Chloric acid | 2, 104 |
| Chlorine | 104 |
| Chlorine azide | 102 |
| Chlorine dioxide | 102, 104, 107 |
| Chlorine fluoroxide | 102, 104 |
| Chlorine monofluoride | 104, 107 |
| Chlorine monoxide | 104 |
| Chlorine pentafluoride | 104, 107 |
| Chlorine trifluoride | 104, 107 |
| Chlorine trioxide | 102, 104 |
| Chloroacetaldehyde | 5, 17 |
| Chloroacetic acid | 3, 17 |
| Chloroacetone | 17, 19 |
| Chloroacetophenone | 17, 19 |
| Chloroacetyl chloride | 107 |
| Chloroacetylene | 102 |
| Chloroacrylonitrile | 17, 26 |
| Chloroazodin | 8, 17 |
| Chlorobenzene | 17 |
| Chlorobenzotriazole | 8, 17 |
| Chlorobenzoyl peroxide | 17, 30 |
| Chlorobenzylidene malononitrile | 17, 26 |
| Chlorobutyronitrile | 17, 26 |
| Chloro chromic anhydride | 24, 104, 107 |
| Chlorocresol | 17, 31 |
| Chlorodiborane | 105 |
| Chlorodisobutyl aluminum | 105, 107 |
| Chlorodimethylamine diborane | 105 |
| Chlorodinitrobenzene | 17, 27 |
| Chloro dinitrotoluene | 17, 27 |
| Chlorodipropyl borane | 105 |

**FIGURE D.2 (Cont.)
RGN'S FOR SELECTED MATERIALS**

| Names | RGN |
|---------------------------------|--------------|
| Chloroethane | 17 |
| Chloroethanol | 4, 7 |
| Chloroethylenimine | 17 |
| Chloroform | 17 |
| Chlorohydrin | 17 |
| Chloromethane | 17 |
| Chloromethyl methyl ether | 17 |
| Chloromethyl phenoxyacetic acid | 3, 17 |
| Chloronitroaniline | 17, 27 |
| Chloronitrobenzene | 17, 27 |
| Chloropentane | 17 |
| Chlorophenol | 31 |
| Chlorophenyl isocyanate | 17, 18, 107 |
| Chloropicrin | 17, 27, 102 |
| Chloropropane | 17 |
| Chloropropene | 17 |
| Chloropropylene oxide | 17, 34 |
| Chlorosilane | 105 |
| Chlorosulfonic acid | 1 |
| Chlorothion* | 17, 32 |
| Chlorotoluene | 17 |
| Chlorotoluidine | 7, 17 |
| Chlorotrinitrobenzene | 17, 27, 102 |
| B-Chlorovinyl dichloroarsine | 24 |
| Chlorpicrin | 17, 27, 102 |
| Chromic acid | 2, 24, 104 |
| Chromic anhydride | 2, 24, 104 |
| Chromic chloride | 24 |
| Chromic fluoride | 15, 24 |
| Chromic oxide | 24 |
| Chromic sulfate | 24 |
| Chromium | 23, 24 |
| Chromium sulfate | 24 |
| Chromic sulfide | 24, 33, 105 |
| Chromium trichloride | 24 |
| Chromium trifluoride | 15, 24 |
| Chromium trioxide | 2, 24, 104 |
| Chromyl chloride | 24, 104, 107 |
| Chrysene | 16 |
| CMME | 14, 17 |
| Coal oil | 101 |
| Coal tar | 31 |
| Cobalt | 22, 23, 24 |

| Names | RGN |
|------------------------|-------------------|
| Cobalt bromide | 24 |
| Cobalt chloride | 24 |
| Cobalt nitrate | 24, 104 |
| Cobaltous bromide | 24 |
| Cobaltous chloride | 24 |
| Cobaltous nitrite | 24, 104 |
| Cobaltous resinate | 24 |
| Cobaltous sulfate | 24 |
| Cobalt resinate | 24 |
| Cobalt sulfate | 24 |
| Collodion | 27 |
| Copper | 23, 24 |
| Copper acetoarsenite | 24 |
| Copper acetylide | 24, 102, 105, 107 |
| Copper arsenate | 24 |
| Copper arsenite | 24 |
| Copper chloride | 24 |
| Copper chlorotetrazole | 24 |
| Copper cyanide | 11, 24 |
| Copper nitrate | 24, 104 |
| Copper nitride | 24, 25 |
| Copper sulfate | 24 |
| Copper sulfide | 24, 33, 105 |
| Compound 1836 | 17, 32 |
| Coroxon* | 32 |
| Coumafuryl | 19 |
| Coumatetrayl | 19 |
| Cresol | 31 |
| Cresol glycidyl ether | 34 |
| Cresote | 31 |
| Crimidine | 7 |
| Crotonaldehyde | 5 |
| Crotyl alcohol | 4 |
| Crotyl bromide | 17 |
| Crotyl chloride | 17 |
| Cumene | 16 |
| Cumene hydroperoxide | 30 |
| Cupric arsenate | 24 |
| Cupric arsenite | 24 |
| Cupric chloride | 24 |
| Cupric cyanide | 11, 24 |
| Cupric nitrate | 24, 104 |
| Cupric sulfate | 24 |

biol. Gabriela Cedillo Ponce...

**FIGURE D.2 (Cont.)
RGN'S FOR SELECTED MATERIALS**

| Names | RGN |
|--------------------------------|------------|
| Cupriethylenediamine | 7, 24 |
| Cyanoacetic acid | 3, 26 |
| Cyanochloropentane | 17, 26 |
| Cyanogen | 26 |
| Cyanogen bromide | 11 |
| Cyanophenphos | 26, 32 |
| Cyanuric triazide | 102 |
| Cycloheptane | 29 |
| Cyclohexane | 29 |
| Cyclohexanol | 4 |
| Cyclohexanone | 19 |
| Cyclohexanone peroxide | 30 |
| Cyclohexylamine | 7 |
| Cyclohexenyl trichlorosilane | 107 |
| Cyclohexyl phenol | 31 |
| Cyclohexyl trichlorosilane | 107 |
| Cyclopentane | 29 |
| Cyclopentanol | 4 |
| Cyclopentene | 28 |
| Cyclopropane | 29 |
| Cyclotrimethylene trinitramine | 27, 102 |
| Cymene | 16 |
| Cyolan* | 20, 32 |
| 2,4-D | 3, 17 |
| Dasanit* | 32 |
| DBCP | 17 |
| DCB | 17 |
| DDD | 17 |
| DDNP | 8, 27, 102 |
| DDT | 17 |
| DDVP | 17, 32 |
| DEAC | 105, 107 |
| Decaborane | 107 |
| Decahydronaphthalene | 29 |
| Decalin | 29 |
| Decane | 29 |
| Decanol | 4 |
| Decene | 28 |
| Decyl benzene | 16 |
| Delnav* | 32 |
| Demeton-s-methyl sulfoxid | 32 |
| Diacetone alcohol | 4, 19 |
| Diacetyl | 19 |

| Names | RGN |
|----------------------------------|------------|
| Diacetylene | 28 |
| Diamine | 8, 105 |
| Diaminobenzene | 7 |
| Diaminohexane | 7 |
| Diazoethane | 8, 102 |
| Diazinon* | 32 |
| Diazodinitrophenol | 27, 102 |
| Dibenzoyl peroxide | 30, 102 |
| Diborane | 105, 107 |
| Diboron hexahydride | 105, 107 |
| Dibutyl ether | 14 |
| Dibutyl phthalate | 13 |
| 3,5-Dibromo-4-hydroxybenzotrile | 17, 26, 31 |
| Dibromochloropropane | 17 |
| Dibromoethane | 17 |
| Dichloroacetone | 17, 19 |
| Dichloroamine | 104 |
| Dichlorobenzene | 17 |
| Dichlorobenzidine | 7, 17 |
| Dichlorodimethylsilane | 107 |
| Dichloroethane | 17 |
| Dichloroethene | 17 |
| Dichloroether | 14, 17 |
| Dichloroethylarsine | 24, 107 |
| Ethyl dichlorosilane | 107 |
| Ethyl ether | 14, 17 |
| Dichloroisocyanuric acid | 104 |
| Dichloromethane | 17 |
| Dichlorophene | 17 |
| Dichlorophenol | 17, 31 |
| Dichlorophenoxyacetic acid | 3, 17 |
| Dichloropropane | 17 |
| Dichloropropanol | 4, 17 |
| Dichloropropene | 17 |
| Dichloropropylene | 17 |
| Dichloro-s-triazine-2,4,5-trione | 104 |
| Dichlorovos | 17, 32 |
| Dicumyl peroxide | 30 |
| Dicyclopentadiene | 28 |
| Dieldrin | 17 |
| Diethanolamine | 4, 7 |
| Diethyl aluminum chloride | 105, 107 |
| Diethylamine | 7 |

FIGURE D.2 (Cont.)
RGN'S FOR SELECTED MATERIALS

| Names | RGN |
|---|--------------|
| Diethyl benzene | 16 |
| Diethyl chlorovinyl phosphate | 17, 32 |
| Diethyl dichlorosilane | 107 |
| Diethylene dioxide | 14 |
| Diethylene glycol dinitrate | 27, 102 |
| Diethylene glycol monobutyl ether acetate | 13 |
| Diethylene triamine | 7 |
| Diethyl ether | 14 |
| Diethyl ketone | 19 |
| Diethyltoluamide | 6 |
| Diethyl zinc | 24, 105, 107 |
| Diesel oil | 101 |
| Difluorophosphoric acid | 1 |
| Diglycidyl ether | 34 |
| Diosobutylene | 28 |
| Diisobutyl ketone | 19 |
| Diosopropanolamine | 4, 17 |
| Diisopropylbenzene hydroperoxide | 30 |
| Diisopropyl beryllium | 24, 104, 107 |
| Diisopropyl ether | 14 |
| Diisopropyl peroxydicarbonate | 30 |
| Dimacron* | 32 |
| Dimetox | 6, 32 |
| Dimethyl acetylene | 28 |
| Dimethyl amine | 7 |
| Dimethylamino azobenzene | 7, 8 |
| Dimethyl arsenic acid | 24 |
| Dimethylbenzyl hydroperoxide | 30 |
| Dimethyl butane | 29 |
| Dimethyl butyne | 28 |
| Dimethyl dichlorosilane | 107 |
| Dimethyldithiophosphoric acid | 32 |
| Dimethyl ether | 14 |
| Dimethyl formal | 19 |
| Dimethyl formamide | 6 |
| Dimethylhexane dihydroperoxide | 30 |
| Dimethyl hydrazine | 8 |
| Dimethyl ketone | 19 |
| Dimethyl magnesium | 105, 107 |
| Dimethylnitrobenzene | 27 |
| Dimethylnitrosoamine | 7, 27 |
| Dimethyl sulfide | 20 |
| Dimeton | ?? |

| Names | RGN |
|--------------------------------|------------|
| Dinitrobenzene | 27 |
| Dinitrochlorobenzene | 17, 27 |
| 2,4-Dinitro-6-sec-butyl phenol | 27, 31 |
| Dinitroresol | 27, 31 |
| Dinitrophenol | 27, 31 |
| Dinitrophenyl hydrazine | 8, 27 |
| Dinitrotoluene | 27 |
| Dinoseb | 27, 31 |
| Dioxacarb | 9 |
| Dioxane | 14 |
| Dioxathion | 32 |
| Dipentaerythritol hexanitrate | 27, 102 |
| Dipentene | 28 |
| Diphenamide | 6 |
| Diphenyl | 16 |
| Diphenyl acetylene | 16 |
| Diphenylamine | 7 |
| Diphenylamine chloroarsine | 7, 24 |
| Diphenyl ethane | 16 |
| Diphenyl ethylene | 16 |
| Diphenyl methane | 16 |
| Diphenylmethane diisocyanate | 18, 107 |
| Diphenyl oxide | 14 |
| Dipicryl amine | 7, 27, 102 |
| Dipropyl amine | 7 |
| Disulfoton | 32 |
| Disulfuric acid | 1 |
| Disulfur dintride | 25, 102 |
| Disulfuryl chloride | 107 |
| Disyston* | 32 |
| Dithane* M-45 | 12 |
| Dithione* | 32 |
| DNOC | 27, 31 |
| Dodecene | 28 |
| Dodecyl benzene | 16 |
| Dodecyl trichlorosilane | 107 |
| Dowco-139* | 9 |
| Dowicide I | 31 |
| Dowtherm | 16 |
| Durene | 16 |
| Dyfonate* | 32 |
| Dynes Thinner | 101 |
| Dysectol 30 | 27, 31 |

**FIGURE D.2 (Cont.)
RGN'S FOR SELECTED MATERIALS**

| Names | RGN |
|---------------------------------|-----------|
| Endosulfan | 17, 20 |
| Endothall | 3 |
| Endothion | 32 |
| Endrin | 17 |
| EPN | 32 |
| Epichlorohydrin | 17, 34 |
| Epoxybutane | 34 |
| Epoxybutene | 34 |
| Epoxyethane | 34, 103 |
| Epoxyethylbenzene | 34 |
| Bis(2-3-Epoxypropyl) ether | 34 |
| Ethane | 29 |
| Ethanethiol | 20 |
| Ethanol | 4 |
| Ethion* | 32 |
| Ethoxyethanol | 4, 14 |
| Ethyl acetate | 13 |
| Ethyl acetylene | 28 |
| Ethylacrylate | 13, 103 |
| Ethyl alcohol | 4 |
| Ethylamine | 7 |
| Ethyl benzene | 16 |
| Ethyl butanoate | 13 |
| Ethyl butyrate | 13 |
| Ethyl chloride | 17 |
| Ethyl chloroformate | 13, 17 |
| Ethyl dichloroarsine | 24, 107 |
| Ethyl dichlorosilane | 107 |
| Ethyl ether | 14 |
| Ethylene | 28 |
| Ethylene chromic oxide | 24, 104 |
| ethylene chlorohydrin | 4, 17 |
| Ethylene cyanohydrin | 4, 26 |
| Ethylene diamine | 7 |
| Ethylene dibromide | 17 |
| Ethylene dichloride | 17 |
| Ethylene glycol | 4 |
| Ethylene glycol dinitrate | 27, 102 |
| Ethylene glycolmonomethyl ether | 4, 14, 17 |
| Ethylencimine | 7, 103 |
| Ethylene oxide | 34, 103 |
| Ethyl formate | 13 |
| 2-Ethylhexyl acrylate | 13, 103 |

| Names | RGN |
|---------------------------|----------|
| Ethyl mercaptan | 20 |
| Ethyl nitrate | 27, 102 |
| Ethyl nitrite | 27, 102 |
| Ethyl propionate | 13 |
| Ethyl trichlorosilane | 107 |
| Exothion | 32 |
| Eugenol | 31 |
| Fensulfothion | 32 |
| Ferbam | 12 |
| Ferric arsenate | 24 |
| Ferric sulfide | 33 |
| Ferrous arsenate | 24 |
| Ferrous sulfide | 33, 105 |
| Fluoranthrene | 16 |
| Fluorene | 16 |
| Fluorine | 104, 107 |
| Fluorine azide | 102 |
| Fluorine monoxide | 104, 107 |
| Fluoroacetanilide | 6, 17 |
| Fluoroacetic acid | 3 |
| Fluoroboric acid | 1, 15 |
| Fluorosulfonic acid | 1, 107 |
| Fluosulfonic acid | 1, 107 |
| Fluosilicic acid | 1, 15 |
| Fonofos* | 32 |
| Formaldehyde | 5 |
| Formamide | 6 |
| Formetanate hydrochloride | 6 |
| Formic acid | 3 |
| Fostion* | 32 |
| Freon* | 17 |
| Fumaric acid | 3 |
| Fumarin | 19 |
| Fumazone* | 17 |
| Furadan* | 9 |
| Furan | 14 |
| Furfural | 5 |
| Furfuran | 14 |
| Gas oil, cracked | 101 |
| Gasoline | 101 |
| Germanium sulfide | 33, 105 |
| Glutaraldehyde | 5 |
| Glycerin | 4 |

**FIGURE D.2 (Cont.)
RGN'S FOR SELECTED MATERIALS**

| Names | RGN |
|---|------------|
| Glycidol | 34 |
| Glycol diacetate | 13 |
| Glycol dinitrate | 27, 102 |
| Glycol ether | 14 |
| Glycolic acid | 3 |
| Glycol monoacetate trinitrate | 27, 102 |
| Glycolonitrile | 26 |
| Gold acetylde | 105, 107 |
| Gold cyanate | 102 |
| Gold fulminate | 102 |
| Gold sulfide | 33, 105 |
| Grease | 101 |
| Guaiacol | 31 |
| Guanyl nitrosaminoquanylidene hydrazine | 8, 102 |
| Guanidine nitrate | 27, 104 |
| Gun cotton | 27, 102 |
| Guthion* | 32 |
| Hafnium | 22 |
| Hanane* | 6, 32 |
| Hemimellitene | 16 |
| Heptachlor | 17 |
| Heptane | 29 |
| Heptanal | 5 |
| Heptanol | 4 |
| Heptanone | 19 |
| Heptene | 28 |
| Hexaborane | 105 |
| Hexachlorobenzene | 17 |
| Hexadecyl trichlorosilane | 107 |
| Hexaethyl tetraphosphate | 32 |
| Hexafluorophosphoric acid | 1, 15 |
| Hexahydride diborane | 105, 107 |
| Hexamethyl benzene | 16 |
| Hexamethylenediamine | 7 |
| Hexamethylene diamine | 7 |
| Hexanal | 5 |
| Hexanitrodiphenylamine | 7, 27, 102 |
| Hexanol | 4 |
| Hexanoic acid | 3 |
| Hexene | 28 |
| Hexylamine | 7 |
| Hexyl trichlorosilane | 107 |
| Hexyne | 28 |

| Names | RGN |
|----------------------------|------------|
| HMX | 102 |
| Hopcide* | 9 |
| Hydrated lime | 10 |
| Hydrazine | 8, 105 |
| Hydrazine azide | 8, 102 |
| Hydrazoic acid | 102 |
| Hydriodic acid | 1 |
| Hydrobromic acid | 1, 107 |
| Hydrochloric acid | 1 |
| Hydrocyanic acid | 1, 11 |
| Hydrofluoric acid | 1, 15 |
| Hydrogen azide | 102 |
| Hydrogen bromide | 1, 107 |
| Hydrogen cyanide | 1, 11 |
| Hydrogen fluoride | 1, 15 |
| Hydrogen iodide | 1 |
| Hydrogen peroxide | 104 |
| Hydrogen phosphide | 105 |
| Hydrogen selenide | 24, 105 |
| Hydrogen sulfide | 33, 105 |
| Hydroquinone | 31 |
| Hydroxyacetophenone | 19, 31 |
| Hydroxydibromobenzoic acid | 3, 17 |
| Hydroxydiphenol | 31 |
| Hydroxyhydroquinone | 31 |
| Hydroxyacetophenone | 19, 31 |
| Hydroxyisobutyronitrile | 4, 26 |
| Hydroxyl amine | 105 |
| Hydroxypropionitrile | 4, 26 |
| Hypochlorous acid | 2 |
| Indene | 16 |
| Indium | 22, 23, 24 |
| Inerteen | 17 |
| Iodine monochloride | 107 |
| Iodine pentoxide | 104 |
| Iron | 23 |
| Iron arsenate | 24 |
| Isobutane | 29 |
| Isobutanol | 4 |
| Isobutyl acetate | 13 |
| Isobutyl acrylate | 13, 103 |
| Isobutylene | 28 |
| Isodecyl acrylate | 13 |

Biol. Gabriela Cedillo Ponce

**FIGURE D.2 (Cont.)
RGN'S FOR SELECTED MATERIALS**

| Names | RGN |
|---------------------------------------|-------------|
| Isodurene | 16 |
| Isocugenol | 31 |
| Isohexane | 29 |
| Isooctane | 29 |
| Isocetene | 28 |
| Isopentane | 29 |
| Isophorone | 19 |
| Isoprene | 28, 103 |
| Isopropanol | 4 |
| Isopropyl acetate | 13 |
| Isopropyl acetylene | 28 |
| Isopropylamine | 7 |
| Isopropyl benzene | 16 |
| Isopropyl chloride | 17 |
| Isopropyl ether | 14 |
| Isopropyl mercaptan | 20 |
| N-Isopropylmethylcarbamate | 9 |
| α-Isopropyl methylphosphoryl fluoride | 17, 32 |
| Isopropyl percarbonate | 30 |
| Isotactic propylene | 101 |
| J-100 | 101 |
| Jet oil | 101 |
| Kerosene | 101 |
| Lacquer thinner | 101 |
| Landrin* | 9 |
| Lannate* | 9, 20 |
| Lauroyl peroxide | 30 |
| Lead | 23, 24 |
| Lead acetate | 24 |
| Lead arsenate | 24 |
| Lead arsenite | 24 |
| Lead azide | 24, 102 |
| Lead carbonate | 24 |
| Lead chloride | 24, 104 |
| Lead cyanide | 11, 24 |
| Lead dinitroresorcinate | 24, 27, 102 |
| Lead mononitroresorcinate | 24, 27, 102 |
| Lead nitrate | 24, 104 |
| Lead orthoarsenate | 24 |
| Lead oxide | 24 |
| Lead styphnate | 24, 27, 102 |
| Lead sulfide | 24, 33, 104 |
| Lead trinitroresorcinate | 24, 27, 102 |

| Names | RGN |
|---|-------------|
| Lewisite | 24 |
| Lime nitrate | 104 |
| Lindane | 17 |
| Lithium | 21, 107 |
| Lithium aluminum hydride | 105, 107 |
| Lithium amide | 10, 107 |
| Lithium ferrosilicon | 107 |
| Lithium hydride | 105, 107 |
| Lithium hydroxide | 10 |
| Lithium hypochlorite | 104 |
| Lithium nitride | 25 |
| Lithium peroxide | 104, 107 |
| Lithium silicon | 107 |
| Lithium sulfide | 33, 105 |
| London purple | 24 |
| Lyc | 10 |
| Magnesium | 21, 22 |
| Magnesium arsenate | 24 |
| Magnesium arsenite | 24 |
| Magnesium chlorate | 104 |
| Magnesium fluoride | 15 |
| Magnesium nitrate | 104 |
| Magnesium perchlorate | 104 |
| Magnesium peroxide | 104 |
| Magnesium sulfide | 33, 105 |
| Malathion | 32 |
| Maleic acid | 3 |
| Malonic nitride | 3, 26 |
| Maneb | 12 |
| Manganese | 22, 23, 24 |
| Manganese acetate | 24 |
| Manganese arsenate | 24 |
| Manganese bromide | 24 |
| Manganese chloride | 24 |
| Manganese methylcyclopentadienyltricarbonyl | 24 |
| Manganese nitrate | 24, 104 |
| Manganese sulfide | 24, 33, 105 |
| Manganous arsenate | 24 |
| Manganous bromide | 24 |
| Manganous chloride | 24 |
| Manganous nitrate | 104 |
| Mannitol hexanitrate | 27, 102 |
| Matacil* | 9 |

**FIGURE D.2
RGN'S FOR SELECTED MATERIALS**

| Names | RGN |
|----------------------------|-------------|
| Mayer's reagent | 24 |
| Medinoterb acetate | 13, 27 |
| Meobal | 9 |
| Mercaptobenzothiazole | 8, 20 |
| Mercaptoethanol | 4, 20 |
| Mercarbam | 32 |
| Mercuric acetate | 24 |
| Mercuric ammonium chloride | 24 |
| Mercuric benzoate | 24 |
| Mercuric bromide | 24 |
| Mercuric chloride | 24 |
| Mercuric cyanide | 11, 24 |
| Mercuric dioxysulfate | 24 |
| Mercuric iodide | 24 |
| Mercuric nitrate | 24, 104 |
| Mercuric oleate | 24 |
| Mercuric oxide | 24 |
| Mercuric oxycyanide | 11, 24, 102 |
| Mercuric potassium iodide | 24 |
| Mercuric salicylate | 24 |
| Mercuric subsulfate | 24 |
| Mercuric sulfate | 24 |
| Mercuric sulfide | 24, 33, 105 |
| Mercuric thiocyanate | 24 |
| Mercuric thiocyanide | 24 |
| Mercuriol | 24 |
| Mercurous bromide | 24 |
| Mercurous gluconate | 24 |
| Mercurous iodide | 24 |
| Mercurous nitrate | 24, 104 |
| Mercurous oxide | 24 |
| Mercurous sulfate | 24 |
| Mercury | 24 |
| Mercury (vapor) | 22, 24 |
| Mercury acetate | 24 |
| Mercury ammonium chloride | 24 |
| Mercury benzoate | 24 |
| Mercury bisulfate | 24 |
| Mercury chloride | 24 |
| Mercury cyanide | 11, 24 |
| Mercury fulminate | 24, 102 |
| Mercury iodide | 24 |
| Mercury nitrate | 24, 104 |

| Names | RGN |
|--------------------------------|----------|
| Mercury nucleate | 24 |
| Mercury oleate | 24 |
| Mercury sulfate | 24 |
| Mesitylene | 16 |
| Mesityl oxide | 19 |
| MesuroI* | 9 |
| Metasystox-R | 32 |
| Metham | 12 |
| Methanal | 5 |
| Methane | 29 |
| Methanethiol | 20 |
| Methanoic acid | 3 |
| Methanol | 4 |
| Methomyl | 9, 20 |
| Methoxyethylmercuric chloride | 24 |
| Methyl acetate | 13 |
| Methyl acetone | 101 |
| Methyl acetylene | 28 |
| Methyl acrylate | 13, 103 |
| Methyl alcohol | 4 |
| Methyl aluminum sesquibromide | 105, 107 |
| Methyl aluminum sesquichloride | 105, 107 |
| Methylamine | 7 |
| Methyl amyl acetate | 13 |
| N-Methyl aniline | 7 |
| Methyl aziridine | 7 |
| Methyl benzene | 16 |
| Methyl bromide | 17 |
| Methyl butadiene | 28, 103 |
| Methyl butane | 29 |
| Methyl butene | 28 |
| Methyl butyl ether | 14 |
| Methyl t-butyl ketone | 19 |
| Methyl butyne | 28 |
| Methyl butyrate | 13 |
| Methyl chloride | 17 |
| Methyl chlorocarbonate | 13, 17 |
| Methyl chloroform | 17 |
| Methyl chloroformate | 13, 17 |
| Methyl chloromethyl ether | 14, 17 |
| Methyl cyanide | 26 |
| Methyl cyclohexane | 29 |
| Methyl dichloroarsine | 24 |

**FIGURE D.2 (Cont.)
RGN'S FOR SELECTED MATERIALS**

| Names | RGN |
|------------------------------------|-------------|
| Methyl dichlorosilane | 107 |
| Methylene chloride | 17 |
| Methylene diisocyanate | 18, 107 |
| 4,4-Methylene bis(2-chloroaniline) | 7, 17 |
| Methyl ethyl chloride | 17 |
| Methyl ethyl ether | 14 |
| Methyl ethyl ketone | 19 |
| Methyl ethyl ketone peroxide | 30 |
| Methyl ethyl pyridine | 7 |
| Methyl formate | 13 |
| Methyl hydrazine | 8 |
| Methyl iodide | 17 |
| Methyl isobutyl ketone | 19 |
| Methyl isocyanate | 18, 107 |
| Methyl isopropenyl ketone | 19 |
| Methyl magnesium bromide | 105, 107 |
| Methyl magnesium chloride | 105, 107 |
| Methyl magnesium iodide | 105, 107 |
| Methyl mercaptan | 20 |
| Methyl methacrylate | 13, 103 |
| Methyl naphthalene | 16 |
| Methyl parathion | 32 |
| Methyl pentanoate | 13 |
| Methyl propionate | 13 |
| Methyl n-propyl ketone | 19 |
| Methyl styrene | 28, 103 |
| Methyl sulfide | 20 |
| Methyl trichlorosilane | 107 |
| Methyl valerate | 13 |
| Methyl vinyl ketone | 19 |
| Methyl yellow | 7, 8 |
| Mevinphos | 32 |
| Metacarbate | 9 |
| Mineral spirits | 101 |
| Mintacol* | 32 |
| Mipcan* | 9 |
| Mobam* | 9 |
| Mocap* | 32 |
| Molybdenum | 22, 23, 24 |
| Molybdenum anhydride | 24 |
| Molybdenum sulfide | 24, 33, 105 |
| Molybdenum trioxide | 24 |
| Molybdic acid | 24 |

| Names | RGN |
|---------------------------|-------------|
| Monochloroacetone | 17, 19 |
| Monochloroacetic acid | 3, 17 |
| Monocrotophos | 32 |
| Monoethanol amine | 4, 7 |
| Monofluorophosphoric acid | 1 |
| Monoisopropanolamine | 4, 7 |
| Monomethyl hydrazine | 8 |
| Morpholine | 7 |
| Municipal solid waste | 101 |
| Muriatic acid | 1 |
| Nabam | 12 |
| Nack | 21, 107 |
| Nak | 21, 107 |
| Naptha | 101 |
| Naphthalene | 16 |
| Naphthol | 31 |
| Naphthylamine | 7 |
| Naphthyl mercaptan | 20 |
| Naphthyl | 27, 102 |
| Nemagon* | 17 |
| Neohexane | 29 |
| 4-NBP | 27 |
| Niacide* | 12 |
| Nialate | 32 |
| Nickel | 22, 24 |
| Nickel acetate | 24 |
| Nickel antimonide | 24, 107 |
| Nickel arsenate | 24 |
| Nickel arsenite | 24 |
| Nickel carbonyl | 24 |
| Nickel chloride | 24 |
| Nickel cyanide | 11, 24 |
| Nickel nitrate | 24, 104 |
| Nickelous arsenate | 24 |
| Nickelous arsenite | 24 |
| Nickelous chloride | 24 |
| Nickelous nitrate | 24, 104 |
| Nickel selenide | 24 |
| Nickel subulfide | 24, 33, 105 |
| Nickel sulfate | 24 |
| Nickel tetracarbonyl | 24 |
| Nitraniline | 7, 27 |
| Nitric acid | 2 |

**FIGURE D.2 (Cont.)
RGN'S FOR SELECTED MATERIALS**

| Names | RGN |
|-----------------------------|---------|
| Nitroaniline | 7, 27 |
| Nitrobenzene | 27 |
| Nitrobenzol | 27 |
| Nitrobiphenyl | 27 |
| Nitrocalcary | 104 |
| Nitrocellulose | 27, 102 |
| Nitrochlorobenzene | 17, 27 |
| Nitrogen dioxide | 104 |
| Nitromannite | 27, 102 |
| Nitrogen mustard | 7, 17 |
| Nitrogen tetroxide | 104 |
| Nitroglycerin | 27, 102 |
| Nitrohydrochloric acid | 2 |
| Nitrophenol | 27, 31 |
| Nitropropane | 27 |
| Nitrosodimethylamine | 7, 27 |
| Nitrosoguanidine | 27, 102 |
| Nitrostarch | 27, 102 |
| Nitroxylene | 27 |
| Nitroxyls | 27 |
| N-Nitrosodimethylamine | 7, 27 |
| Nonyl phenol | 31 |
| Nonyl trichlorosilane | 107 |
| Nonane | 29 |
| Nonene | 28 |
| Nonanone | 19 |
| Nonanal | 5 |
| Nonanol | 4 |
| Octadecyl trichlorosilane | 107 |
| Octadecyne | 28 |
| Octamethylpyrophosphoramide | 6, 32 |
| Octanal | 5 |
| Octane | 29 |
| Octanone | 19 |
| Octanol | 4 |
| Octene | 28 |
| Octyl peroxide | 30 |
| Octyl trichlorosilane | 107 |
| Oil of bergamot | 101 |
| Oil of vitrol | 1 |
| Oleum | 2, 24 |
| Orris root | 101 |
| Orthozenol | 31 |

| Names | RGN |
|------------------------------|----------|
| Osmium | 23, 24 |
| Osmium amine nitrate | 24, 104 |
| Osmium amine perchlorate | 24, 104 |
| Oxamyl | 9 |
| Oxalic acid | 3 |
| Oxygen difluoride | 104, 107 |
| PCB | 17 |
| Paper | 101 |
| Paraoxon | 32 |
| Parathion | 32 |
| Paris green | 24 |
| PETD | 12 |
| PETN | 27, 102 |
| Pentaborane | 105 |
| Pentachlorophenol | 17, 31 |
| Pentaerythritol tetranitrate | 27, 102 |
| Pentamethyl benzene | 16 |
| Pentane | 29 |
| Pentanethiol | 20 |
| Pentanal | 5 |
| Pentanone | 19 |
| Pentene | 28 |
| Pentylamine | 7 |
| Pentyne | 28 |
| Peracetic acid | 3, 30 |
| Perbromic acid | 2 |
| Perchloric acid | 2 |
| Perchloroethylene | 17 |
| Perchloromethyl mercaptan | 17, 20 |
| Perchlorous acid | 2 |
| Perchloryl fluoride | 104 |
| Periodic acid | 2 |
| Permonosulfuric acid | 1 |
| Peroxyacetic acid | 3, 30 |
| PETD | 12 |
| Petroleum napha | 101 |
| Petroleum oil | 101 |
| Phenanthrene | 16 |
| Phenarsazine chloride | 7, 24 |
| Phenol | 31 |
| Phenyl acetic acid | 3 |
| Phenyl acetonitrile | 26 |
| Phenyl acetylene | 16 |

**FIGURE D.2 (Cont.)
RGN'S FOR SELECTED MATERIALS**

| Names | RGN |
|--------------------------------|--------------|
| Phenylaniline | 7 |
| Phenylbenzene | 16 |
| Phenylbutane | 16 |
| Phenylchloromethyl ketone | 17, 19 |
| Phenyl dichloroarsine | 24 |
| Phenylene dianiline | 7 |
| Phenyltetraene | 16 |
| Phenyl hydrazine hydrochloride | 8 |
| o-Phenyl phenol | 31 |
| Phenyl trichlorosilane | 107 |
| Phenyl valerylnitrile | 26 |
| Phenylpropane | 16 |
| Phloroglucinol | 31 |
| Phonate | 32 |
| Phosdrin* | 32 |
| Phosphamidon | 32 |
| Phosphine | 105 |
| Phospholan | 20, 32 |
| Phosphonium iodide | 105, 107 |
| Phosphoric acid | 1 |
| Phosphoric anhydride | 107 |
| Phosphoric sulfide | 33, 105, 107 |
| Phosphorus (Amorphous red) | 105, 107 |
| Phosphorus (White-Yellow) | 105 |
| Phosphorus heptasulfide | 33, 105 |
| Phosphorus oxybromide | 104, 107 |
| Phosphorus oxychloride | 104, 107 |
| Phosphorus pentachloride | 107 |
| Phosphorus pentasulfide | 33, 105, 107 |
| Phosphorus pentoxide | 107 |
| Phosphorus sesquisulfide | 33, 105, 107 |
| Phosphorus tribromide | 107 |
| Phosphorus trichloride | 107 |
| Phosphorus trisulfide | 33, 105, 107 |
| Phosphoryl bromide | 104, 107 |
| Phosphoryl chloride | 104, 107 |
| Phthalic acid | 3 |
| Picramide | 7, 27, 102 |
| Picric acid | 27, 31, 102 |
| Picndine | 7 |
| Picryl chloride | 17, 27, 102 |
| Pipendine | 7 |
| Pirimicarb | 9 |

| Names | RGN |
|---------------------------------|----------|
| Polyglycol ether | 14 |
| Polyamide resin | 101 |
| Polybrominated biphenyl | 17 |
| Polybutene | 28 |
| Polychlorinated biphenyls | 17 |
| Polychlorinated triphenyls | 17 |
| Polyethylene | 101 |
| Polyester resin | 101 |
| Polymeric oil | 101 |
| Polyphenyl polymethylisocyanate | 18, 107 |
| Polypropylene | 28, 101 |
| Polyram combi* | 12 |
| Polysulfide polymer | 20, 101 |
| Polystyrene | 101 |
| Polyurethane | 101 |
| Polyvinyl acetate | 101 |
| Polyvinyl chloride | 101 |
| Polyvinyl nitrate | 27, 102 |
| Potasan | 32 |
| Potassium | 21, 107 |
| Potassium acid fluoride | 15 |
| Potassium aluminate | 10 |
| Potassium arsenate | 24 |
| Potassium arsenite | 24 |
| Potassium bifluoride | 15 |
| Potassium bichromate | 24, 104 |
| Potassium bromate | 104 |
| Potassium butoxide | 10 |
| Potassium cyanide | 11 |
| Potassium dichloroisocyanurate | 104 |
| Potassium dichromate | 24, 104 |
| Potassium dinitrobenzofuroxan | 27, 102 |
| Potassium fluoride | 15 |
| Potassium hydride | 105, 107 |
| Potassium hydroxide | 10 |
| Potassium nitrate | 102, 104 |
| Potassium nitride | 25 |
| Potassium nitrite | 104 |
| Potassium oxide | 107 |
| Potassium perchlorate | 104 |
| Potassium permanganate | 24, 104 |
| Potassium peroxide | 104, 107 |
| Potassium sulfide | 33, 105 |

FIGURE D.2 (CONT.)
RGN'S FOR SELECTED MATERIALS

| Names | RGN |
|-----------------------------------|----------|
| Promecarb | 9 |
| Propanal | 5 |
| Propane | 29 |
| Propanethiol | 20 |
| Propanoic acid | 3 |
| Propanol | 4 |
| Propargyl bromide | 17 |
| Propargyl chloride | 17 |
| 2-Propen-1-ol | 4 |
| Propiolactone | 13 |
| Propionaldehyde | 5 |
| Propionamide | 6 |
| Propionic acid | 3 |
| Propionitrile | 26 |
| Propyl acetate | 13 |
| Propyl alcohol | 4 |
| Propylamine | 7 |
| Propyl benzene | 16 |
| Propylene dichloride | 17 |
| Propylene glycol | 4 |
| Propylene glycol monomethyl ether | 4, 14 |
| Propylene oxide | 34, 103 |
| Propyleneimine | 7 |
| Propyl ether | 14 |
| Propyl formate | 13 |
| Propyl mercaptan | 20 |
| Propyl Trichlorosilane | 107 |
| Prothoate | 32 |
| Pseudocumene | 16 |
| Pyridine | 7 |
| Pyrogallol | 31 |
| Pyrosulfuryl chloride | 107 |
| Pyroxylin | 27 |
| Quinone | 19 |
| Raney nickel | 22 |
| RDX | 27, 102 |
| Refuse | 101 |
| Resins | 101 |
| Resorcinol | 31 |
| Rubidium | 21 |
| Salicylated mercury | 24 |
| Saligenin | 31 |
| Saltpeter | 102, 104 |

| Names | RGN |
|---------------------------------|-------------------|
| Schradan | 6, 32 |
| Selenious acid | 1, 24 |
| Selenium | 22, 23, 24 |
| Selenium diethyldithiocarbamate | 12, 24 |
| Selenium fluoride | 15, 24 |
| Selenous acid | 1, 24 |
| Silicochloroform | 107 |
| Silicon tetrachloride | 107 |
| Silicon tetrafluoride | 15, 107 |
| Silver acetylide | 24, 102, 105, 107 |
| Silver azide | 24, 102 |
| Silver cyanide | 11, 24 |
| Silver nitrate | 24, 104 |
| Silver nitride | 24, 25, 102 |
| Silver styphnate | 24, 27, 102 |
| Silver sulfide | 24, 33, 105 |
| Silver tetrazene | 24, 102 |
| Silver tannitroresorcinate | 24, 27, 102 |
| Slaked lime | 10, 107 |
| Smokeless powder | 102 |
| Sodamide | 10, 107 |
| Soda niter | 104 |
| Sodium | 21, 105, 107 |
| Sodium acid fluoride | 15 |
| Sodium aluminate | 10, 105 |
| Sodium aluminum hydride | 105, 107 |
| Sodium amide | 10, 107 |
| Sodium arsenate | 24 |
| Sodium arsenite | 24 |
| Sodium azide | 102 |
| Sodium bichromate | 24, 104 |
| Sodium bifluoride | 15 |
| Sodium bromate | 104 |
| Sodium cacodylate | 24 |
| Sodium carbonate | 10 |
| Sodium carbonate peroxide | 104 |
| Sodium chlorate | 104 |
| Sodium chlorite | 104 |
| Sodium chromate | 24 |
| Sodium cyanide | 11 |
| Sodium dichloroisocyanurate | 104 |
| Sodium dichromate | 24, 104 |
| Sodium dimethylarsenate | 24 |

**FIGURE D.2 (Cont.)
RGN'S FOR SELECTED MATERIALS**

| Names | RGN |
|---------------------------|-------------|
| Sodium fluoride | 15 |
| Sodium hydride | 105, 107 |
| Sodium hydroxide | 10 |
| Sodium hypochlorite | 10, 104 |
| Sodium hyposulfite | 105 |
| Sodium methylate | 10, 107 |
| Sodium methoxide | 10, 107 |
| Sodium molybdate | 24 |
| Sodium monoxide | 10, 107 |
| Sodium nitrate | 104 |
| Sodium nitride | 25 |
| Sodium nitrite | 104 |
| Sodium oxide | 10, 107 |
| Sodium pentachlorophenate | 31 |
| Sodium perchlorate | 104 |
| Sodium permanganate | 24, 104 |
| Sodium peroxide | 104, 107 |
| Sodium phenolsulfonate | 31 |
| Sodium picramate | 27, 102 |
| Sodium polysulfide | 101 |
| Sodium potassium alloy | 21, 107 |
| Sodium selenate | 24 |
| Sodium sulfide | 24, 33, 105 |
| Sodium thiosulfate | 105 |
| Stannic chloride | 24, 107 |
| Stannic sulfide | 33, 105 |
| Starch nitrate | 27, 102 |
| Stilbene | 16 |
| Stoddard solvent | 101 |
| Strontium | 24 |
| Strontium arsenate | 24 |
| Strontium dioxide | 24, 104 |
| Strontium monosulfide | 24, 33, 105 |
| Strontium nitrate | 24, 104 |
| Strontium peroxide | 104 |
| Strontium tetrasulfide | 24, 33, 105 |
| Strychnic acid | 27, 31, 102 |
| Styrene | 16, 28, 103 |
| Succinic acid | 3 |
| Succinic acid peroxide | 30 |
| Sulfonyl chloride | 107 |
| Sulfonyl fluoride | 107 |
| Sulfotep | 32 |

| Names | RGN |
|----------------------------------|----------|
| Sulfur chloride | 107 |
| Sulfur (elemental) | 101 |
| Sulfuric acid | 2, 107 |
| Sulfuric anhydride | 104, 107 |
| Sulfur monochloride | 107 |
| Sulfur mustard | 20 |
| Sulfur oxychloride | 107 |
| Sulfur pentafluoride | 15, 107 |
| Sulfur trioxide | 104, 107 |
| Sulfuryl chloride | 107 |
| Sulfuryl fluoride | 107 |
| Supracide* | 32 |
| Surecide* | 32 |
| Synthetic rubber | 101 |
| TCDD | 14, 17 |
| TEDP | 32 |
| TEL | 24 |
| TEPA | 6, 32 |
| TEPP | 32 |
| THF | 14 |
| TMA | 7 |
| TML | 24 |
| TNB | 27, 102 |
| TNT | 27, 102 |
| Tall oil | 101 |
| Tallow | 101 |
| Tar | 101 |
| Tellurium hexafluoride | 15, 24 |
| Temik* | 9, 20 |
| Tetraborane | 105 |
| Tetrachlorodibenzo-p-dioxin | 14, 17 |
| Tetrachloroethane | 17 |
| Tetrachloroethylene | 17 |
| Tetrachloromethane | 17 |
| Tetrachlorophenol | 17, 31 |
| Tetrachloropropyl ether | 14, 17 |
| Tetradecene | 28 |
| Tetraethyl dithionopyrophosphate | 32 |
| Tetraethyl lead | 24 |
| Tetraethyl pyrophosphate | 32 |
| Tetrahydrofuran | 14 |
| Tetramethylenediamine | 7 |
| Tetramethyl lead | 24 |

**FIGURE D.2 (Cont.)
RGN'S FOR SELECTED MATERIALS**

| Names | RGN |
|-----------------------------|--------------|
| Tetramethyl succinonitrile | 26 |
| Tetranitromethane | 27, 102 |
| Tetraphenyl ethylene | 16 |
| Tetraphosphorus trisulfide | 33, 105, 107 |
| Tetrascelenium tetranitride | 24, 25, 102 |
| Tetrasul | 20 |
| Tetrasulfur tetranitride | 25, 102 |
| Tetrazene | 8, 102 |
| Thallium | 24 |
| Thallium nitride | 24, 25, 102 |
| Thallium sulfide | 24, 33, 105 |
| Thalious sulfate | 24 |
| Thimet* | 32 |
| Thionyl chloride | 107 |
| Thiocarbonyl chloride | 107 |
| Thiodan* | 17, 20 |
| Thionazin | 32 |
| Thionyl chloride | 107 |
| Thiophosgene | 107 |
| Thiophosphoryl chloride | 107 |
| Thuram | 12 |
| Thorium | 22, 23, 24 |
| Tin tetrachloride | 24, 107 |
| Titanic chloride | 24, 107 |
| Titanium | 22, 23, 24 |
| Titanium sesquisulfide | 24, 33, 105 |
| Titanium sulfate | 24 |
| Titanium sulfide | 24, 33, 105 |
| Titanium tetrachloride | 24, 107 |
| TMA | 7 |
| TNB | 27, 102 |
| TNT | 27, 102 |
| Tolualdehyde | 5 |
| Toluene | 16 |
| Toluene diisocyanate | 18, 107 |
| Toluic acid | 3 |
| Toluidine | 7 |
| Toluol | 16 |
| Topcide* | 6 |
| Tranid* | 9, 26 |
| Triamphos | 6, 32 |
| Tribromomethane | 17 |
| Tri-n-butylaluminum | 107 |

| Names | RGN |
|-----------------------------------|--------------|
| Tricadmium dinitride | 24, 25 |
| Tricalcium dinitride | 25 |
| Tricesium nitride | 24, 25 |
| Trichloroacetaldehyde | 5, 17 |
| Trichloroborane | 107 |
| Trichloroethane | 17 |
| Trichloroethene | 17 |
| Trichloroisocyanuric acid | 104 |
| Trichloromethane | 17 |
| Trichloromethyl sulfenyl chloride | 17, 20 |
| Trichloronitromethane | 17, 27, 102 |
| Trichlorophenoxyacetic acid | 3, 17 |
| Trichloropropane | 17 |
| Trichlorosilane | 107 |
| Tridecene | 28 |
| Triethanolamine | 4, 7 |
| Triethyl aluminum | 105, 107 |
| Triethyl antimony | 24, 105, 107 |
| Triethyl arsine | 24, 107 |
| Triethyl bismuthine | 24 |
| Triethylamine | 7 |
| Triethylene phosphoramidate | 6, 32 |
| Triethylene tetraamine | 7 |
| Triethyl stibine | 24, 105, 107 |
| Trifluoroethane | 17 |
| Trifluoromethylbenzene | 17 |
| Triisobutyl aluminum | 105, 107 |
| Trilead dinitride | 24, 25, 102 |
| Trimercury dinitride | 24, 25, 102 |
| Trimethyl aluminum | 105, 107 |
| Trimethylamine | 7 |
| Trimethyl antimony | 24, 105 |
| Trimethyl arsine | 24, 107 |
| 1,2,4-Trimethylbenzene | 16 |
| 1,3,5-Trimethylbenzene | 16 |
| Trimethyl bismuthine | 24 |
| Trimethyl pentane | 29 |
| Trimethylstibine | 24, 105, 107 |
| Tri-n-butylborane | 105, 107 |
| Trinitroaniline | 7, 27, 102 |
| Trinitroanisole | 14, 27 |
| Trinitrobenzene | 27, 102 |
| Trinitrobenzoid acid | 3, 27, 102 |

**FIGURE D.2 (Cont.)
RGN'S FOR SELECTED MATERIALS**

| Names | RGN |
|---------------------------------|--------------|
| Trinitroglycerin | 27, 102 |
| Trinitronaphthalene | 27, 102 |
| Trinitrophenol | 27, 31, 102 |
| Trinitrophenyl methyl ether | 14, 27 |
| Trinitroresorcinol | 27, 31, 102 |
| Trinitrotoluene | 27, 102 |
| Trioctyl aluminum | 105, 107 |
| Triphenyl ethylene | 16 |
| Triphenyl methane | 16 |
| Tripropylamine | 7 |
| Tripropyl stibine | 24, 107 |
| Trisilyl arsine | 24, 107 |
| Tns-(1-azidiny) phosphine oxide | 6, 32 |
| Trithion | 32 |
| TriThorium tetranitride | 24, 25 |
| Trivinyl stibine | 24, 107 |
| Tsunaicide* | 9 |
| Tungstic acid | 24 |
| Turpentine | 101 |
| UDMH | 8 |
| Ultracide* | 32 |
| Undecene | 28 |
| Unisolve | 101 |
| Uranium nitrate | 24, 104 |
| Uranium sulfide | 24, 33, 105 |
| Uranyl nitrate | 24, 104 |
| Urea formaldehyde | 5 |
| Urea nitrate | 27, 102, 104 |
| VC | 17, 103 |
| Valeraldehyde | 5 |
| Valeramide | 6 |
| Valeric acid | 3 |
| Vanadic acid anhydride | 24 |
| Vanadium oxytrichloride | 24 |
| Vandadium pentoxide | 24 |
| Vanadium sulfate | 24 |
| Vanadium tetroxide | 24 |
| Vanadium trichloride | 24, 107 |
| Vanadium trioxide | 24 |
| Vanadyl sulfate | 24 |
| Vapona* | 32 |
| Vinyl acetate | 13, 103 |
| Vinyl azide | 102 |

| Names | RGN |
|--|-------------------|
| Vinylbenzene | 16, 28, 103 |
| Vinyl chloride | 17, 103 |
| Vinyl cyanide | 26, 103 |
| Vinyl ethyl ether | 14 |
| Vinyl isopropyl ether | 17 |
| Vinylidene chloride | 17, 103 |
| Vinyl toluene | 28, 103 |
| Vinyl trichlorosilane | 107 |
| VX | 20, 32 |
| Water | 106 |
| Waxes | 101 |
| Wepryn* 155 | 6, 32 |
| Wood | 101 |
| Zectran* | 9 |
| Zinc | 22, 23, 24 |
| Zinc acetylde | 24, 105, 107 |
| Zinc ammonium nitrate | 24, 104 |
| Zinc arsenate | 24 |
| Zinc arsenite | 24 |
| Zinc chloride | 24 |
| Zinc dioxide | 24, 102, 104, 107 |
| Zinc ethyl | 24, 105, 107 |
| Zinc cyanide | 11, 24 |
| Zinc fluoborate | 24, 15 |
| Zinc nitrate | 24, 104 |
| Zinc permanganate | 24, 104 |
| Zinc peroxide | 24, 102, 104, 107 |
| Zinc phosphide | 24, 107 |
| Zinc salts of dimethyl dithiocarbamic acid | 12, 24 |
| Zinc sulfate | 24 |
| Zinc sulfide | 24, 33, 105 |
| Zineb* | 12, 24 |
| Zinophos* | 20 |
| Ziram* | 12, 24 |
| Zirconium | 22, 23, 24 |
| Zirconium chloride | 24 |
| Zirconium picramate | 24, 104 |
| Zirconium tetrachloride | 24 |

Biol. ■ Gabriela Cedillo Ponce



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

**DIPLOMADO INTERNACIONAL EN
RIESGO AMBIENTAL**

**MODULO III
CA 087**

**MÉTODOS DE ANÁLISIS Y CUANTIFICACIÓN
DE RIESGOS AMBIENTALES**

TEMA

ANEXO 2

**TRANSPORTE Y COMPORTAMIENTO DEL
ESTIRENO EN EL AMBIENTE**

**EXPOSITOR: BIO. GABRIELA CEDILLO PONCE
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO DEL 2002**

5. TRANSPORTE Y COMPORTAMIENTO DEL ESTIRENO EN EL AMBIENTE

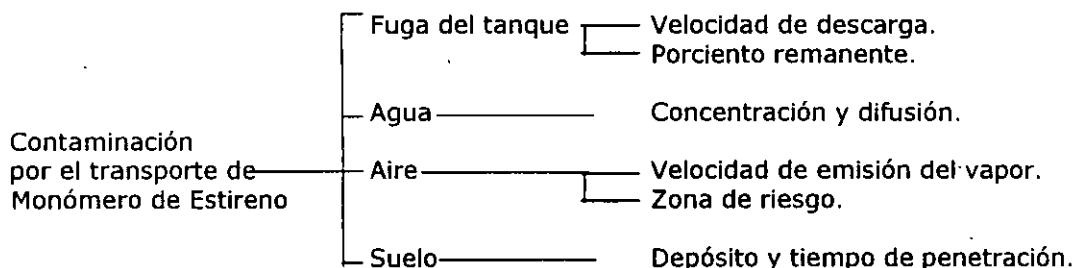
5.1 GENERALIDADES

El Estireno es un líquido moderadamente volátil que comúnmente se transporta en carrotanques. Cuando por algún accidente este se fuga al ambiente, se formará un charco, extendiéndose sobre la superficie de un cuerpo de agua o del suelo, siendo adsorbido hacia el suelo. Los vapores liberados continuamente por evaporación hacia la atmósfera son irritantes e inflamables.

Cuando se derrama sobre agua, tiene la tendencia a expandirse. Este es ligeramente soluble y menos denso que el agua, por lo tanto una pequeña cantidad se disolverá en el agua, y el resto se evaporará a la atmósfera.

Cuando el Estireno se derrama sobre el suelo este es adsorbido a cierta velocidad que dependerá del tipo de suelo y del grado de saturación de humedad.

Los siguientes factores deben considerarse para el transporte del Estireno a través del aire, agua y suelo:



Es importante hacer notar que la naturaleza de los cálculos de contaminación por el transporte, la estimación de los parámetros críticos y el uso de escenarios del peor de los casos para cada medio, son estimados y muy conservadores. Las suposiciones para cada medio pueden ser diferentes e inconsistentes. El producir escenarios con el peor de los casos, permite comparar el comportamiento de los diferentes productos químicos bajo suposiciones consistentes.

5.2 EVALUACION DE DERRAMES Y FUGAS (Utilizando Nomogramas de fugas)

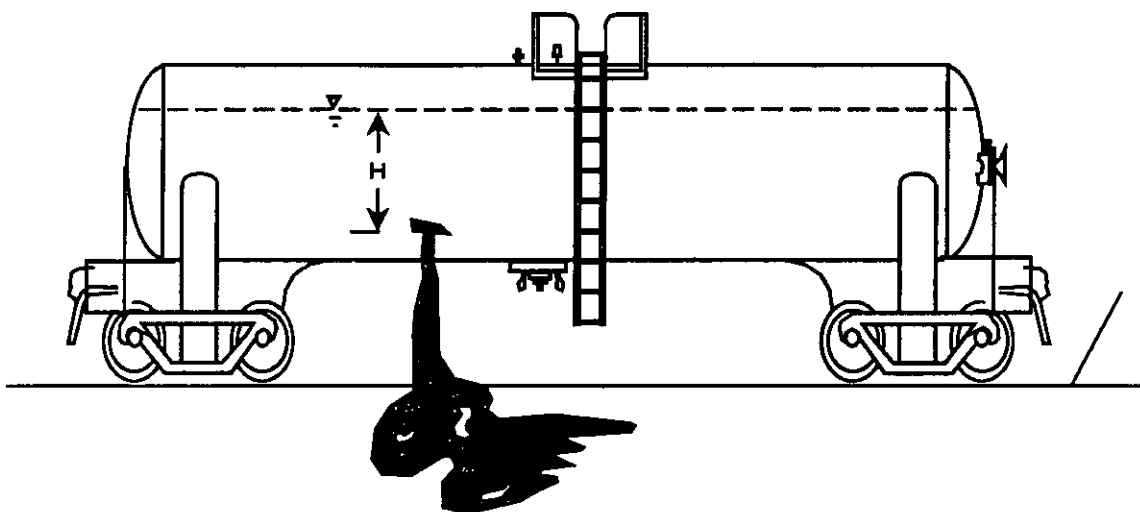
El Estireno es transportado comúnmente en carrotanques como un líquido no presurizado. Las capacidades de los carrotanques varían grandemente, para los efectos de modelar la magnitud de una fuga se ha seleccionado el caso de un carrotanque, con características de 2.75 m de diámetro y 13.4 m de longitud con una capacidad aproximada de 80,000 l.

Si el carrotanque cargado con monómero de estireno es perforado en la base inferior, el contenido se drenará por gravedad. La descarga del líquido (q) es

función de la altura del líquido sobre el nivel del orificio (H), la presión interna del tanque (p), el tamaño del orificio (d), su forma y un coeficiente de descarga (cd). Con objeto de elaborar el nomograma que se presenta se consideró un coeficiente de descarga constante de 0.8. El objetivo de los nomogramas es el de proporcionar en forma sencilla la evolución en el tiempo del proceso de fuga de monómero de estireno para el fondo del carro tanque por derrame de líquido. Debido a que la volatilidad del estireno es relativamente baja y el hecho de que el carro tanque no es presurizado los nomogramas de fugas no han sido preparados para la liberación de vapores desde una perforación en la parte superior del tanque.

La figura 5.1 representa el escenario de una fuga de estireno por la parte inferior del carro tanque.

Figura 5.1. CARROTANQUE CON RUPTURA EN EL FONDO



Escenario : Orificio de fuga en el fondo del tanque

a) Porcentaje del líquido remanente en el tanque contra el tiempo:

La figura 5.2 permite la estimación del porcentaje de estireno remanente en un tanque considerando el tiempo transcurrido y el diámetro equivalente del orificio. El nomograma se construyó considerando las dimensiones de un carro tanque que se mencionaron inicialmente, el cual se consideró totalmente lleno al inicio de la fuga (100% a $t = 0$). Es importante hacer notar que la cantidad del líquido remanente a un tiempo (t) no es solo función de la velocidad de descarga, sino también de la capacidad y forma del recipiente.

b) Velocidad de descarga contra tiempo:

La figura 5.3 provee un medio para estimar la velocidad de descarga instantánea en litros por segundo (l/s), a un tiempo (t), para diferentes diámetros de orificios. El nomograma es solo aplicable a carro tanques con un volumen inicial de 80,000 l.

EJEMPLOS

Problema A

Un carro tanque lleno de monómero de Estireno ha tenido una ruptura en la parte inferior del tanque. El diámetro equivalente del orificio es de 100 mm. Cual es el porcentaje remanente, con respecto al volumen inicial, después de 10 min.

Solución:

Usando la figura 5.2 y con $t= 10$ min. y $d= 100$ mm, la cantidad remanente es de aproximadamente del 68% o 54,400 l.

Problema B

Con las mismas condiciones del problema A .Cuál es la velocidad de descarga instantánea en el tanque, después de 10 min. del accidente.

Solución:

Usando la figura 5.3. y con $t= 10$ min. y $d= 100$ mm, la velocidad de descarga instantánea (q) = 62 l/s.

5.3 DISPERSIÓN EN AIRE

5.3.1 Generalidades

El Estireno es un liquido medianamente volátil, que venteado a la atmósfera desde el orificio de un recipiente no constituye un significativo riesgo. Solo emisiones de vapor de un derrame líquido, sobre agua o tierra seran presentadas.

Una vez que se ha presentado un derrame o fuga, la fracción de la misma que se mezcla con el aire se dispersa en función de las condiciones meteorológicas presentes (velocidad y dirección del viento, estabilidad atmosférica, temperatura.)

Para poder estimar las concentraciones de vapores en dirección del viento dominante a distintas distancias del sitio del accidente, y así poder determinar las zonas de riesgo por fuego o toxicidad, se requiere modelar la dispersión de los vapores contaminantes. Para ello se ha aplicado el modelo gaussiano de dispersión atmosférica, considerando la fuga instantánea del material.

Los nomogramas presentados se calcularon considerando el modelo gaussiano de dispersión de un "puff", y sirven para estimar las zonas donde se pueden presentar concentraciones tóxicas o con riesgo de incendio.

La figura 5.4 presenta en forma esquemática el comportamiento de un puff.

Para facilitar el uso de los diversos nomogramas a aplicar, la figura 5.5 presenta en forma de diagrama de flujo el procedimiento de cálculo.

a) Velocidad de emisión de vapor contra radios de derrame a diferentes temperaturas

La velocidad de evaporación para Estireno a 20°C y a una velocidad de viento de 4.5 m/s (16.1 km/hr) es de 0.13 g/m² s. Otras velocidades a diferentes temperaturas pueden ser calculadas usando la ecuación de velocidad de evaporación para el Estireno, la cual depende de la presión de vapor, velocidad del viento, y temperatura ambiente (Chemical Eng. 1976). Por ejemplo; la velocidad de evaporación es de 0.033 g/m²s a 0°C y 0.26 g/m²s a 30°C; con una velocidad de viento de 4.5 m/s.

Usando la figura 5.13 de la sección 5.4 se pueden determinar los radios máximos de derrame correspondientes a varias cantidades de Estireno derramado. El resultado de las áreas de derrame y la velocidad de evaporación del Estireno, provee la base para la preparación del nomograma de la figura 5.6 (Velocidad de emisión de vapor contra radios de derrame a diferentes temperaturas).

Uso: Para un derrame de Estireno, de radio y temperatura conocidos, la velocidad (Q) a la cual el Estireno se emite a la atmósfera puede ser estimada de la figura 5.6. La parte sólida de las curvas representan derrames de 0.1 a 72.5 toneladas.

Cabe hacer notar que esta figura solo es válida para velocidades de viento de 4.5 m/s y puede ser utilizada para aproximaciones de velocidades de emisión de vapores a otras velocidades de viento.

b) Concentración del vapor contra distancia recorrida en dirección del viento

La figura 5.7 permite estimar la distancia máxima donde se puede presentar la concentración de interés para dos escenarios meteorológicos distintos.

Las condiciones meteorológicas utilizadas para el desarrollo de los nomogramas fueron las siguientes:

| Condición F | Condición D |
|---|---|
| Velocidad de viento menor de 3 m/s (11 km/hr) y cualquiera de las siguientes condiciones: -Día nublado -Evento en la noche -Inversión térmica severa | La mayoría de las demás condiciones climáticas. |

Donde la condición F representa las condiciones mas pobres de dispersión atmosférica y la condición D las condiciones más comunes en general en el territorio nacional.

Con respecto a la concentración de interés en el caso de nubes tóxicas se utiliza la concentración que pudiera causar daños a la salud en un tiempo corto (30 min.), mientras que en el caso de incendio o explosión es el límite inferior de explosividad (LFL) del material, ambas en g/m^3 .

Para el Estireno las concentraciones de interés (a 25 C y 1 atm) son:

Por daño a la salud (toxicidad): 0.215 a 2.15 g/m^3

Por posibilidad de explosión: 50 g/m^3

Las figuras 5.8 y 5.9 muestran los nomogramas a utilizarse para transformar de partes por millón (ppm) de estireno a g/m^3 , así como transformar concentraciones en % en volúmen de estireno en aire a g/m^3 .

Para poder evaluar la distancia máxima donde se puede presentar la concentración de interés se necesita obtener la concentración normalizada a nivel piso en la línea de centros del desplazamiento de la nube "puff". Esta concentración se obtiene dividiendo la cantidad total derramada Q_T (g) entre la concentración de interés.

c) Máximo ancho medio del riesgo del "puff" para la concentración tóxica de interés.

El máximo ancho medio $(W/2)_{\text{max}}$ de un "puff" para una concentración dada del material en el aire, depende fundamentalmente de la masa inicial derramada o fugada y de las condiciones climatológicas presentes.

Al respecto la tabla 5.1 presenta los radios del "Puff" de estireno $(W/2)_{\text{max}}$, para un rango Q_T , en diversas magnitudes de derrame a las diferentes condiciones meteorológicas ya expuestas (D y F).

La tabla es solo aplicable para la concentración de interés por nube tóxica, la cual es de 0.25 g/m^3 ; por otra parte para la condición D se considerarán velocidades de viento entre 1 y 30 m/s mientras que para la condición F se consideraron de 1 a 3 m/s.

Estos datos fueron realizados bajo una distancia máxima de riesgo y de dirección de viento de 100 km.

Tabla 5.1 RADIOS MEDIOS DE RIESGO DEL "PUFF"

| CONDICION D | | CONDICION F | |
|----------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|
| Q _T (g/m) | (W/2) _{max} (m) | Q _T (g/m) | (W/2) _{max} (m) |
| 15,000,000 | 3,420* | 1,250,000 | 1,400** |
| 12,500,000 | 3,060 | 1,000,000 | 1,180 |
| 10,000,000 | 2,660 | 750,000 | 955 |
| 7,500,000 | 2,230 | 500,000 | 705 |
| 5,000,000 | 1,730 | 250,000 | 420 |
| 2,500,000 | 1,130 | 200,000 | 355 |
| 2,000,000 | 980 | 150,000 | 295 |
| 1,500,000 | 820 | 100,000 | 230 |
| 1,000,000 | 640 | 75,000 | 190 |
| 750,000 | 545 | 50,000 | 145 |
| 500,000 | 430 | 25,000 | 95 |
| 250,000 | 285 | 10,000 | 55 |
| 200,000 | 250 | 7,500 | 45 |
| 150,000 | 210 | 5,000 | 35 |
| 100,000 | 165 | 2,500 | 25 |
| 75,000 | 140 | 1,000 | 15 |
| 50,000 | 110 | | |
| 25,000 | 75 | | |
| 10,000 | 45 | | |
| 5,000 | 30 | | |
| 2,500 | 20 | | |
| 1,000 | 15 | | |

*Corresponde a una distancia de 99.5 km.

**Corresponde a una distancia de 97.4 km.

d) Tiempo de viaje del "Puff" contra distancia recorrida

Una vez producida la nube inicial, está irá desplazándose en dirección del viento dominante, al respecto la figura 5.10 permite calcular los tiempos requeridos por el "Puff" para desplazarse bajo diversas velocidades de viento.

De igual forma permite conocer la distancia recorrida por el "Puff" en cierto tiempo.

e) Area a ser afectada por el "Puff"

Teniendo la distancia máxima que viajará el "Puff" y el máximo ancho medio del mismo se puede calcular el área que puede afectarse por el "Puff".

En el caso de que la dirección del viento no sea constante es necesario corregir el valor de anchura media de la pluma (m) con la expresión:

$$(W/2)_{real} = X \tan?? + (W/2)_{max}$$

donde θ es el ángulo de variación de la dirección del viento a ambos lados de la dirección dominante, X la distancia de riesgo en metros y $(W/2)_{\max}$ es el ancho medio de la pluma (m) evaluado de acuerdo al párrafo ©. Ver figura 5.11 y 5.12

Ejemplo de Cálculo

El siguiente ejemplo presenta los pasos requeridos para estimar la zona de riesgo, la cual resulta de un derrame de Estireno.

Problema: Durante la noche, cerca de las 2:00 A.M., se derramaron 20 toneladas de Estireno líquido, sobre un suelo relativamente plano. La temperatura ambiente es de 20°C, con una velocidad de viento de 7.5 km/hr y en dirección NW.

Determinar la extensión del área de riesgo por la dispersión del vapor a los 5 minutos.

Solución:

Paso 1: Transformación de la cantidad derramada a gramos

$$QT = 20 \text{ Ton.}$$

$$QT = 20,000,000 \text{ g} = 2 \times 10^7 \text{ g}$$

Paso 2: Determinación del radio del derrame de las 20 ton.

a) Determine el radio del derrame a través de la observación, si es posible.

b) Si no es posible, usar el máximo radio de la figura 5.13 (Aplica únicamente para derrames en agua).

$$\text{radio } (r) = 250 \text{ m} / 1000 = 0.25 \text{ km}$$

Paso 3: Calcular la velocidad de emisión del vapor (Q) a T = 20 C

De la figura 5.6 para $r = 250 \text{ m}$ y $T = 20 \text{ C}$, $Q = 2.5 \times 10^4 \text{ g/s}$

Paso 4: Determinación de la dirección y velocidad del viento en m/s

De la información del sitio:

$$U = 7.5 \text{ km/s} = 2.1 \text{ m/s}$$

D = NW o 315° (D = dirección de donde sopla el viento)

Paso 5: Determinación de la condición de estabilidad atmosférica

De acuerdo con la descripción presentada:

Velocidad de viento < 3 m/s y noche, se selecciona la **Condición F**

Paso 6: Determinar la concentración de riesgo C

Se utiliza una concentración 10 veces mayor al TLV del estireno.

$$C = 2.15 \text{ g/m}^3 \text{ (TLV} = 0.215 \text{ g/m}^3\text{)}$$

$$\text{Paso 7: Calcular } C/Q = 2.15 * 2.1 / 2.5 \times 10^4 = 1.81 \times 10^{-4} \text{ m}^{-2}$$

Paso 8: Calcular la distancia de riesgo (X) en dirección del viento dominante, para una fuente instantánea, utilizando el nomograma de la figura 5.7

$$X = 2.75 \text{ Km}$$

Paso 9: Calcular la distancia de riesgo (X_a)
 Con $X = 2.75$ km y $r = 0.25$ km, obtenemos:
 $X_a = X_p - 10 r = 0.25$ km

Paso 10: Calcular el radio medio del "puff" $(W/2)_{max}$, utilizando la tabla 5.1.

Con $Q = 2.5 \times 10^4$ g/s y $U = 2.1$ m/s.

$Q/U = 11,900$ g/m

De la tabla 5.1 y con condiciones meteorológicas "F", el valor esta entre 10,000 y 25,000 g/m, interpolando nos da que $(w/2)_{max} = 60$

Paso 11: Determinar el tiempo transcurrido desde el inicio del derrame
 De la información del accidente

$t = 5$ min = 300 seg.

Paso 12: Calcular la distancia viajada por el "puff" utilizando el nomograma de la figura 5.10, para $t = 300$ seg. y $U = 7.5$ km/hr

$X_t = 0.63$ km

5.3.2 Definición de la zona de riesgo

La zona de riesgo estara definida por un rectángulo cuya longitud será la distancia de riesgo (X) y su ancho el doble del radio medio $(w/2)_{max}$ calculados.

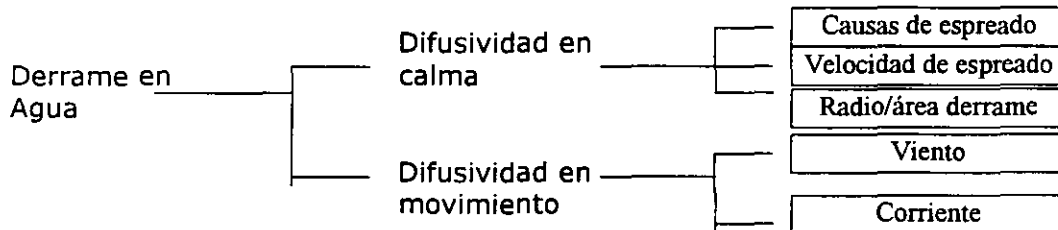
En este caso la longitud será de 0.25 km y el ancho de 60 m.

Si la dirección del viento fuese variable dentro de un sector, el área se modificaria a una figura trapezoidal cuyo ancho mínimo sería el doble del radio del "puff" y su ancho máximo se calcularía con la expresión mostrada en el inciso (e).

5.4 COMPORTAMIENTO EN EL AGUA

La velocidad de difusión en agua esta basada en el balance de las fuerzas tendientes a difundir el líquido (gravedad y tensión superficial) y las fuerzas a resistir la difusión (inercia y viscosidad).

Los factores que deben ser considerados en un derrame y que estan considerados en los nomogramas, son los siguientes:



5.4.1 Nomogramas

a) Radio del derrame contra Tiempo (Aguas tranquilas-Inconfinadas)

La figura 5.13 permite calcular el radio/área de un derrame de Estireno, conociendo la masa y el tiempo de derrame. Si el radio de derrame indicado es mayor que el radio máximo teórico, usar el radio máximo de derrame teórico.

b) Radio hidráulico contra ancho de canal

Si la distancia entre los bancos del cuerpo de agua es menor que el diámetro del derrame, este deberá ser confinado. Usando los radios efectivos de derrame de la figura 5.13, podemos obtener de la figura 5.14 la longitud de canal afectado por un derrame, a diferentes anchos de corriente.

c) Distancia de translación contra tiempo (sin viento).

La figura 5.15 presenta una relación simple entre la velocidad, tiempo y distancia. La distancia de un derrame será trasladada en tiempo por una corriente en movimiento, la cual es directamente proporcional a la superficie actual.

d) Adición vectorial de la superficie con viento.

Para tomar en cuenta el efecto del viento y de la superficie se asume que el derrame es plano y se mueve con la velocidad dada por la adición vectorial de su velocidad y del 3 % de la velocidad del viento. En la figura 5.16 se muestra la simplificación de la adición vectorial de los componentes actuales y la velocidad. La velocidad axial es escalada para la velocidad del viento (km/hr).

El vector de la superficie de la corriente es adicionada al vector del viento para determinar su dirección relativa. El vector de la superficie de la corriente es definida por la superficie vertical de la velocidad en (m/s). El vector resultante describe la dirección y la velocidad del derrame el cual se moverá debido a los efectos del viento. La longitud del vector resultante representa la velocidad de translación del derrame (m/s) cuando se mide sobre la escala vertical.

El nomograma no es alterado por la forma del derrame, por el viento o por los efectos de la evaporación.

Ejemplos de Cálculo

Problema A

20 toneladas de Estireno han sido derramadas en un gran lago. El viento está en calma. Determinar el tamaño del derrame después de 20 minutos y el radio máximo y el tiempo de ocurrencia.

Solución:

Usando la figura 5.13, con $t = 20$ min. y una masa de 20 ton.
 El radio (r) es estimado por interpolación : $r = 60$ m
 Similarmente, el máximo radio de derrame (r_{max}) es de alrededor de 250 m y ocurre en un tiempo aproximado de 125 min.

Problema B

El derrame del problema anterior es confinado en un canal tranquilo de aproximadamente 50 m de ancho. Cual es la máxima longitud de canal afectado por el derrame.

Solución:

De la figura 5.13, $r = 250$ m
 De la figura 5.14; con $r_{max} = 250$ m y ancho de la corriente de 50 m, la longitud máxima de canal afectado sobre las condiciones anteriores es de 4000 m.

5.5 COMPORTAMIENTO EN EL SUELO

El Estireno es relativamente insoluble en agua. Consecuentemente cuando ocurre un derrame en el suelo, la infiltración se lleva a cabo en forma de multi-fases: líquido de Estireno, agua, suelo y gas o vapor.

Para los efectos de este manual se han incluido nomogramas que permiten estimar la profundidad de penetración del Estireno en diversos tipos de suelo insaturados arriba del nivel freático, en función del tiempo transcurrido desde la presentación del derrame.

La figura 5.17 presenta en forma esquemática la infiltración y dispersión de Estireno sobre las capas de suelo. La figura 5.18 presenta el diagrama de flujo del proceso de cálculo a utilizarse, mientras que los nomogramas de las figuras 5.19, 5.20 y 5.21 , presentan la estimación de la penetración de Estireno en tres tipos de suelo (arena gruesa, arena limosa y arcilla), en función del tiempo transcurrido desde el inicio del derrame.

Las características hidráulicas de los suelos seleccionados fueron:

| Estireno | | | |
|---|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | Puro (20° C) | (4 °C) | Agua (20 °C) |
| Densidad (kg/m ³) | 906 | 920 | 998 |
| Viscosidad abs. (Pa*s) | 0.8×10^{-3} | 0.9×10^{-3} | 1.0×10^{-3} |
| Conductividad hidráulica de saturación (Ko) (m/s) | (1.1×10^{-7}) k | (1.0×10^{-7}) k | (0.98×10^{-7}) k |

| Tipo de Suelo | | | |
|---------------------------------|--------------|--------------|------------|
| Propiedades | Arena gruesa | Arena limosa | Arcilla |
| Porosidad (n) m3/m3 | 0.35 | 0.45 | 0.55 |
| Permeabilidad (k) (m2) | 10^{-9} | 10^{-12} | 10^{-15} |
| Capacidad campo (fc) m3/m3 | 0.075 | 0.3 | 0.45 |
| Fracción residual (So) m3/m3 | 0.05 | 0.1 | 0.2 |

Ejemplo de Cálculo:

Se ha presentado un derrame de 20 toneladas de Estireno en un suelo de arena gruesa.

La temperatura es de 20 °C y el radio del derrame es de 8.6 m. Calcular la profundidad de penetración en el suelo y el tiempo.

Solución:

Paso 1: Definición de los parámetros básicos

Masa = 20 ton (20,000 kg)

T = 20°C

Densidad = 906 kg/m³

r = 8.6 m

Paso 2: Calcular el volúmen y área del derrame

$V = M / \rho = 2 \times 10^4 \text{ kg} / 906 \text{ kg/m}^3 = 22.1 \text{ m}^3$

$A = \pi \times r^2 = 232 \text{ m}^2$

Paso 3: Calcular la carga volumetrica (Bo) y el tiempo de penetración (tp)

Para arena gruesa, Bo= 0.1 m3/m2

B = 5.7 m, tp = 8 min

6.- DATOS AMBIENTALES

6.1 CONCENTRACIONES PERMISIBLES EN EL MEDIO

6.1.1 Agua:

La concentración que causa un efecto adverso en el sabor de los peces y otros organismos acuáticos es de 0.25 mg/l (WQC1972). La concentración máxima permisible de Estireno en aguas rusas es de 0.1 mg/l.

6.1.2 Aire:

En Ontario, el nivel de emisiones máximo permisible para Estireno es de 0.4 mg/m³.

6.2 TOXICIDAD ACUÁTICA

6.2.1 El Estireno es moderadamente tóxico para los peces. Tiene un valor de LC₅₀ 96 horas de menos de 100 mg/l (Water Management Goals).

6.2.2 Evaluación de toxicidad U.S. : Una evaluación de toxicidad acuática es TLm 96, de 10 a 100 ppm. (RTEC).

6.2.3 Medidas de toxicidad.

| Conc. (mg/l) | Tiempo (Horas) | Especies | Resultados | Condiciones de agua |
|--|-----------------------|-----------------|-------------------|----------------------------|
| Toxicidad de peces en agua fresca | | | | |
| 26 | 24 | Pez dorado | LC ₅₀ | estática, pH 8.2, 10.5 °C |
| 17 | tns. | Albur | LD ₅₀ | - |
| 100 | 1 | Pececillos | LC ₅₀ | Lago Superior |
| 32 | 24 - 96 | Pececillos | LC ₅₀ | Lago Superior |
| 56.7, 53.6, 46.4 | 24, 48, 96 | Pececillos | TL _m | suave, diluída, 25°C |
| 62.8, 59.3 | 24, 48, 96 | Pececillos | TL _m | dura, diluída, 25°C |
| 25.1 | 24 - 96 | Agalla azul | TL _m | suave, diluída, 25°C |
| Conc. (mg/l) | Tiempo (Horas) | Especies | Resultados | Condiciones de agua |
| 64.7 | 24 - 96 | Pez dorado | TL _m | suave, diluída 25°C |
| | 24 - 96 | Guppy , | TL _m | suave, diluída 25°C |

| Microorganismos | | | | |
|------------------------|-----|-----------------|---|--|
| 2 | 16 | Bacterias | Tóxico, inhibición de la multiplicación celular | agua doblemente destilada, 25°C |
| > 200 | 7 d | Alga verde | Inhibición de la multiplicación celular | agua doblemente destilada, 27°C, humedad relativa de 50% |
| >256 | 72 | Protozoa | Inhibición de la multiplicación celular | agua doblemente destilada, 25°C |
| 67 | tns | Alga verde azul | Inhibición de la multiplicación celular | - |
| Invertebrados | | | | |
| 52 | 24 | Camarón salado | TL _m | estática |
| 68 | 24 | Camarón salado | TL _m | estática |
| 69 | tns | Anfípoda | Fatal en pocas horas | |

6.3 OTRAS TOXICIDADES.

| Concentración (mg/Kg) | Animal | Efectos |
|-----------------------|------------------|--|
| 46 | Embrión de pollo | El 95% de los embriones incubados, no presentaron efectos tóxicos. |

6.4 DEGRADACIÓN

| B.O.D. (p/p) | Porcentaje teórico | Días | Medio | Método |
|--------------|--------------------|------|---------------|-----------------------------|
| 0.55 - 1.95 | | 5 | agua sucia | Agua fresca diluída |
| > 1 | 65 | 5 | agua sucia | agua fresca diluída |
| > 1 | 65 | 10 | agua sucia | agua fresca diluída |
| > 1 | 78 | 15 | agua sucia | agua fresca diluída |
| > 1 | 87 | 20 | agua sucia | agua salada diluída |
| < 1 | 8 | 5 | agua sucia | agua salada diluída |
| < 1 | 18 | 0.4 | lodo activado | plantas de tratamiento |
| < 1 | 11 | 36 | - | análisis de CO ₂ |
| < 1 | 12 | 10 | agua sucia | agua salada diluída |
| < 1 | 21 | 15 | agua sucia | agua salada diluída |
| > 1 | 80 | 20 | agua sucia | agua salada diluída |

El valor de COD es de 2.88 (p/p) y la demanda teórica de oxígeno (TOD) es de 3.07%.

6.5 EFECTOS EN EL MEDIO AMBIENTE

Pagano y colaboradores (1978), sometieron huevos, esperma y embriones de erizos marinos (*Paracentrotus lividus* y *Psammechinus microtuberculatus*) a concentraciones de 5×10^{-4} M de Estireno. Este tratamiento produjo signos de ligera mutagenicidad.

Varias especies de hongos (*Strptomycetes*), aislados de suelo, agua de río, se cultivaron en agua con 5 y 7% de Estireno. Los cultivos presentaron atenuación en su crecimiento, no teniendo el mismo efectos en las especies de suelo.

En otro estudio, de un medio acuoso con cultivos de 13 especies de algas, se le adicionaron 100 a 500 mg/l de Estireno, obteniéndose como resultado que estas concentraciones de Estireno no afectan su crecimiento.

El metabolismo microbiano del Estireno, ha sido brevemente estudiado, observándose que el Estireno es convertido a fenilacético.

6.6 EFECTOS A LARGO PLAZO.

La acumulación de Estireno en los peces les produce manchas. Se ha calculado como 12 el factor de biomagnificación. Este se degrada lentamente. La vida media del Estireno en agua es de 23.8 horas (a 1m de profundidad).

7.- RIESGOS A LA SALUD HUMANA

El Estireno es el compuesto más simple de la familia de los alqueniil bencenos y el más usado en la industria. A bajas concentraciones, tiene un dulce olor aromático y a altas concentraciones presenta un olor desagradable.

Exposiciones agudas a altas concentraciones de estireno, puede producir irritación de las membranas mucosas superiores del tracto respiratorio, nariz y boca y síntomas de necrosis y contracciones musculares, debido a la parálisis del centro respiratorio.

El estireno en sus dos estados líquido y vapor se absorbe a través de la piel, pero no tan rápido que como si fuera inhalado. La velocidad de absorción del líquido a través de la piel es de 9 - 15 mg/cm²/hr. Existen reportes de su neurotoxicidad a concentraciones por abajo de 50 ppm, sin embargo estudios epidemiológicos no han reportados efectos adversos. Pruebas de mutagénicidad y carcinogénicidad han reportado resultados contradictorios, las pruebas de teratogénicidad han sido positivas.

7.1 Límites de exposición recomendados.

Los estandares de exposición para el estireno estan basados en la capacidad que tiene para producir tumores linfoideos o hematopoiéticos.

En el pasado OSHA propuso como límites para estireno, TWA de 100 ppm (8 Hrs.), STEL 200 ppm., no excediendo más de 5 min., en un período de 3 horas y 600 ppm como límite superior, OSHA reviso estos límites y propuso 50 ppm (8 Hrs.), TWA 100 ppm (15 min.), NIOSH concluye que estos límites son apropiados para el estireno.

A continuación se presentan los límites recomendados:

| Guía (Tiempo) | Nivel recomendado |
|---|----------------------------------|
| Tiempo - Medida Promedio (TWA) | |
| TLV [®] (8 Hrs.) | 50 ppm (215 mg/m ³) |
| PEL (8 Hrs.) | 100 ppm (450 mg/m ³) |
| TWAEC (40 Hrs./wk) | 50 ppm (213 mg/m ³) |
| Límite de contaminación promedio (8 Hrs.) | 215 mg/m ³ |
| Límite permisible (8 Hrs.) | 100 ppm (420 mg/m ³) |

| | |
|---|----------------------------------|
| Límite de exposición a corto plazo | |
| STEL (15 min.) | 100 ppm (425 mg/m ³) |
| Máximo | 200 ppm (850 mg/m ³) |
| PEAK (5 min) | 600 ppm |
| 15 min., límite de contaminación promedio | 425 mg/m ³ |
| 15 min. | 125 ppm (525 mg/m ³) |
| Otras toxicidades | |
| IDLH | 500 ppm |
| LC ₁₀ (30 min) | 10 000 ppm |
| TC ₁₀ | 600 ppm |
| TC ₁₀ | 376 ppm |

Índice de toxicidad por inhalación

El índice de toxicidad por inhalación (ITI), es una medida del potencial de una sustancia de ser nóciva por inhalación, calculándose así:

$$ITI = 1315.12 \left(\frac{\text{presión de vapor, en mm Hg}}{TLV^{\circledR}}, \text{ en ppm} \right)$$

A 15°C, IT = 113

7.2 DATOS DE IRRITACIÓN

7.2.1 Contacto en piel

| Nivel de exposición (y duración) | Efectos |
|---|--|
| Exposición aguda | |
| (Humanos) | |
| 600 ppm (aire) | Irritación, TC ₁₀ |
| Agua saturada con estireno (1 hr., contacto en manos) | Disminuyo la excreción de ácido mandélico después de ser absorbido en el pulmón |
| Exposición prolongada | |
| No especificado | Dermatitis, deshidratación de la piel |
| | Se han observado formación de líquidos en la piel, resultantes de la depresión del sistema nervioso central, electroencefalogramas muestran anomalías. |
| (Conejo) | |
| 500 mg | Mediana irritación |
| 100 % | Moderada irritación |
| 10 a 20 aplicaciones | Eritema con desarrollo de una capa delgada de tejido |

7.2.2 Irritación en nariz y garganta

Exposiciones al monómero de estireno en concentraciones de 200 a 400 ppm (7 Hrs. en 2 períodos, 20 min., de descanso), causa irritación en casi toda la garganta, tos. Exposiciones a 216 ppm causa irritación en la nariz, después de 20 min., concentraciones de 99 ppm producen mediana irritación en algunas personas.

7.2.3 Contacto en los ojos

Al tener contacto con los ojos, los efectos por exposición son; ligera a severa irritación, molestias transitorias.

7.2.4 Inhalación

Los efectos por inhalación, los principales efectos son sobre el sistema nervioso central los cuales se manifiestan así; dolor de cabeza, fatiga, confusión, mareos, somnolencia, malestar general, dificultad para concentrarse.

Existen reportes en el sistema nervioso periférico, en la función pulmonar, cambios cromosomales, efectos en la reproducción y efectos relacionados a carcinogenicidad.

7.2.5 Ingestión

Su ingestión causa, ligera irritación gastrointestinal, mareos, fatiga, puede tener efectos mortales.

7.2.6 Mutagenicidad, teratogenicidad y carcinogenicidad

Exposiciones agudas.

| Nivel de exposición | Efectos |
|----------------------|---|
| 300 ppm (72 Hrs.) | No hay reportes |
| 211 a 2 ppm o 30 ppm | Se detecto ligera disminución en el crecimiento celular y en el índice mitótico |
| 0.01 % (v/v) o menor | Se reportaron efectos citogénicos sobre los linfocitos, a bajas concentraciones |

Se han reportado efectos a concentraciones no conocidas, como los siguientes:

aparición de neoplasma en el tejido linfático y hematopoiético, inducción de efectos citogénéticos, leucemia, cáncer de estómago (exposiciones de estireno y butadieno).

Experimentos en ratas han demostrado, que altas exposiciones, causan disminución en su peso, también se han reportado adenomas y carcinomas alveolares/bronquiales (a bajas dosis).

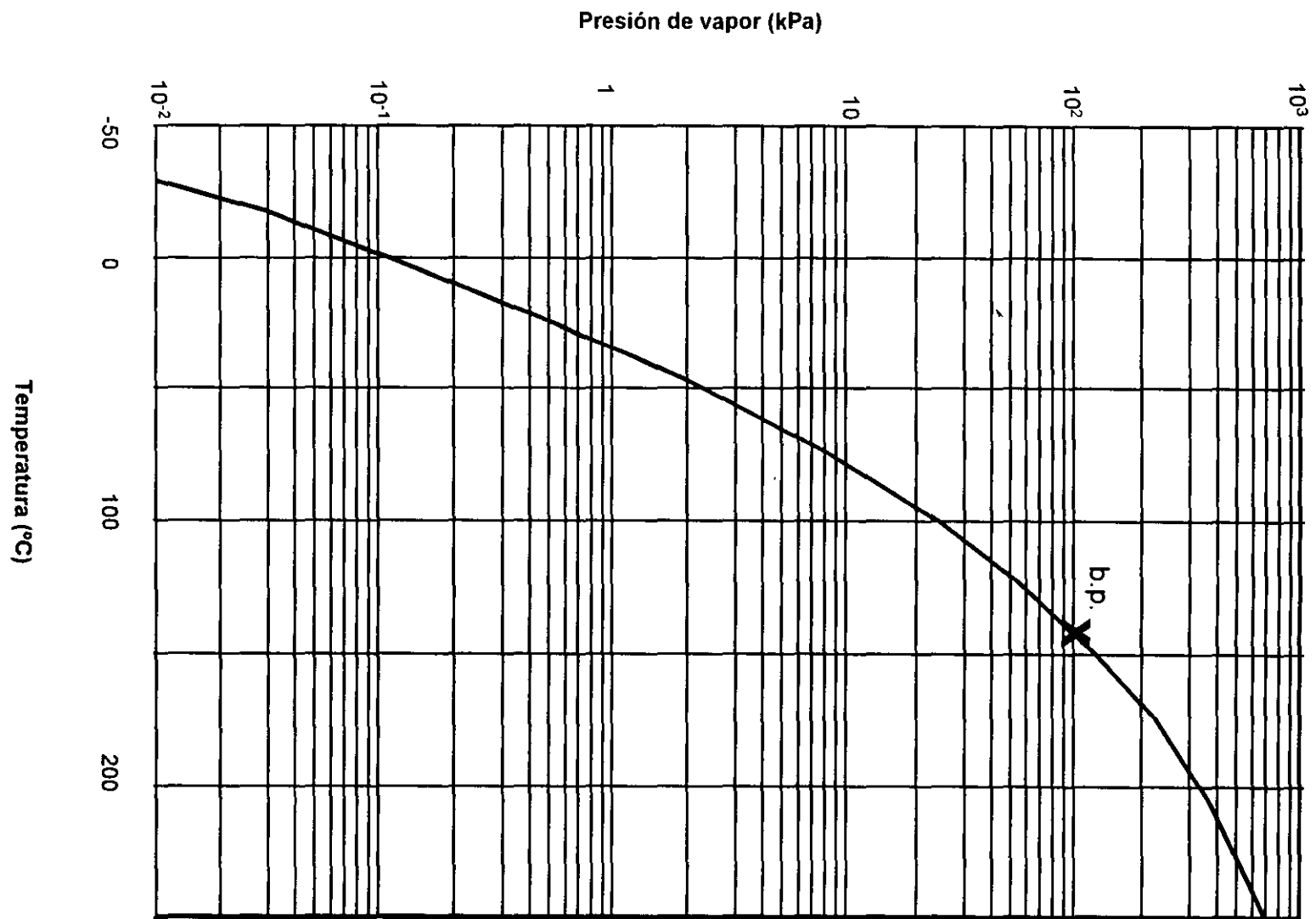
Se ha observado que el estireno pasa a través de la placenta, ocasionando defectos en el SNC.

7.3 SÍNTOMAS DE AFECTACIÓN

Los síntomas de afectación por la exposición al monómero de estireno son fundamentalmente:

- | | |
|-----------------------|---|
| Inhalación: | Irritación de garganta, náuseas, dolor de cabeza, fátiga, depresión, confusión mental, convulsiones y muerte. |
| Ingestión: | Irritación gastrointestinal, fátiga, pérdida de la conciencia, coma y muerte. |
| Contacto con la piel: | Deshidratación de la piel, dermatitis, depresión del sistema nervioso central. |
| Contacto en los ojos: | Irritación e irritación conjuntival. |

Figura 2.1 PRESIÓN DE VAPOR VS TEMPERATURA



MONOMERO DE ESTIRENO

Figura 2.2 DENSIDAD DEL LIQUIDO VS TEMPERATURA

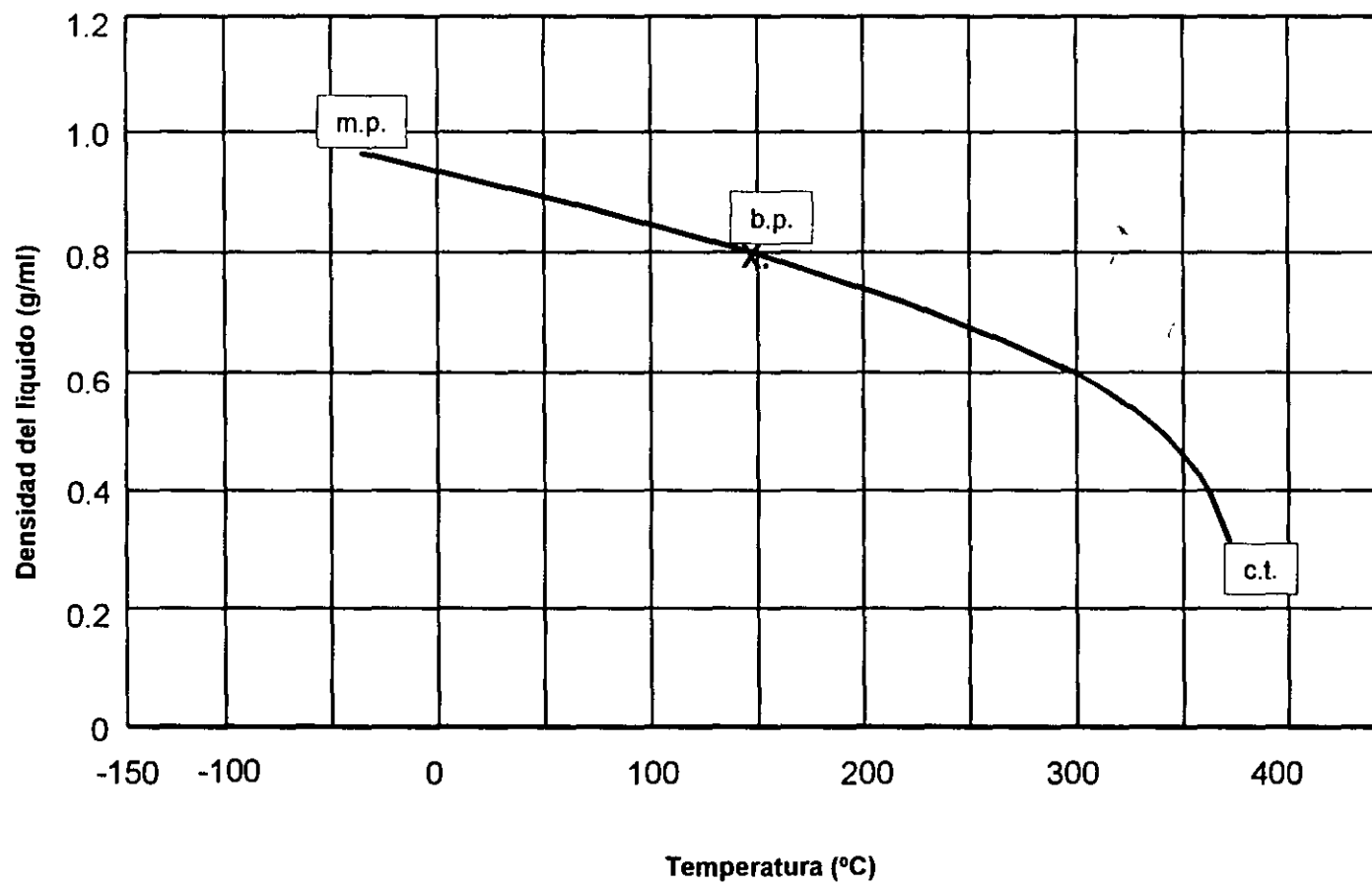


Figura 2.3 RADIO DE POLIMERIZACIÓN

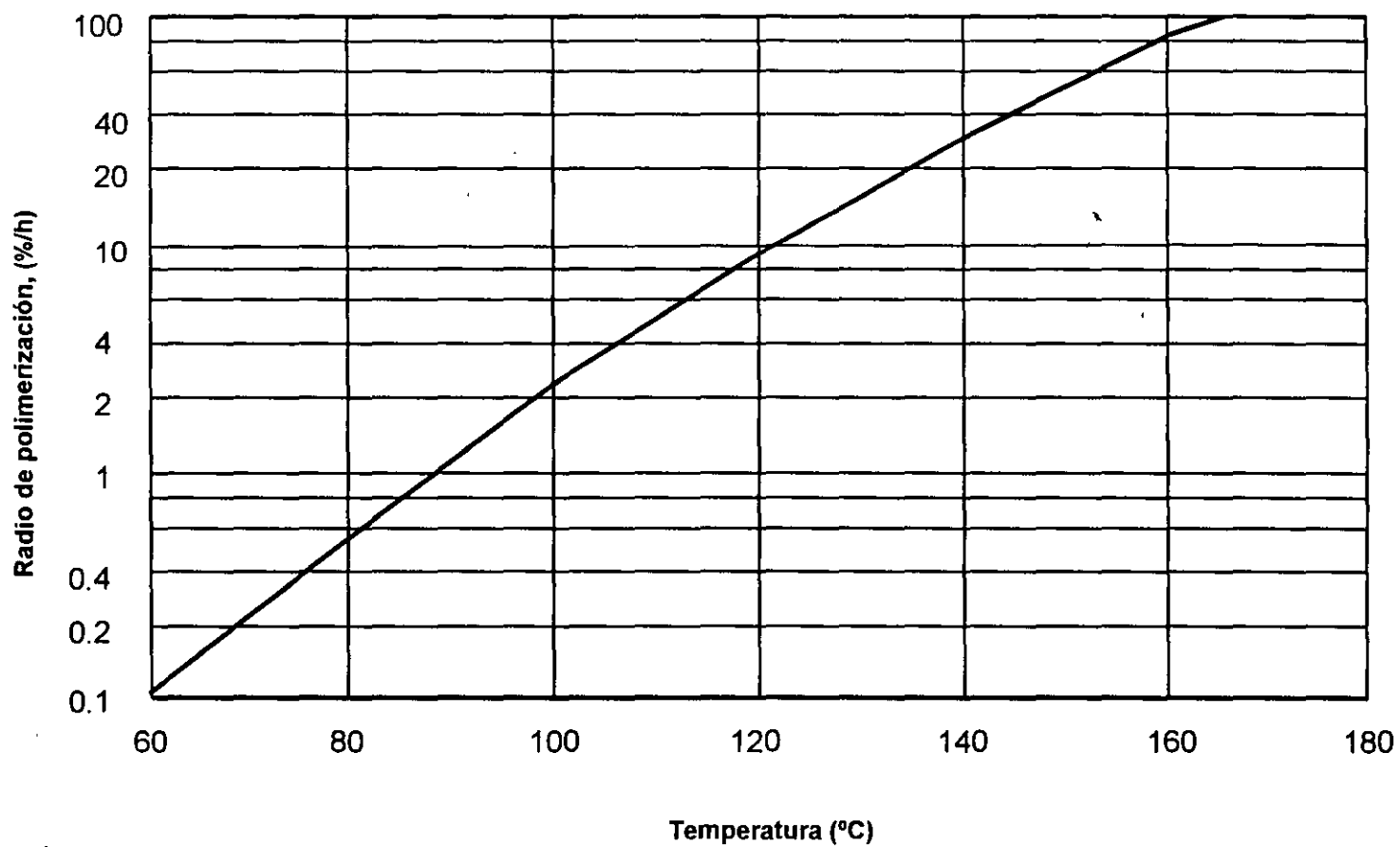


Figura 2.4 VISCOSIDAD DEL LIQUIDO VS TEMPERATURA

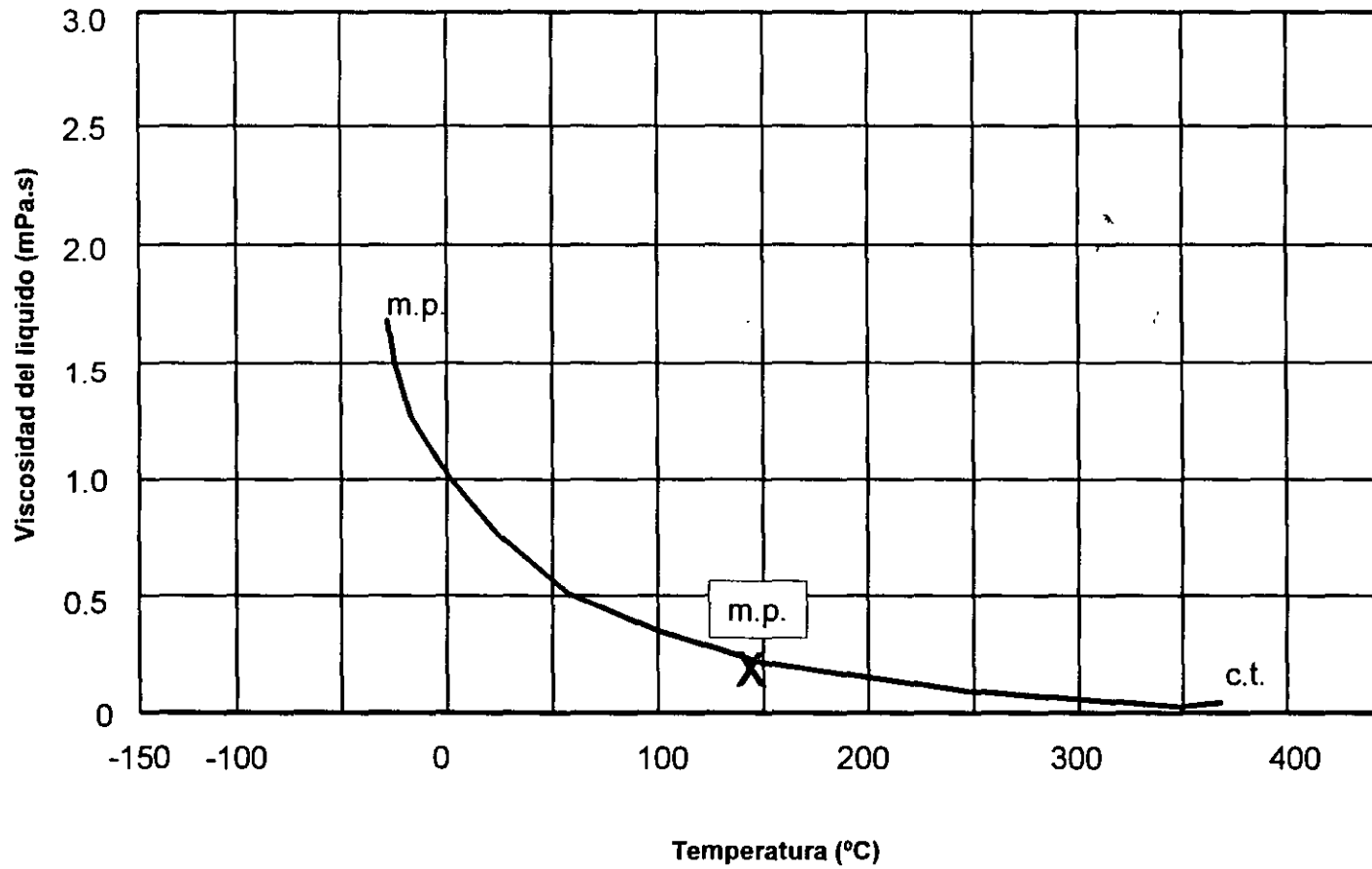


Figura 2.5 VISCOSIDAD DEL VAPOR VS TEMPERATURA

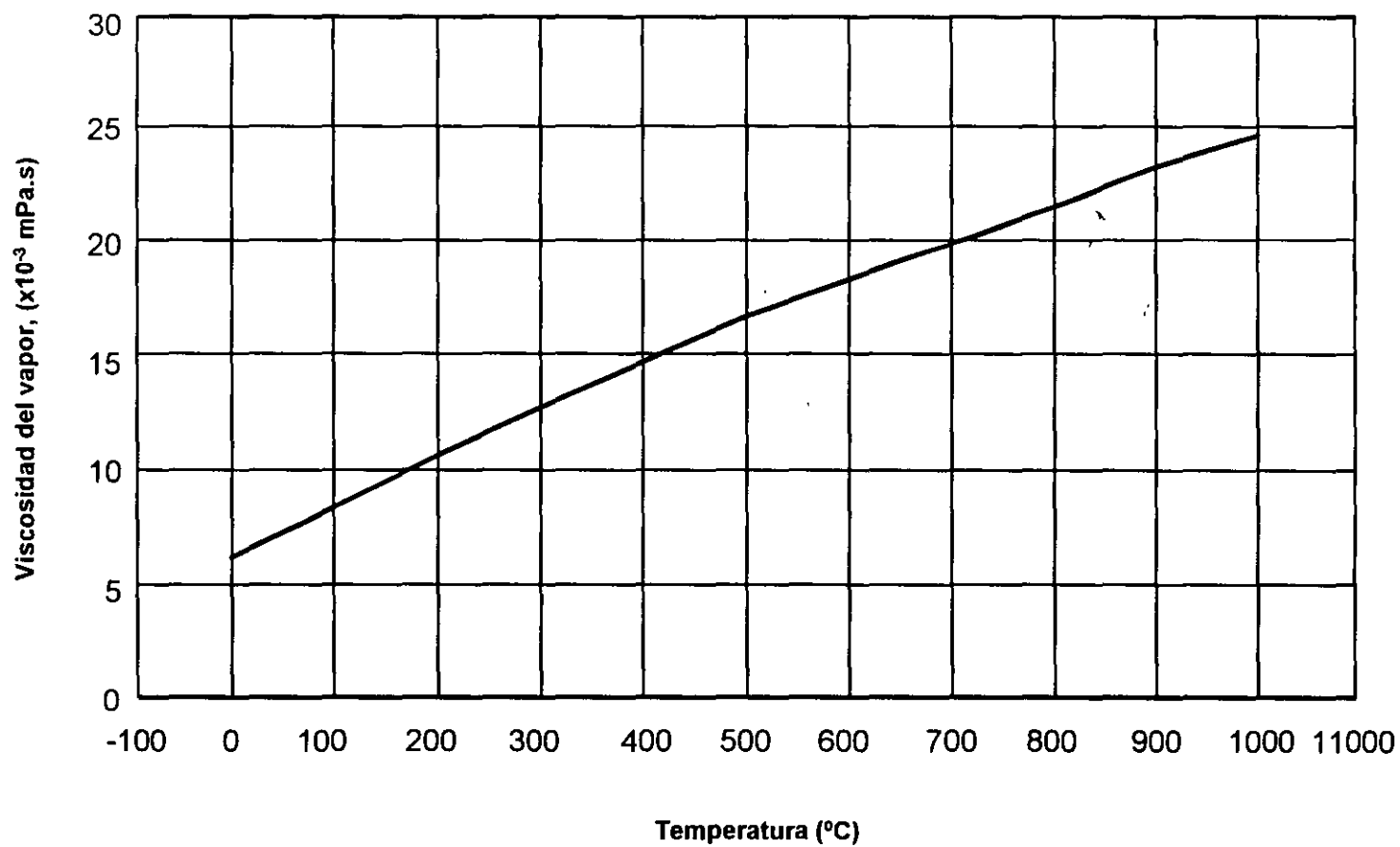


Figura 2.6 DIAGRAMA BASE

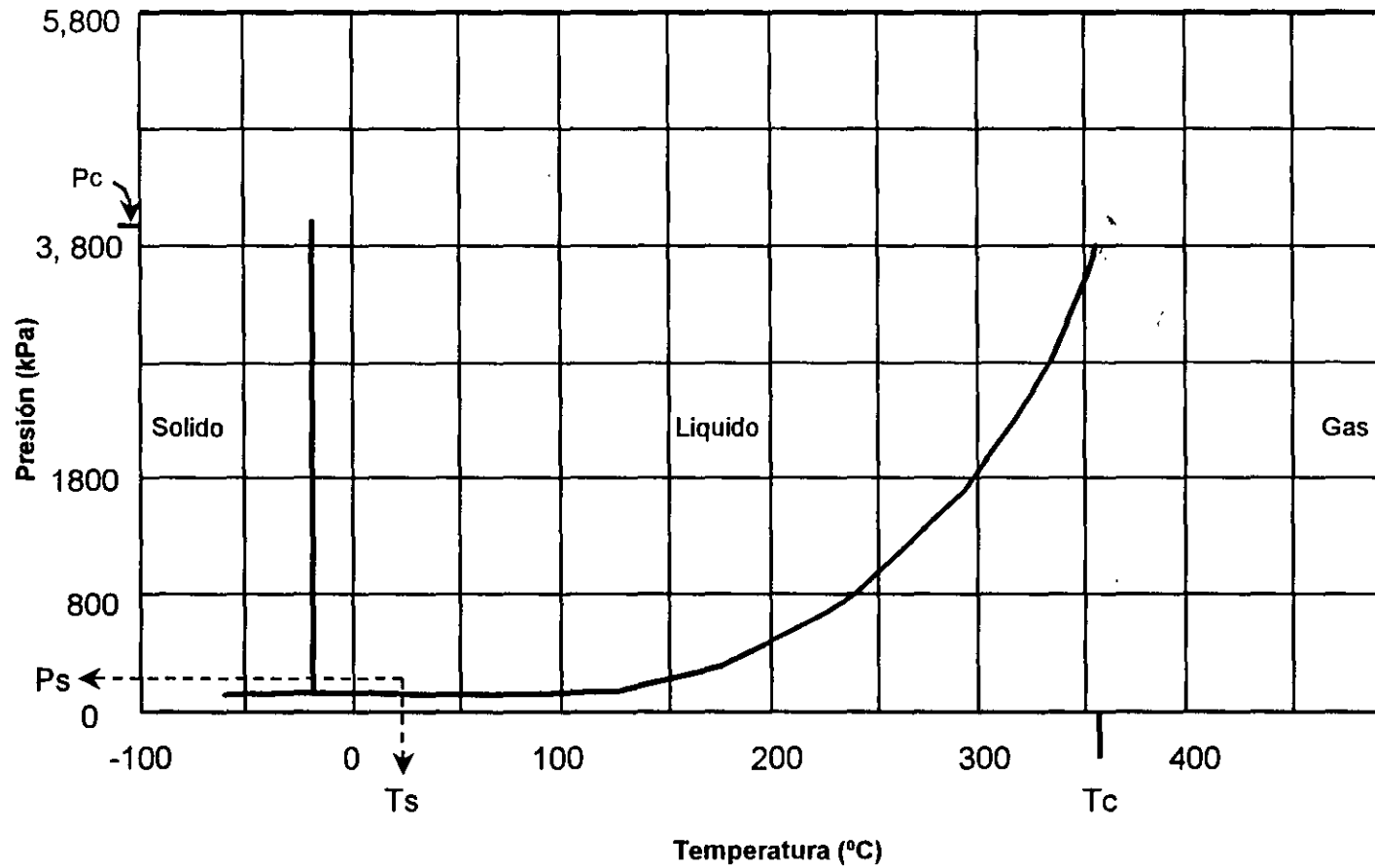


Figura 5.2 PORCENTAJE DE LIQUIDO REMANENTE EN EL TANQUE VS TIEMPO

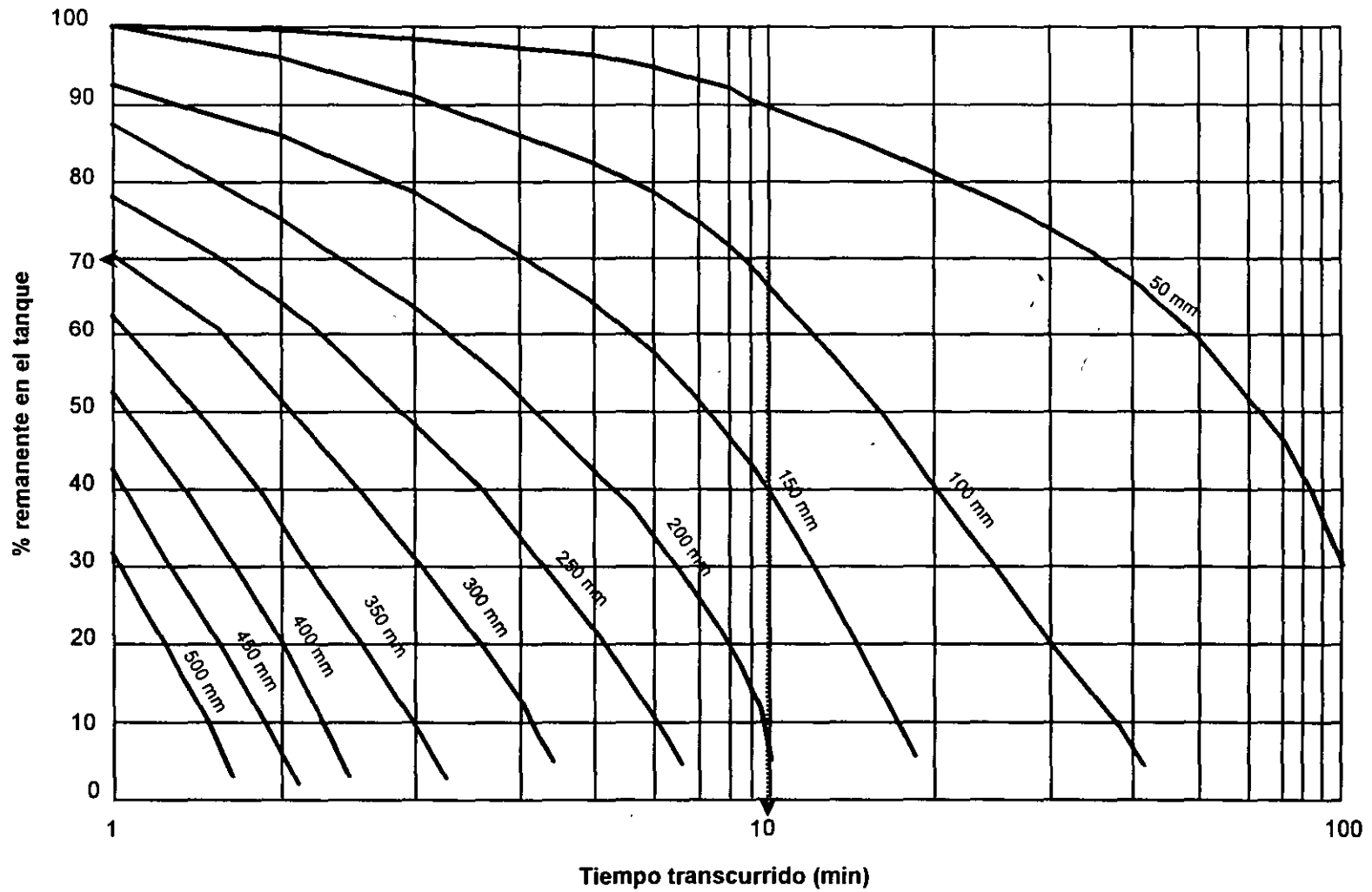


Figura 5.3 VELOCIDAD DE DESCARGA VS TIEMPO

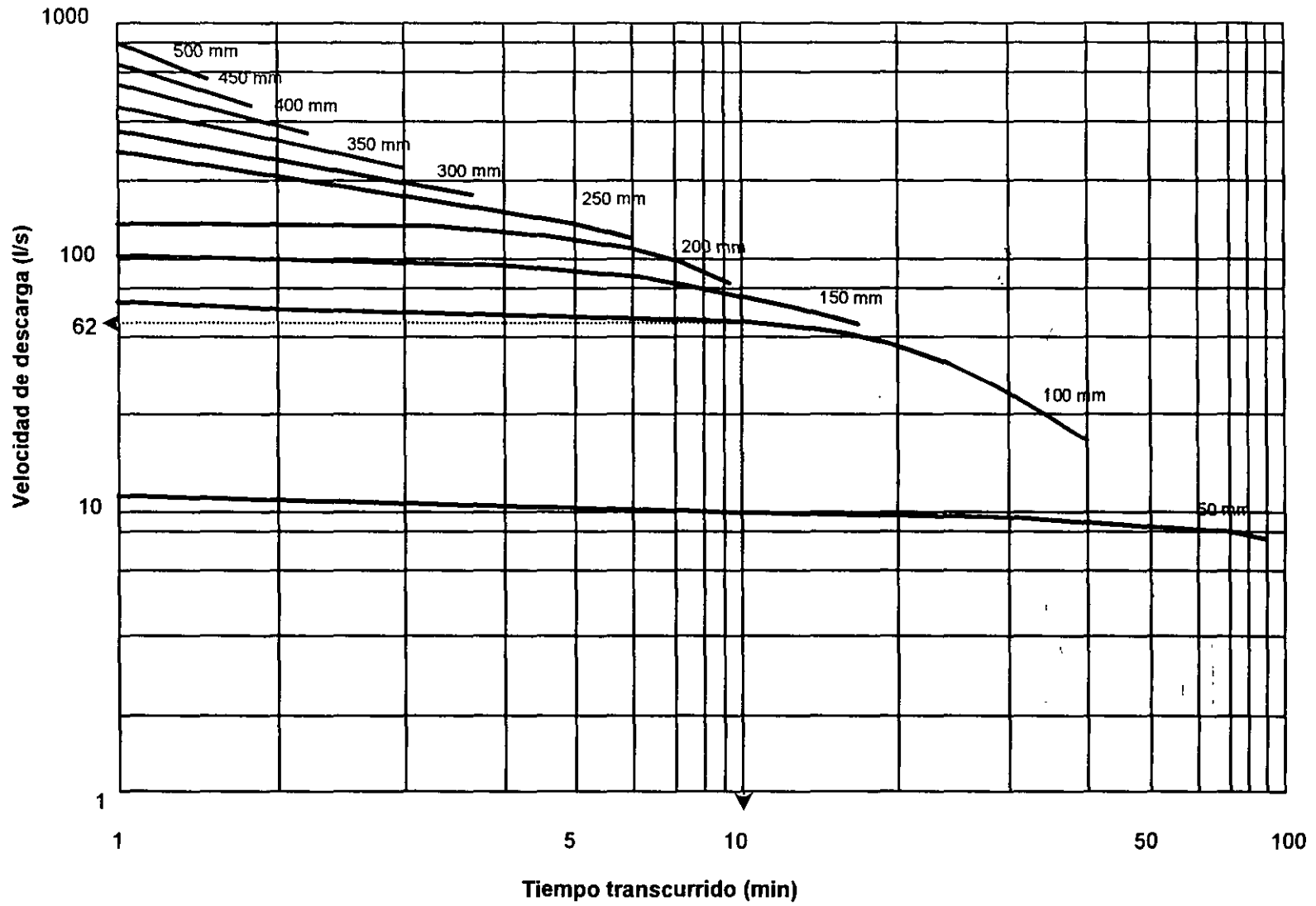


Figura 5.4 ESQUEMA DE CONTAMINACIÓN DE PLUMA

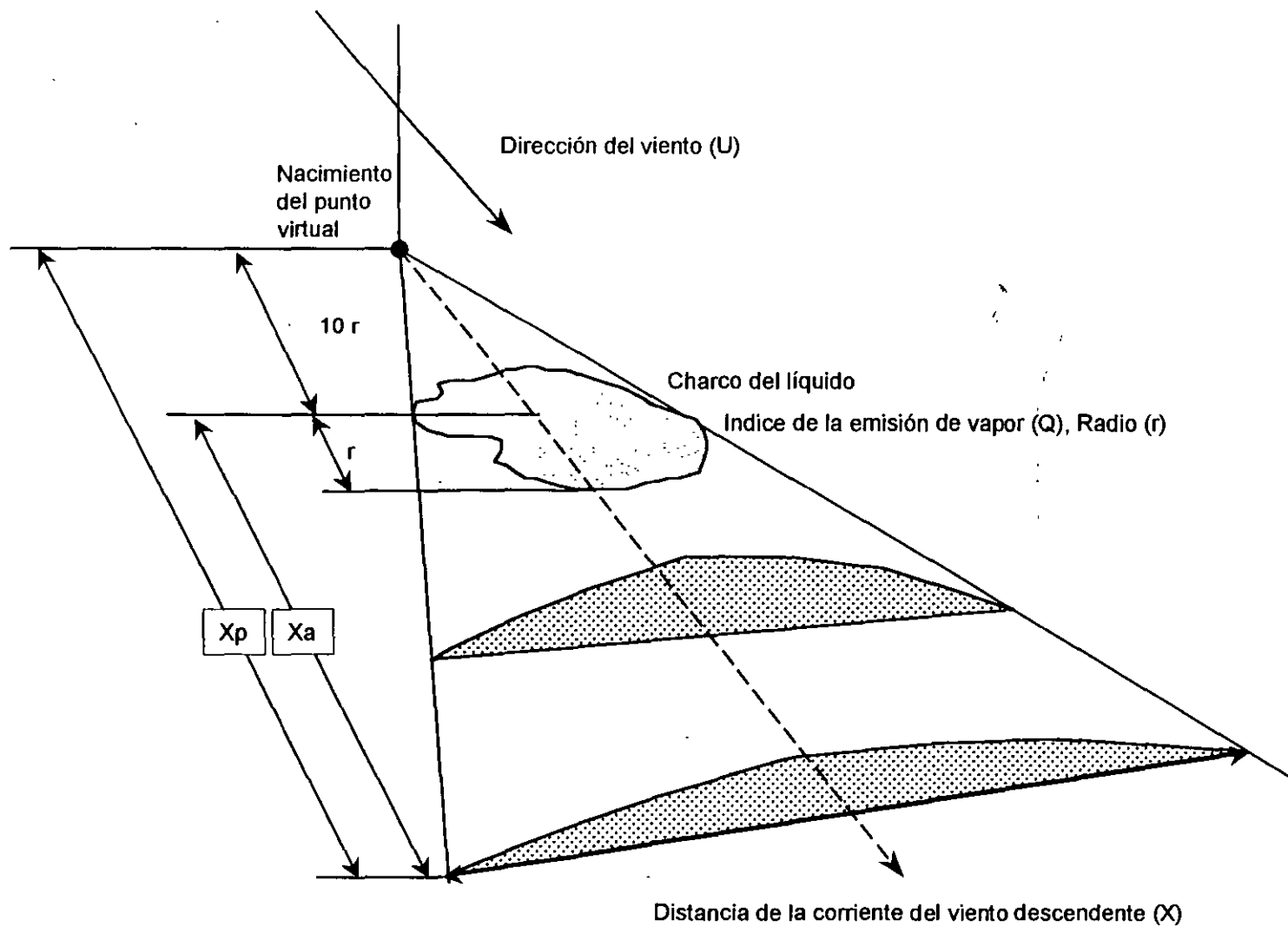


Figura 5.5 DIAGRAMA DE FLUJO PARA DETERMINAR LA ZONA DE RIESGO DEL VAPOR

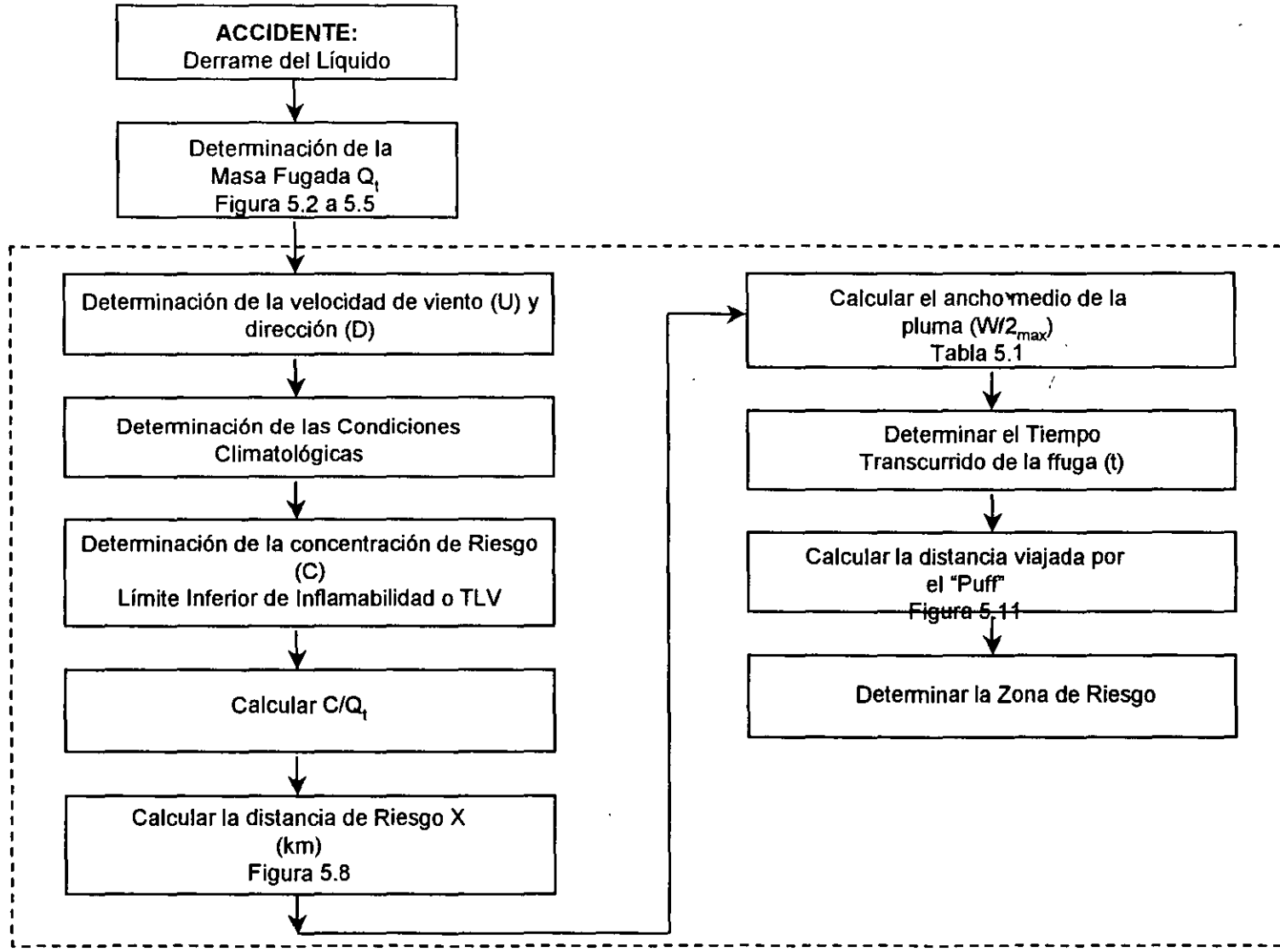


Figura 5.6 VELOCIDAD DE EMISIÓN DE VAPOR VS RADIO DE DERRAMES LQUIDOS

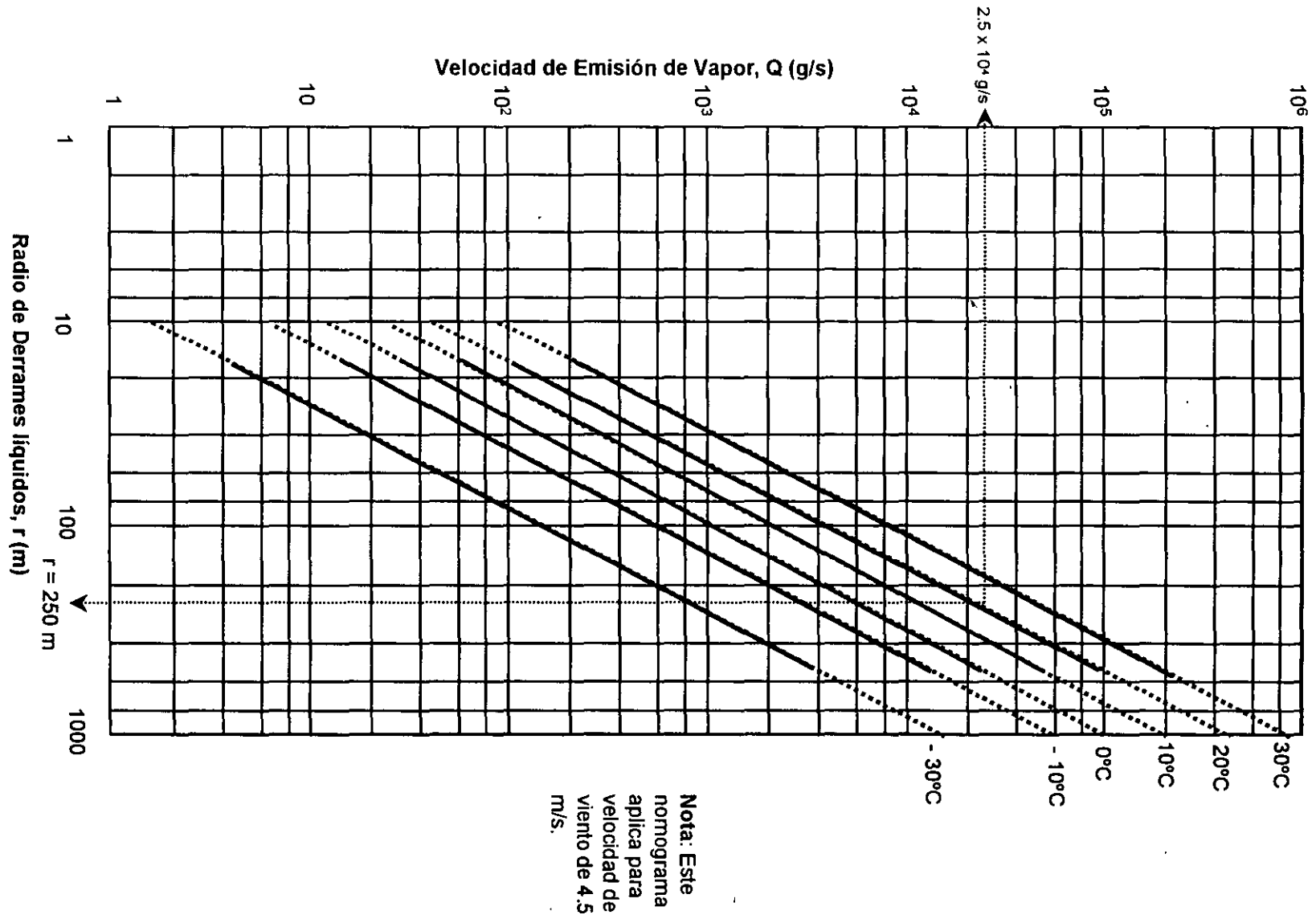


Figura 5.7 CONCENTRACION DE VAPOR NORMALIZADO VS DISTANCIA DE VIENTO

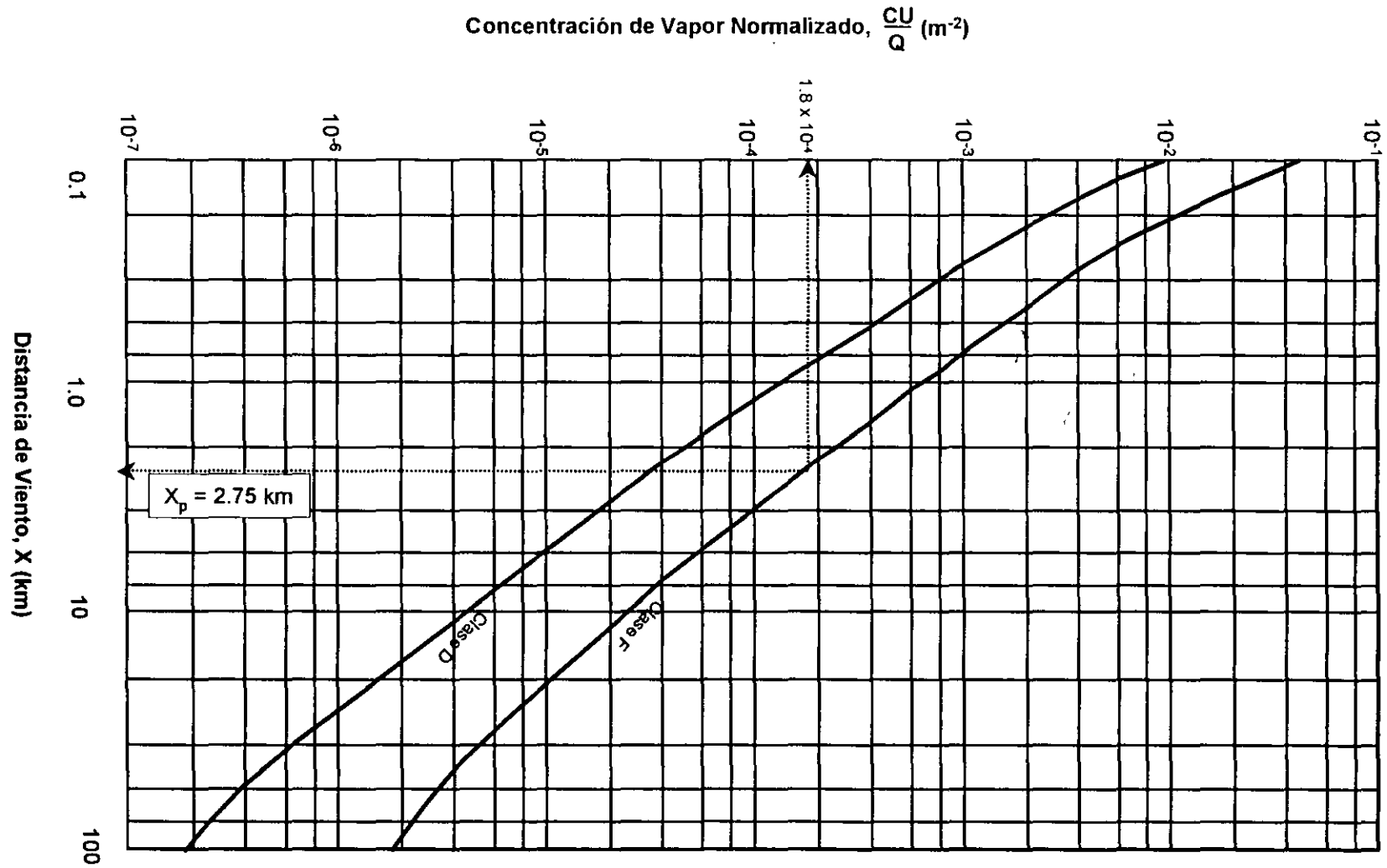
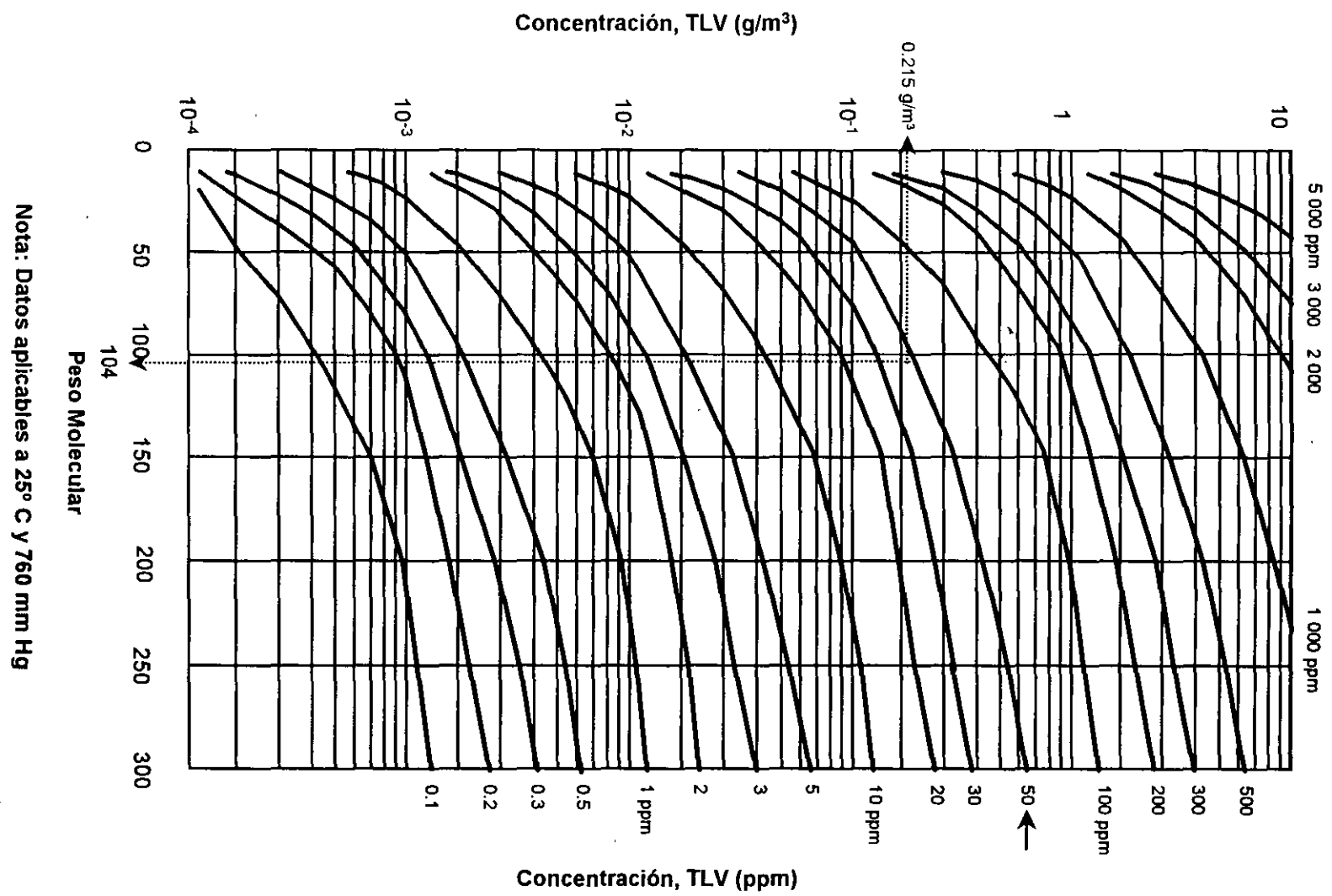
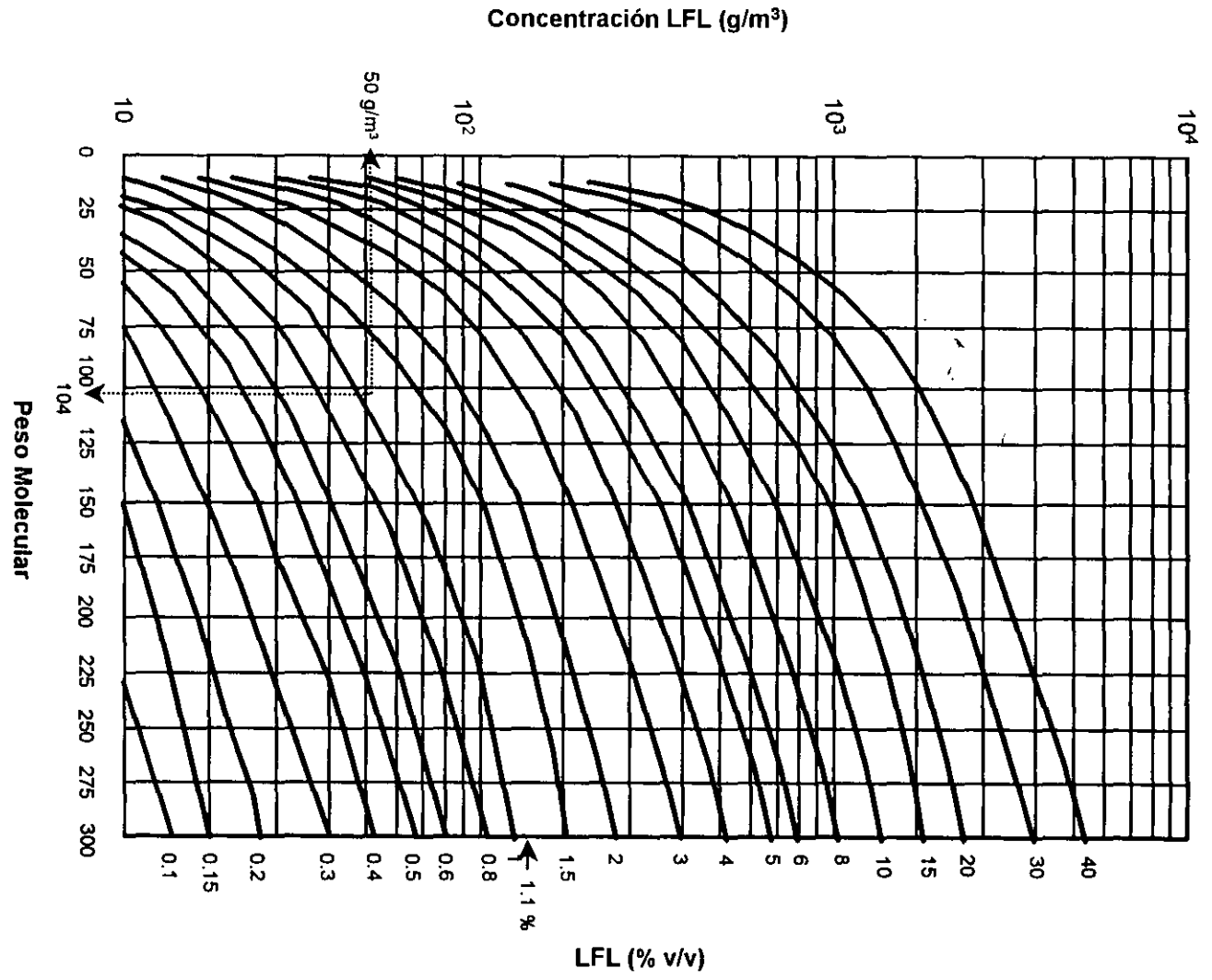


Figura 5.8 CONVERSIÓN DE VALORES LÍMITES UMBRALES (TLV) DE (ppm a g/m³)



Nota: Datos aplicables a 25° C y 760 mm Hg

Figura 5.9 CONVERSION DE LIMITE DE INFLAMABILIDAD INFERIOR DE (% en volúmen) A (g/m³)



Nota: Datos aplicables a 25°C y 760 mm Hg

Figura 5.10 TIEMPO DE RECORRIDO DE PLUMA VS DISTANCIA

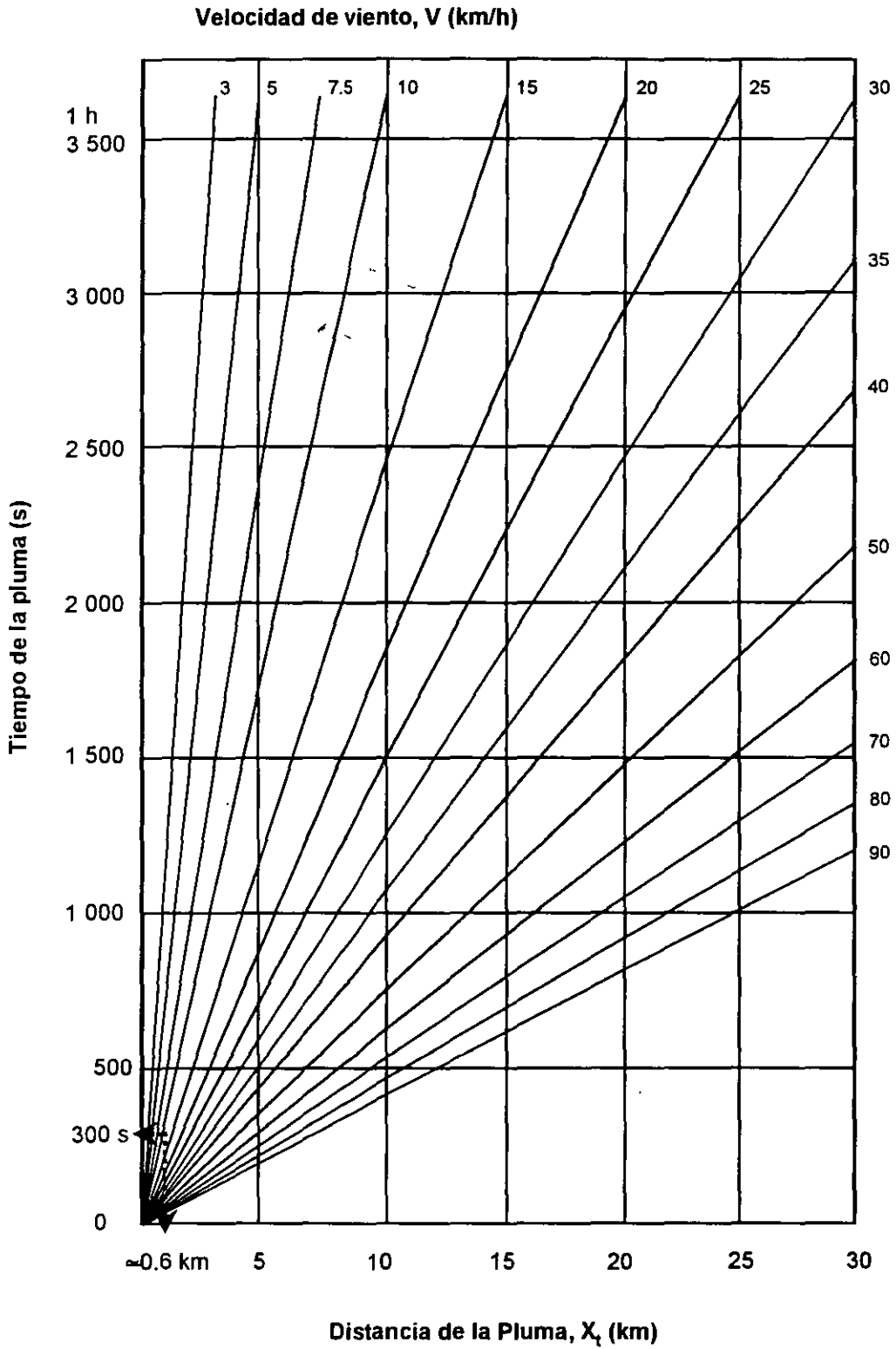


Figura 5.11 AREA DE RIESGO PARA REGULACION DEL VIENTO, PROBLEMA DE EJEMPLO

Viento U = 7.5 km/h hasta 315° (NW)

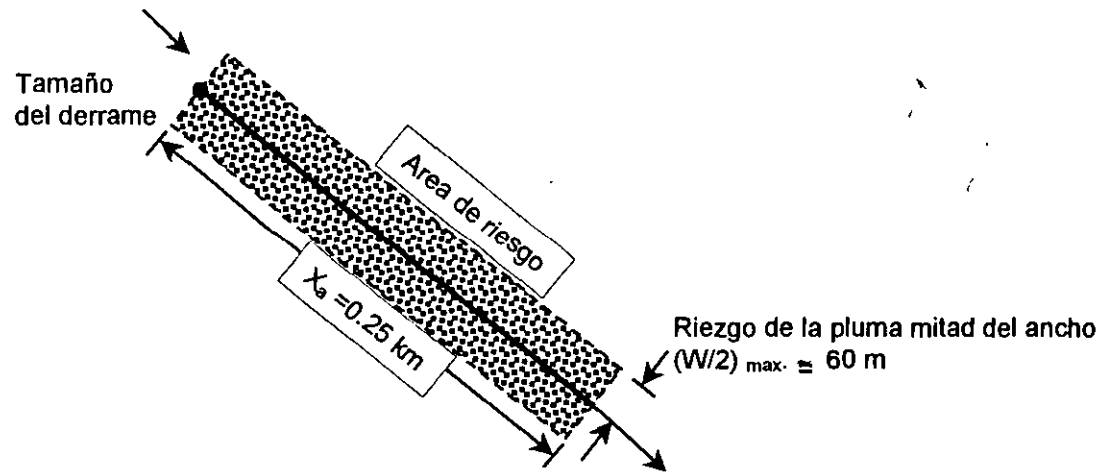


Figura 5.12 AREA DE RIESGO PARA DESREGULACIÓN DEL VIENTO, PROBLEMA DE EJEMPLO

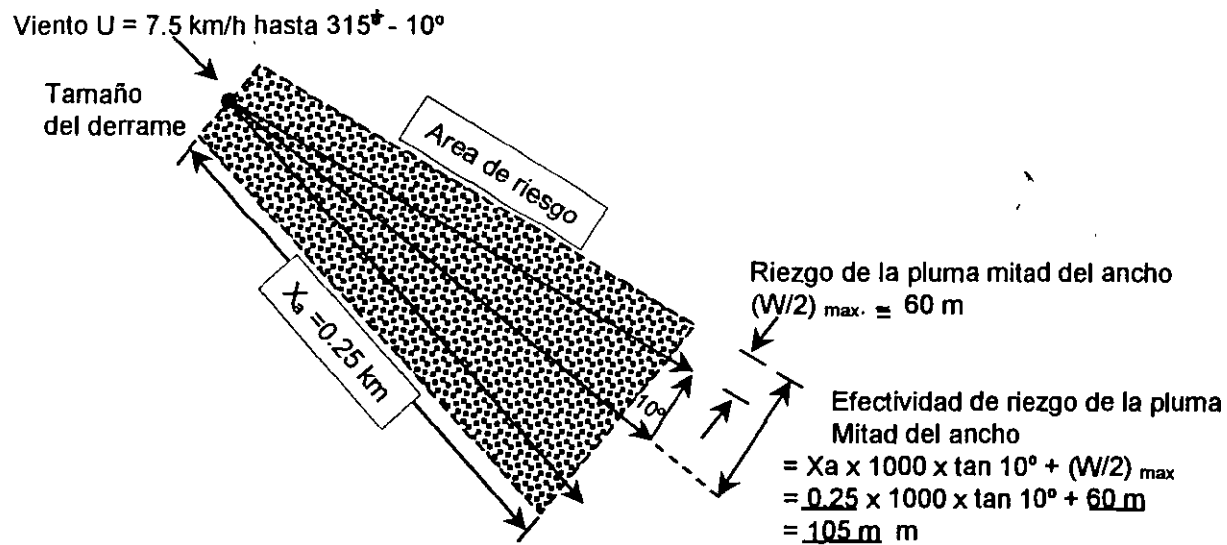


Figura 5.13 RADIO EQUIVALENTE VS TIEMPO (Sin movimiento-confinada)

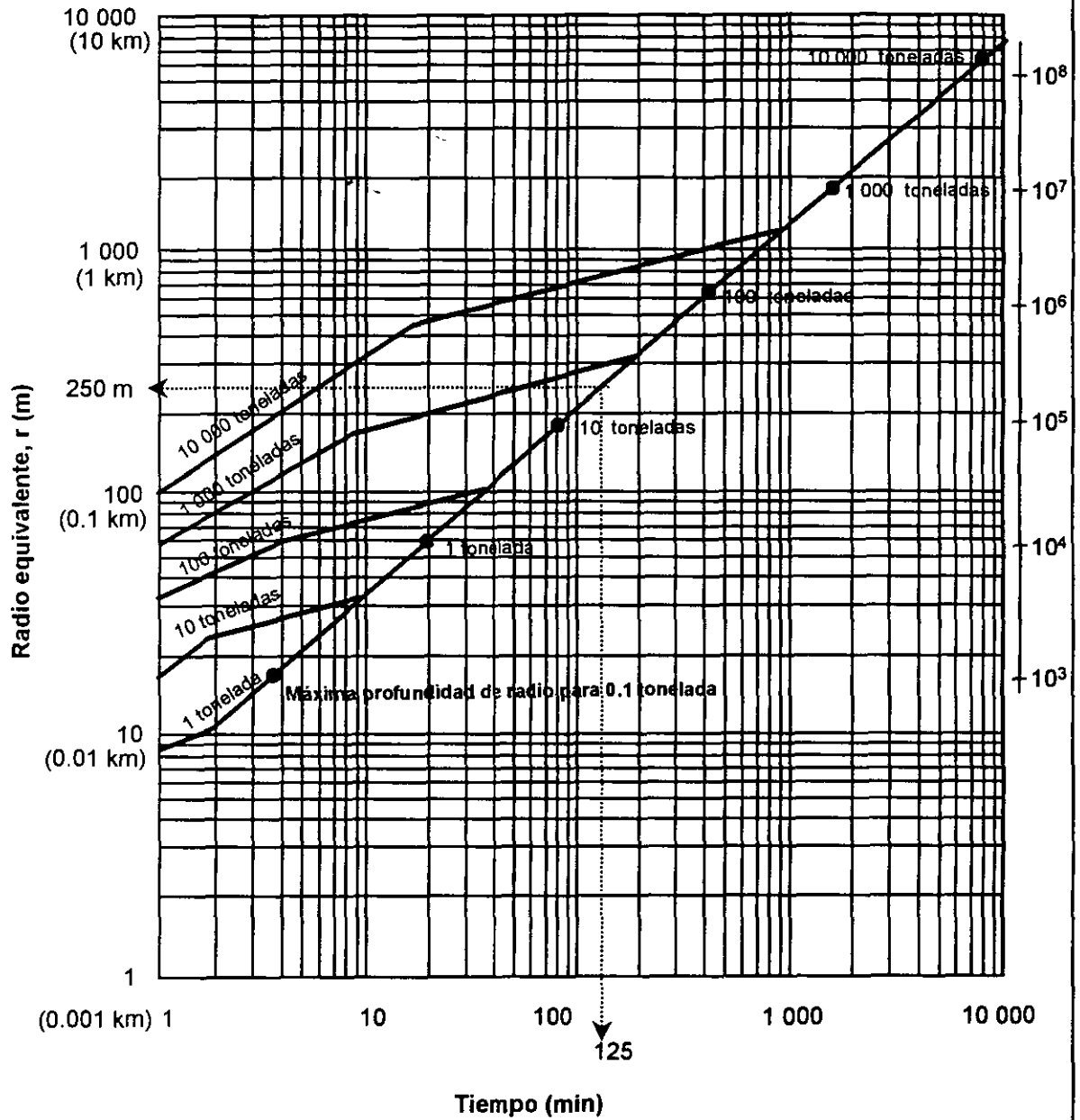


Figura 5.14 LONGITUD DE CANAL AFECTADO VS RADIO DE DERRAME (Sin movimiento-confinada)

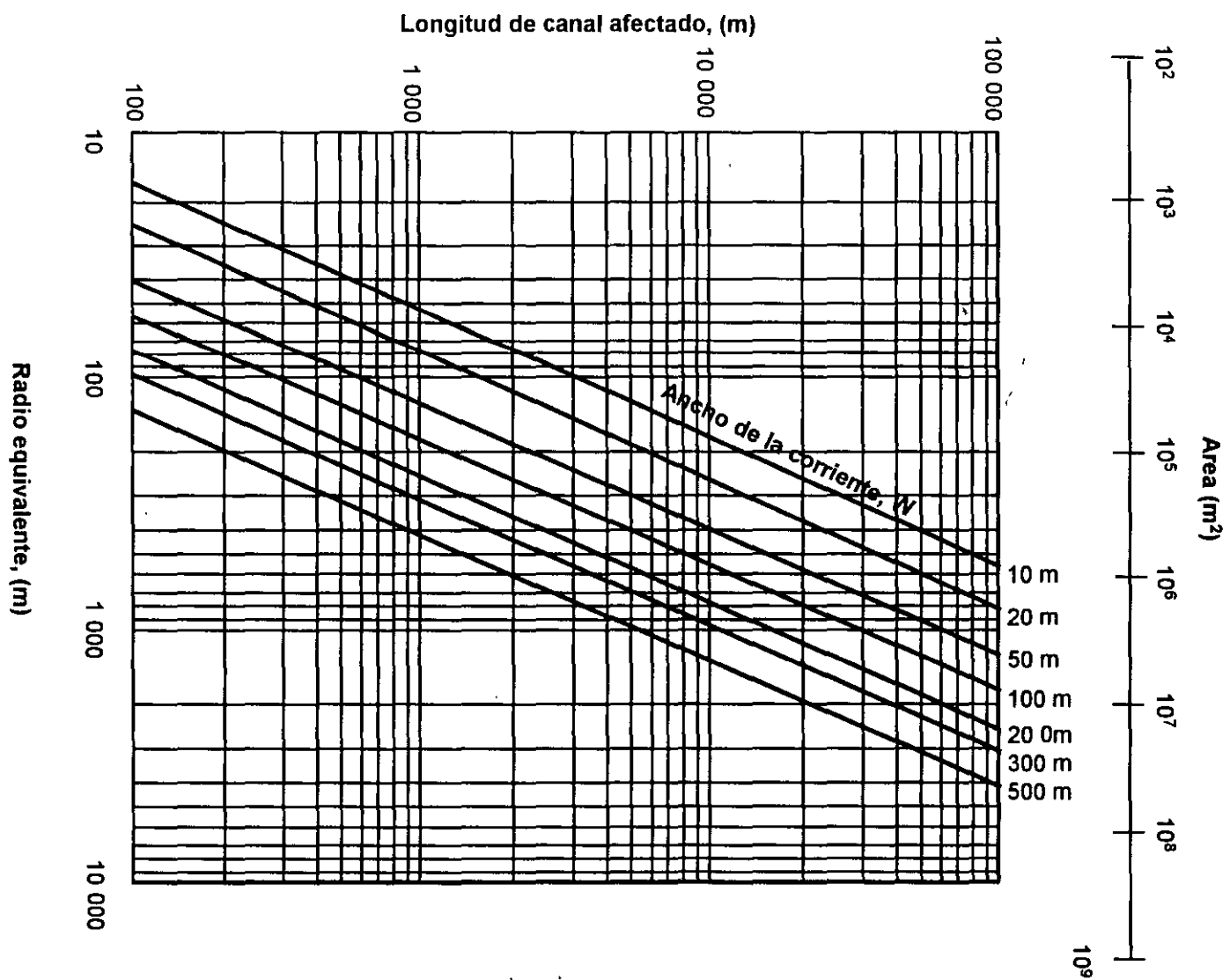


Figura 5.15 DISTANCIA DE TRASLACION (Sin viento)

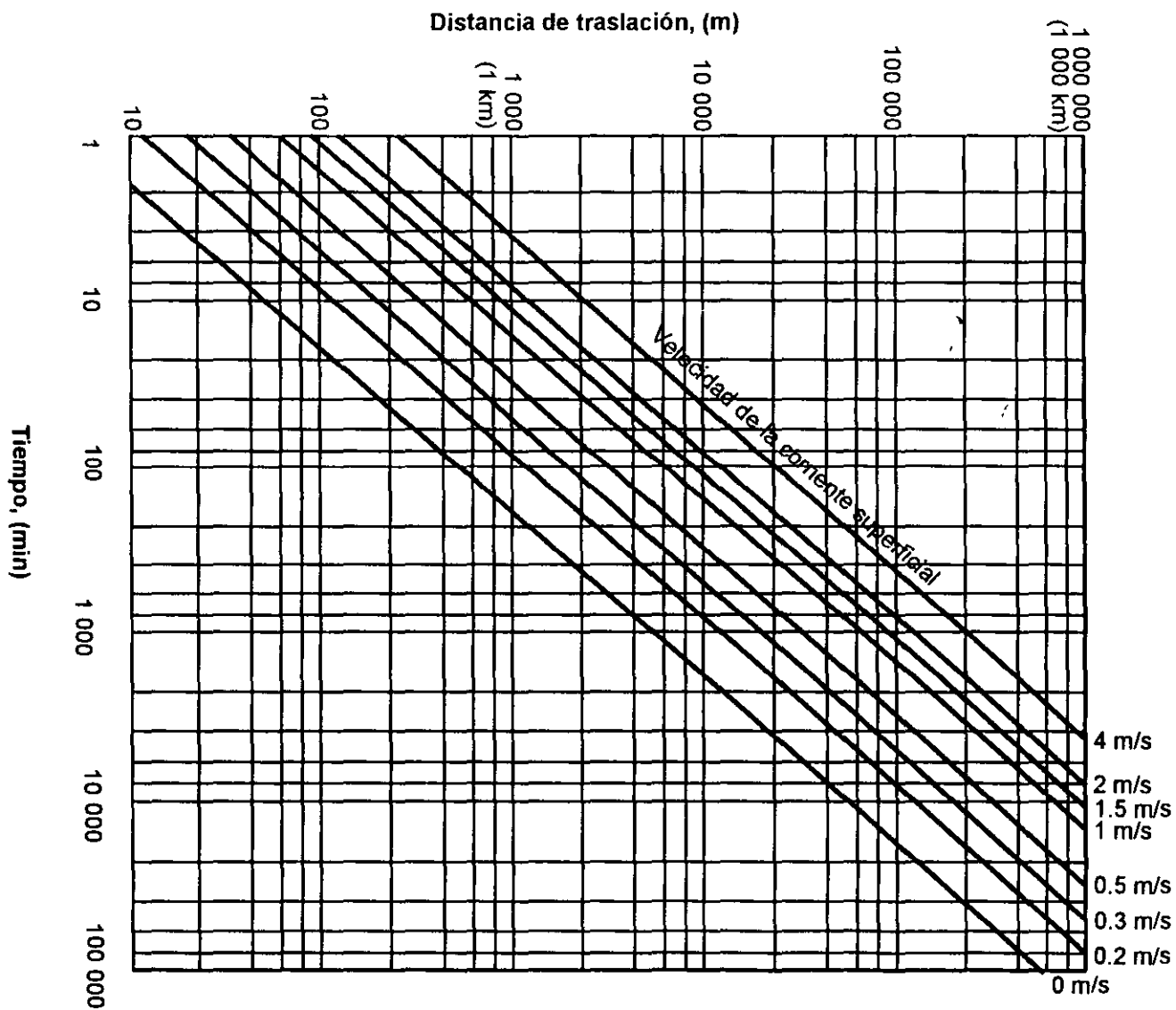


Figura 5.16 ADICION VECTORIAL DE LA CORRIENTE SUPERFICIAL Y DEL VIENTO

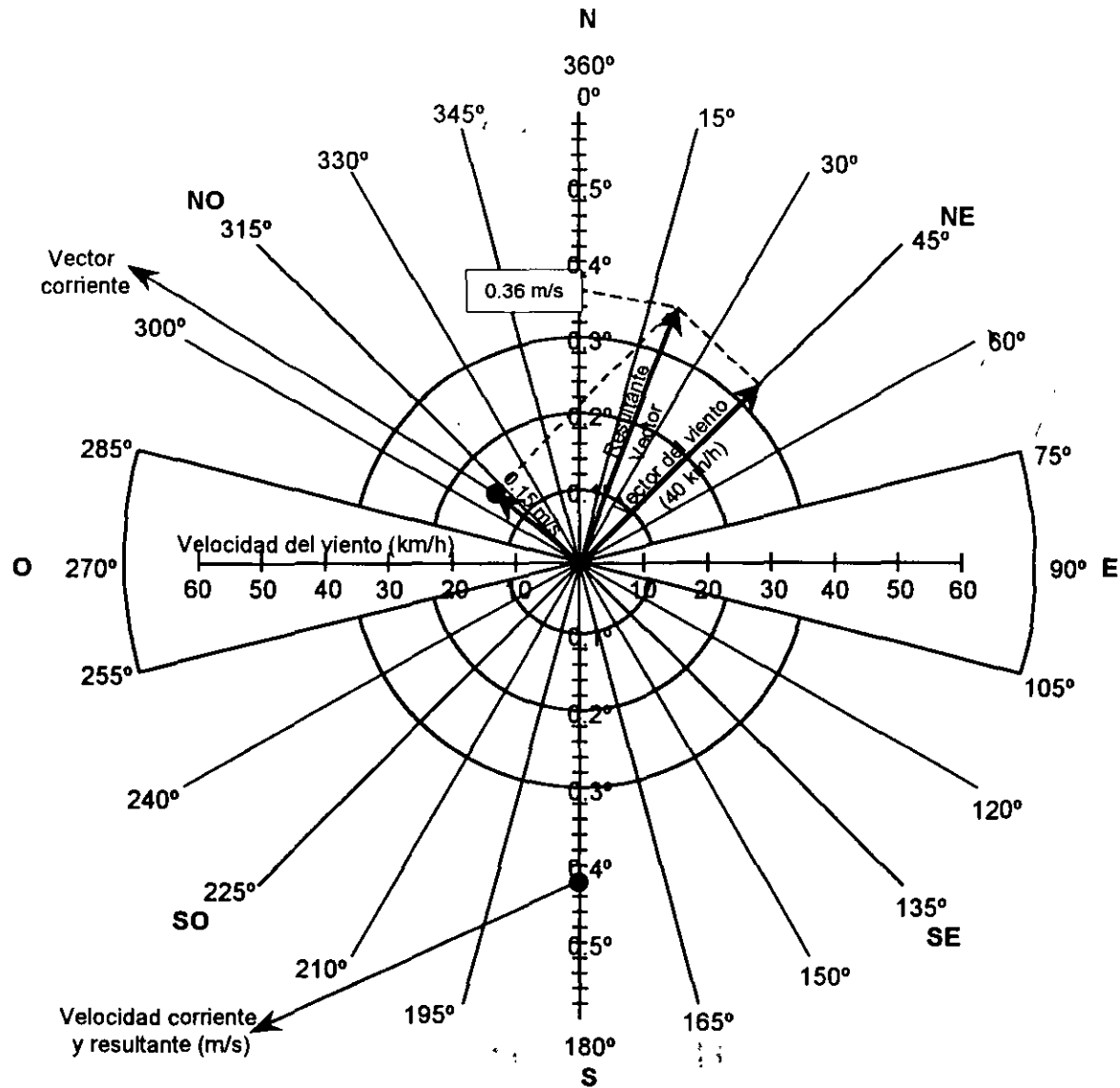


Figura 5.18 DIAGRAMAS DE FLUJO PARA USO DE NOMOGRAMAS

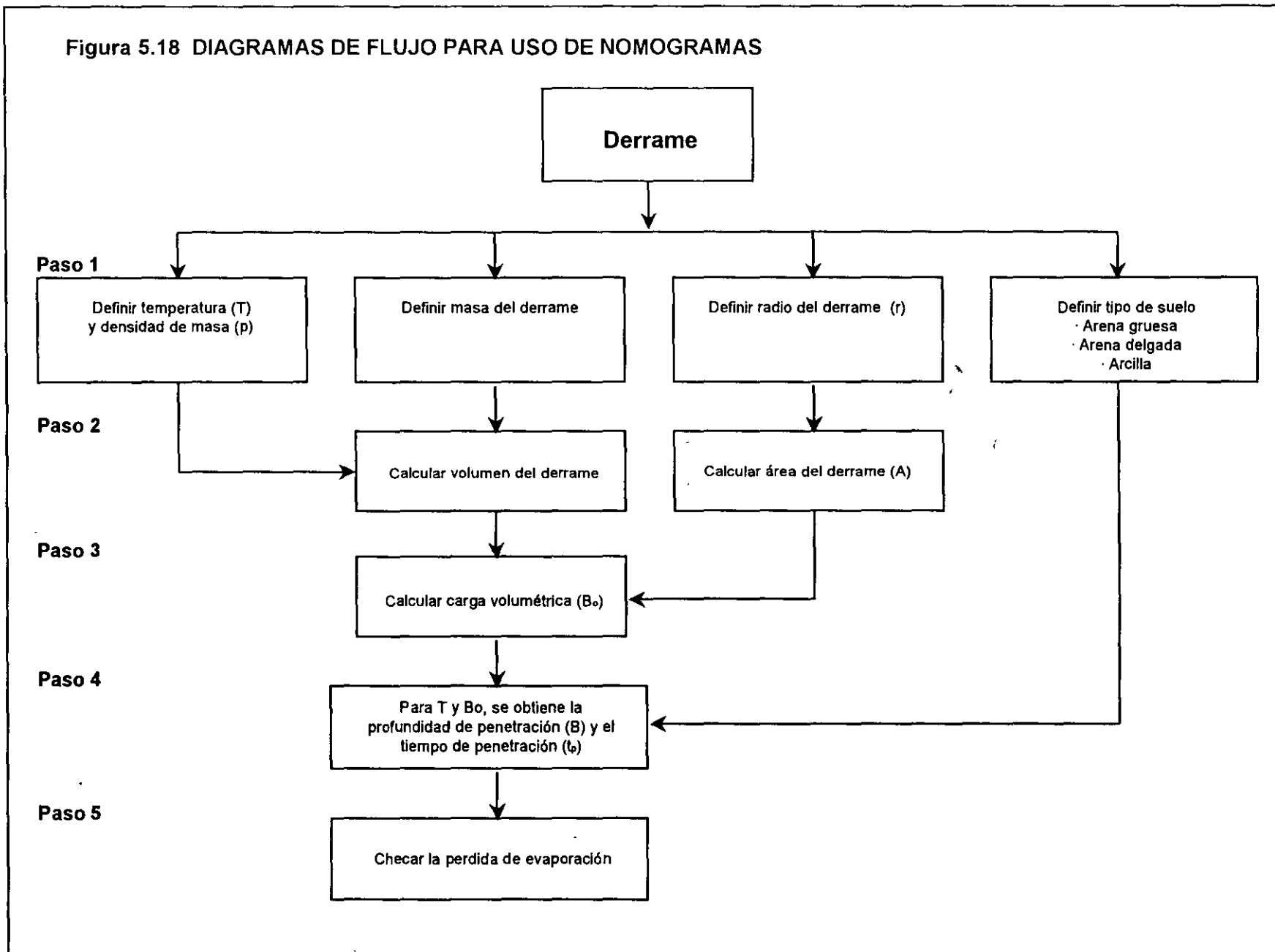


Figura 5.19 PENETRACIÓN EN ARENA GRUESA

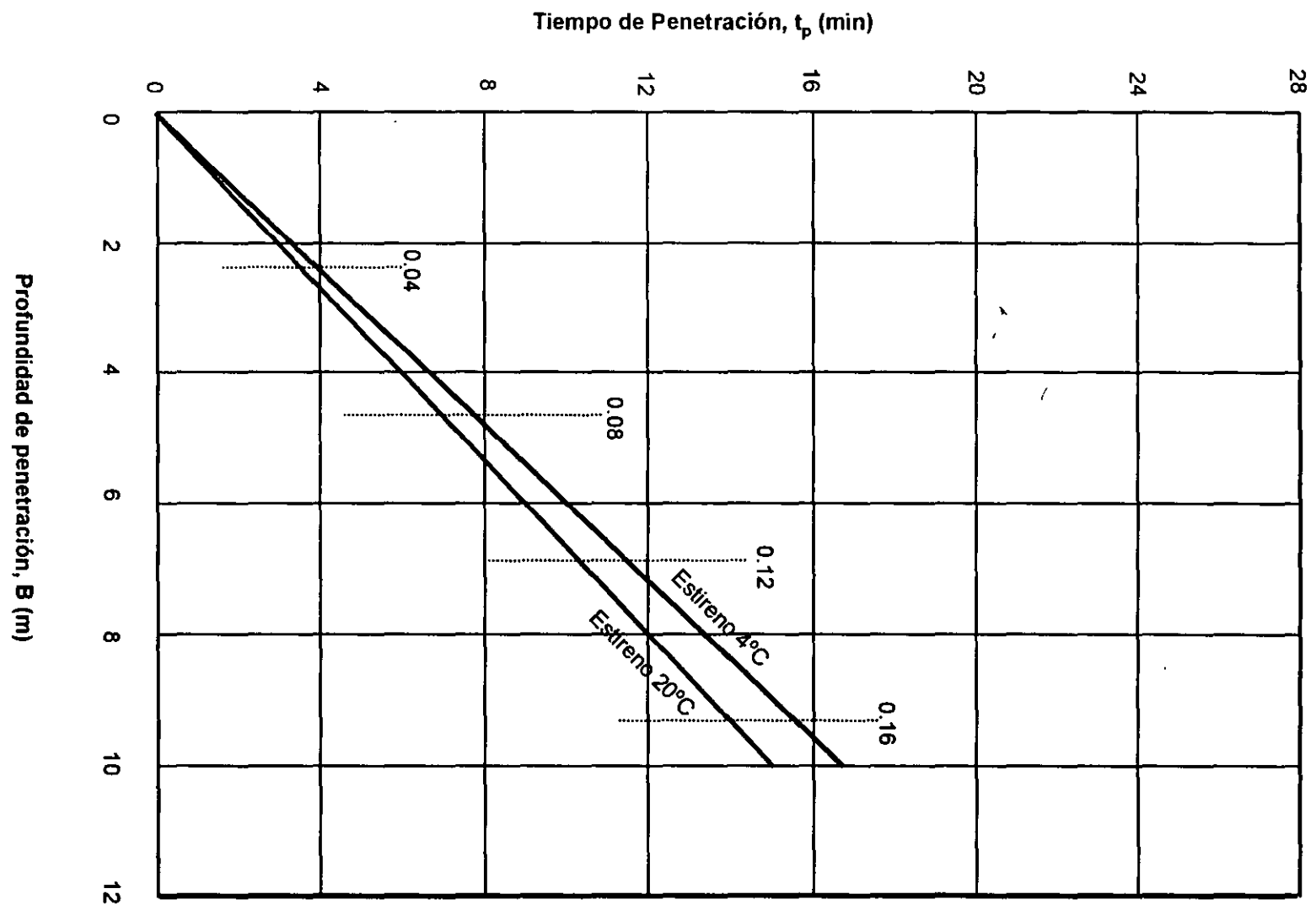


Figura 5.20 PENETRACION EN ARENA DELGADA

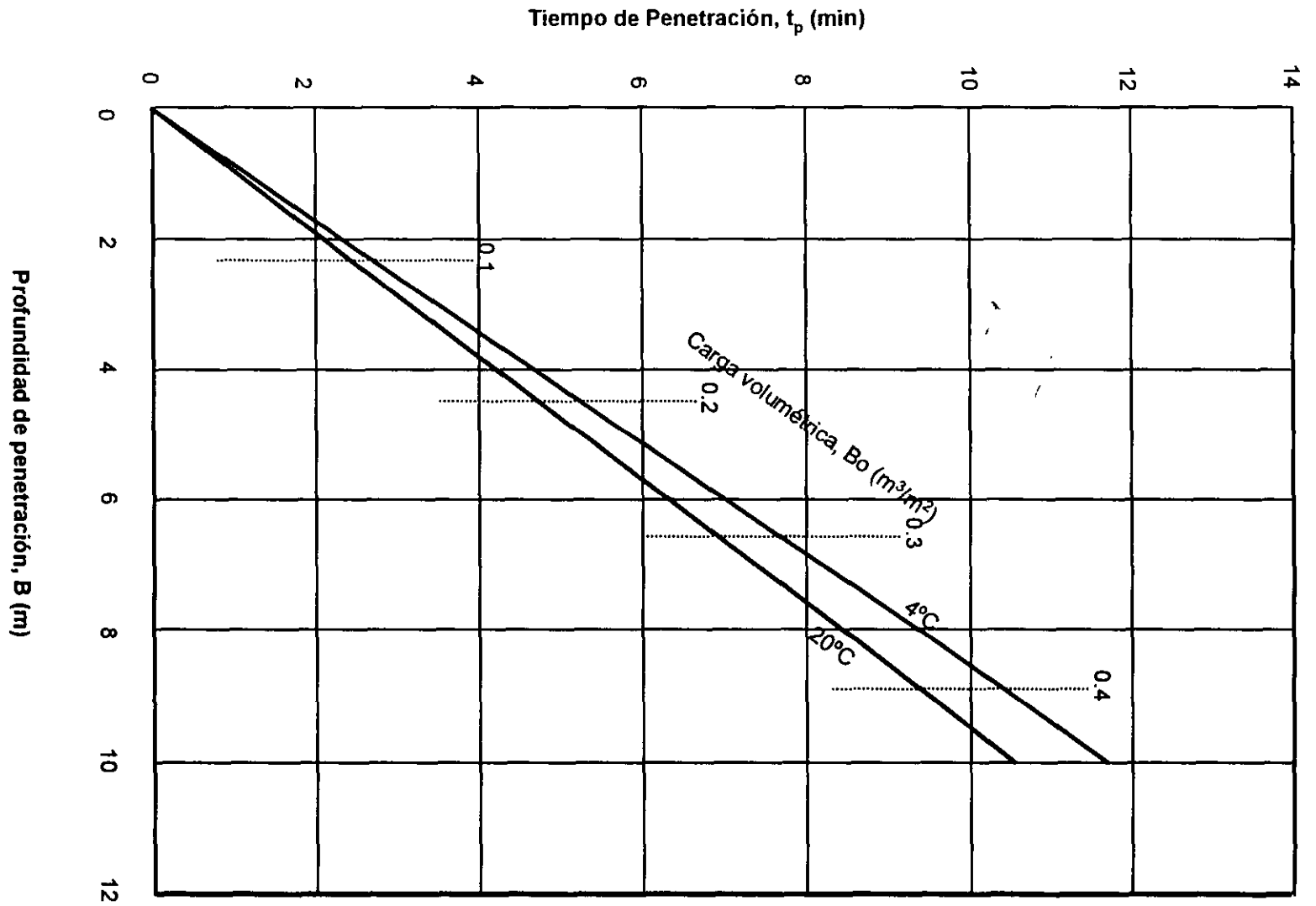
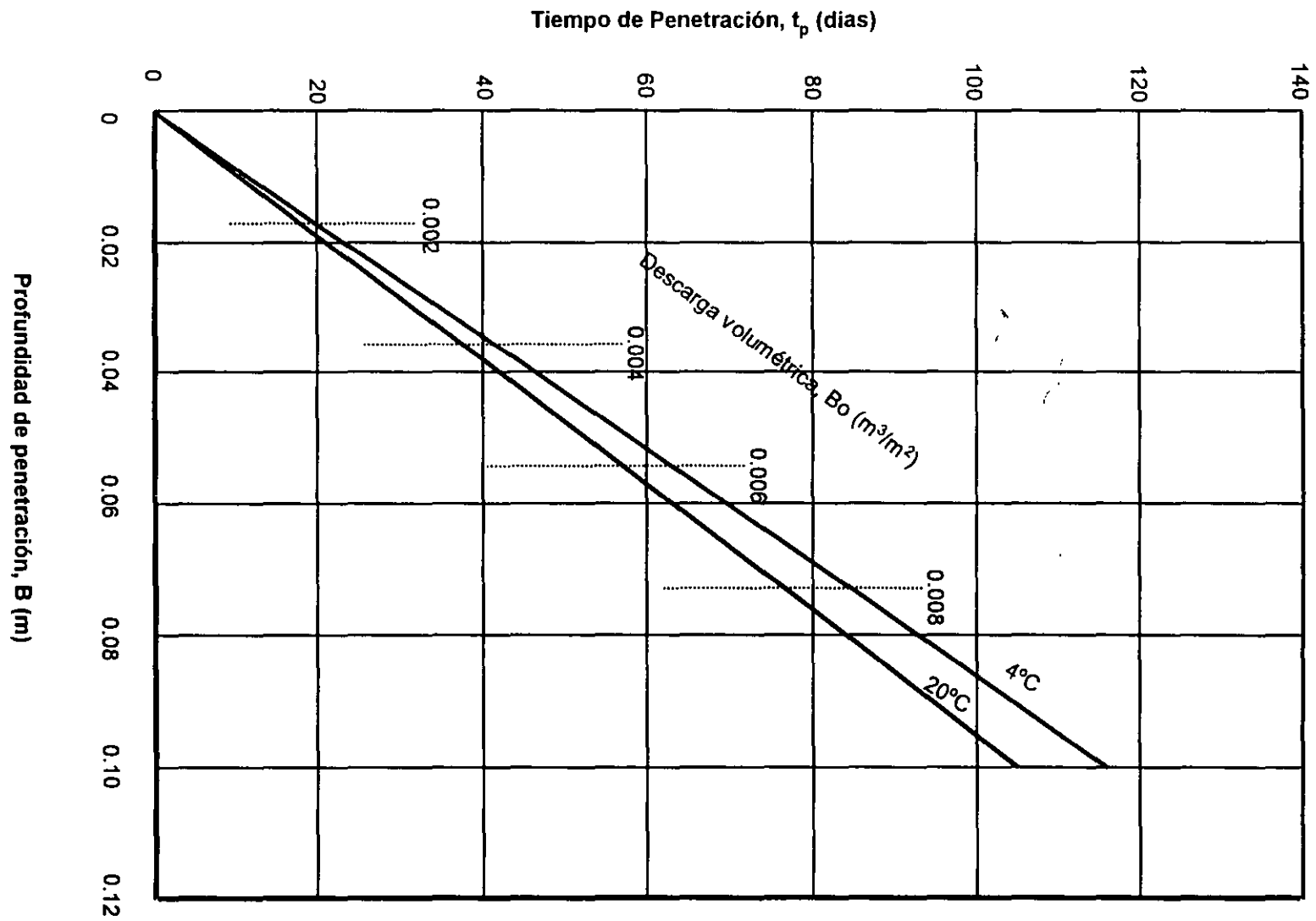


Figura 5.21 PENETRACION EN ARCILLA





**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

**DIPLOMADO INTERNACIONAL EN
RIESGO AMBIENTAL**

**MODULO III
CA 087**

**MÉTODOS DE ANÁLISIS Y CUANTIFICACIÓN
DE RIESGOS AMBIENTALES**

TEMA

ANEXO 3

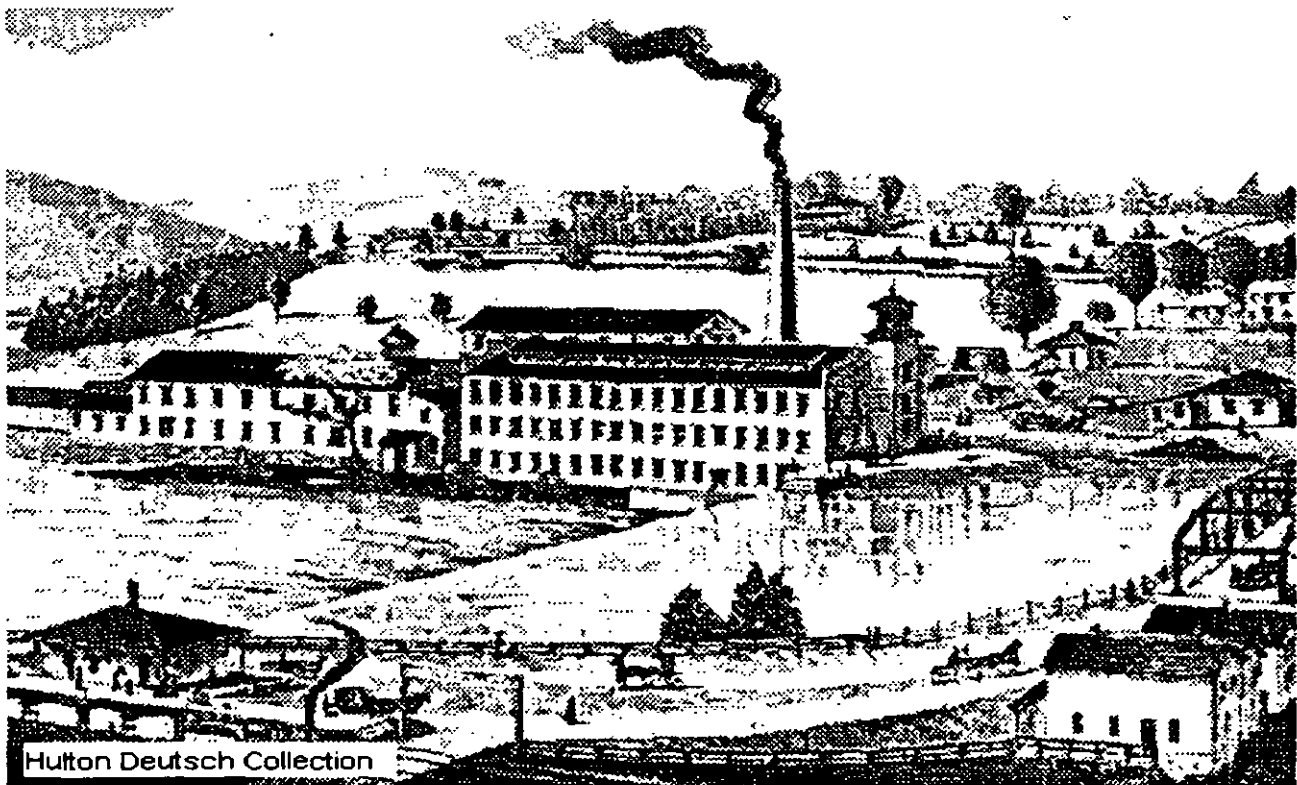
**RIESGO AMBIENTAL
(POR ACCIDENTES TECNOLÓGICOS GRAVES)**

**AUTOR: ING. MARTINIANO AGUILAR RODRÍGUEZ
EXPOSITOR: BIO. GABRIELA CEDILLO PONCE
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO DEL 2002**

RIESGO AMBIENTAL

(POR ACCIDENTES TECNOLOGICOS GRAVES)

Ing. Martiniano Aguilar Rodríguez



RIESGO AMBIENTAL
(POR ACCIDENTES TECNOLOGICOS GRAVES)

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento al Comité de Peritos en Riesgo Ambiental del Colegio de Ingenieros Mecánicos y Electricistas, A.C. (CIME), quienes siempre han colaborado en todas las tareas de ese Comité incluyendo esta obra.

Así mismo, agradezco a la Srita. Lourdes Galán su apoyo, paciencia y dedicación en la captura y sugerencias para la mejor conformación de esta obra.

El Autor

DEDICO ESTA OBRA A MIS HIJOS

María del Pilar

Lorena

Bernardo

Marty

y Danielita

RIESGO AMBIENTAL (POR ACCIDENTES TECNOLÓGICOS GRAVES)

CONTENIDO

| | <u>Pag.</u> |
|---|-------------|
| I. INTRODUCCION | 1 |
| 1. Génesis del Riesgo Ambiental | 1 |
| 2. El Riesgo Ambiental, un Area Interdisciplinaria | 4 |
| 3. Origen y Definición de Riesgo | 5 |
| II. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES | 9 |
| 1. Ecología y Riesgo Ambiental | 9 |
| 2. Marco Legal | 17 |
| 3. Tipos de Riesgos Tecnológicos Graves | 24 |
| 4. Conceptos Esenciales de Riesgos | 30 |
| 5. Ejemplos de Accidentes Tecnológicos Graves | 33 |
| 6. Instalaciones Típicas de Riesgo Mayor | 35 |
| III. CAUSAS DE RIESGOS TECNOLÓGICOS | 37 |
| POR SU ORIGEN | |
| 1. Introducción | 37 |
| 2. Riesgos por Errores Humanos | 38 |
| 3. Riesgos por la Electricidad | 66 |
| 4. Riesgos por Fallas Mecánicas | 86 |
| 5. Riesgos por Sustancias Químicas | 108 |
| 6. Riesgos Radioactivos | 120 |
| 7. Transporte de Materiales y Desechos Peligrosos | 131 |
| POR SU NATURALEZA | |
| 8. Ambientales (factores naturales) | 132 |
| 9. Errores de Diseño | 134 |
| 10. Fabricación | 137 |
| 11. Montaje, Ensamble | 138 |
| 12. Operación | 138 |
| 13. Actos Mal Intencionados | 139 |
| IV. MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS (MRP) | 140 |
| 1. Disposiciones Legales | 140 |
| 2. Programa para Minimización y Manejo de RP | 147 |
| 3. Prioridades de Atención | 152 |
| 4. Manejo y Tratamiento de RP | 154 |
| 5. Clasificación de MRP | 163 |
| 6. Bases para Control de RP | 167 |
| V. METODOS DE ANALISIS DE RIESGOS | 169 |
| 1. Análisis Preliminar de Riesgo (APR) | 169 |
| 2. Listas de Verificación (Check List) | 175 |
| 3. Qué pasa si . . . ? (What if . . .) | 187 |
| 4. Análisis Tipo HAZOP (Hazard and Operability Study) | 195 |
| 5. Análisis de Modos de Falla y Efectos (AMFE) | 208 |

| | |
|---|------------|
| VI. METODOS DE EVALUACION (CUANTIFICACION) DE RIESGOS | 223 |
| 1. Evolución de los Estudios de Riesgo | 224 |
| 2. Índice Dow (de Fuego y Explosión) | 246 |
| 3. Índice Mond (Fuego, Explosión y Toxicidad) | 253 |
| 4. Análisis de Arbol de Fallas/Eventos (AAF) | 262 |
| 5. Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad (AMFEC) | 286 |
| 6. Análisis de Consecuencias | 292 |
| 6.1 Principios de Meteorología | 292 |
| 6.2 Nubes Explosivas | 296 |
| 6.3 Modelos de Dispersión | 301 |
| 6.4 Grado de Afectación (nociva) | 313 |
| 6.5 Modelos de Simulación | 323 |
| VII. INSTRUMENTOS DE POLITICA Y GESTION AMBIENTAL | 338 |
| 1. Planeación y Política Ambiental | 338 |
| 2. Ordenamiento Ecológico del Territorio | 339 |
| 3. Instrumentos Económicos | 342 |
| 4. Regulación Ambiental de los Asentamientos Humanos | 344 |
| 5. Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) | 345 |
| 6. Normatividad en Materia Ambiental | 352 |
| 7. Autorregulación y Auditorías Ambientales | 353 |
| 8. Investigación y Educación Ecológicas | 356 |
| 9. ISO-14000 (Normas) | 361 |
| 10. Aseguramiento de Calidad | 371 |
| 11. Información Ambiental y Participación Social | 375 |
| 12. Etiquetado Ecológico (Logotipos, Sellos) | 380 |
| 13. Evaluación del Ciclo de Vida (ECV) | 385 |
| 14. Evaluación del Desempeño Ambiental (EDA) | 392 |
| VIII. PREVENCIÓN Y ATENUACIÓN DE ACCIDENTES INDUSTRIALES MAYORES (AIM) | 396 |
| 1. Causas de Situaciones de Riesgo y Peligro (Industriales) | 396 |
| 2. Elementos de un Sistema de Prevención de (AIM) | 399 |
| 3. Sistema de Prevención de AIM | 404 |
| 4. Prevención de las Causas de AIM | 409 |
| 5. Planeación para los Casos de Emergencia | 413 |
| 6. Programa de Prevención de Accidentes, PPA | 416 |
| 7. Programa (Interno) de Protección Civil | 422 |
| ANEXOS | |
| A-1 Índices de Fallas | 430 |
| Bibliografía | 435 |

RIESGO AMBIENTAL (POR ACCIDENTES TECNOLOGICOS GRAVES)

I. INTRODUCCION

1. GENESIS DEL RIESGO AMBIENTAL

El riesgo impregna toda la actividad humana; ni el hombre ni las organizaciones que crea pueden sobrevivir sin tomar riesgos. En un nivel, cada decisión o acción lleva algún riesgo de pérdida de:

- Prestigio
- Estatus
- Dinero
- Salud
- Libertad

En otro nivel, el hombre esta amenazado por:

- Enfermedades infecciosas
- Accidentes fatales
- Desastres económicos
- Desastres naturales.
- Trastornos políticos
- Efectos de degradación ambiental.

Simplemente no es posible evitar tomar riesgos; en cada decisión o acción humana, la cuestión no es si tomar o no un riesgo, sino cual riesgo elegir. Los individuos, organizaciones y gobiernos, confrontan esencialmente los mismos problemas en el manejo o gestión de riesgos.

El hombre primitivo estaba en armonía con su ambiente; fue solo hasta en generaciones mas recientes, que alentado por filósofos occidentales y las religiones cristianas, es que ha tendido a separarse de su ambiente y crear la noción que de alguna manera, el mundo y sus recursos han sido creados para su uso exclusivo.

Ha sido sólo en las últimas décadas y a través de la evidencia científica, que el hombre empezó de nuevo a identificarse con su ambiente.

En la actualidad, sabemos que nuestro mundo es un planeta frágil que podemos dañar irreparablemente, si no tenemos el cuidado apropiado; también sabemos, que éste cuidado es de mucha dificultad por:

- La presión del aumento de población.
- La demanda mundial de niveles de vida más altos, que únicamente pueden lograrse por el incremento de la industrialización.

Por lo anterior, las organizaciones internacionales, los gobiernos y el público, constantemente presionan a la industria para mejorar su:

- Salud
- Seguridad
- Ambiente

El hecho que el hombre no solo haya sobrevivido, sino que también se volvió una especie dominante, se debe primordialmente a que hayan evolucionado en él dos importantes atributos:

- Habilidad para comunicarse
- Inteligencia altamente desarrollada

A través de la habilidad para comunicarse, el hombre ha sido capaz de actuar colectivamente; mientras como individuo es relativamente indefenso e inefectivo, organizado es muy diferente. El hombre organizado, ha sido capaz de defenderse y alimentarse el mismo y explotar extensivamente los recursos de la tierra, más que cualquier otra especie.

Se argumenta, que mucho de lo que hace el hombre, es por las herramientas que usa y no suficiente por el lenguaje que emplea. También se cree, que el incremento en la actividad craneal e inteligencia, está muy asociada con la elaboración gradual del lenguaje.

El hombre ha sido capaz de anticipar e incrementar el control de su ambiente y destino a través de su:

- Inteligencia
- Habilidad para aprender por observación y experiencia
- Formar modelos conceptuales del comportamiento propio y ambiental

La sistemática y deliberada busca del conocimiento, llevó al surgimiento de la ciencia y la tecnología, resultando en los desarrollos técnico-sociales significativos del último siglo.

El hombre, ha demostrado su habilidad única de sobrevivir en circunstancias diferentes o cambiantes, por un proceso de adaptación del comportamiento y el uso de tecnología, en lugar de depender del proceso relativamente lento de evolución física; su forma y fisiología, ha cambiado muy poco en las últimas 100,000 generaciones.

El material y las ventajas sociales, que se han acumulado por el uso de la tecnología, han sido acompañados por un nuevo huésped hecho por el hombre, de peligros y amenazas a la calidad de vida y a la vida misma.

El hombre usa herramientas, maquinaria y vehículos que causan fatales accidentes, y fabrica materiales, productos y comestibles que son potencialmente peligrosos, y en el proceso, absorbe recursos de la tierra y crea sub-productos tóxicos y desechos radioactivos, en una escala que amenaza el ambiente y el ecosistema completo.

El uso continuo de agricultura moderna y tecnología industrial, podría tener efectos catastróficos sobre los sistemas ecológicos que soportan la vida; p.e.:

- Erosión y deforestación de la tierra
- Contaminación de ríos y océanos
- Disturbio del balance térmico en la atmósfera
- Posible daño a la capa protectora de ozono en la estratósfera

Paradójicamente, el proceso completo está movido por el instinto de supervivencia; los individuos buscan seguridad por el aumento de bienes materiales, mientras que las organizaciones, luchan por sobrevivir incrementando su flujo de caja neto.

En una economía capitalista, las compañías de bienes o servicios, deben invertir constantemente, en el desarrollo de bienes o servicios y nuevas tecnologías de manufactura si generan el flujo de caja y la confianza necesaria para evitar fallas, y no ser tomados por depredadores industriales. Inevitablemente, esto involucra tomar riesgos que pueden afectar o no a:

- Los accionistas
- El bienestar de los empleados
- Consumidores y sociedad

Es decir, que: "hay una impermanencia intrínseca en las organizaciones industriales".

Otras definiciones de riesgo establecidas por personas especializadas en el tema, son las siguientes:

- El potencial de consecuencias negativas no-deseadas, de un evento o actividad (Rowe, 1977);
- Una medida de la probabilidad y severidad de efectos adversos (Lowrance, 1976);
- Es la posibilidad de un resultado negativo. Para medir el riesgo, se deben medir ambos de sus componentes que lo definen: la probabilidad y la negatividad (Rescher, 1983);
- La estimación del riesgo, usualmente se basa en el resultado esperado de la probabilidad condicional, de las veces de ocurrencia de un evento por las consecuencias del evento dado que ha ocurrido (Gratt, 1987);
- Es cualquier resultado no-esperado o no-intentado, de una decisión o curso de acción (Wharton, 1992);
- Es la medida de un peligro, combinando una medida de la probabilidad ocurrencia de un evento indeseable, con una medida de sus efectos o consecuencias (Villermeur, 1991).

A través del tiempo un número de diferentes, algunas veces conflictivos y más recientemente complejos significados, se han atribuido a la palabra riesgo; ha sido desafortunado que una definición simple, relacionada en forma cercana a la interpretación medieval griega no haya prevalecido, una en la cual, se evita cualquier connotación de resultado favorable o desfavorable o la probabilidad o tamaño del evento.

En general, a lo largo de este trabajo se utilizará la palabra "riesgo", como la posibilidad de ocurrencia de un evento o efecto indeseable. En el caso de "evaluación de riesgo ambiental", implica la determinación de las tres variables principales siguientes, que influyen en los efectos ambientales adversos:

- Probabilidad de ocurrencia del evento indeseable.
- Naturaleza del riesgo.
- Magnitud del riesgo.

Es muy importante la formulación o identificación del problema, determinando:

- Cual es el elemento afectador, es decir si se trata de un disturbio físico o químico.
- Cuales son los puntos finales de evaluación, es decir, que es lo que debe ser protegido.
- Cuales son las fronteras del sitio.
- Cual es el modelo conceptual, es decir, la forma de representación entre la fuente y el receptor.

Por otra parte, la evaluación del riesgo es tan buena como los datos de entrada para realizarlo, por ejemplo:

- Es necesario que el laboratorio analítico tenga un buen control de calidad.
- Que el muestreo fue aleatorio o inclinado, hacia los lugares que se conocen están contaminados.
- Que las muestras representen los puntos finales de evaluación.
- Que las probabilidades de fallas sean representativas.

En la Fig. I-2, se muestra un flujograma de la cuantificación de riesgos.

Algunas definiciones de conceptos relacionados con riesgo, incluyen las siguientes:

Peligro.- Propiedad inherente de sustancias, actividades, productos, servicios o cosa, que le confiere la capacidad de poder causar efectos adversos al ambiente y/o seres humanos.

Accidente.- Evento que tiene o responsable de tener catastróficas consecuencias.

Incidente.- Evento que tiene o posiblemente tenga efectos o consecuencias críticas.

Seguridad (medición).- Probabilidad de que una entidad no cause, bajo condiciones dadas, eventos críticos o catastróficos.

Seguridad (comportamiento).- Habilidad de una entidad de no causar eventos críticos o catastróficos, bajo condiciones dadas.

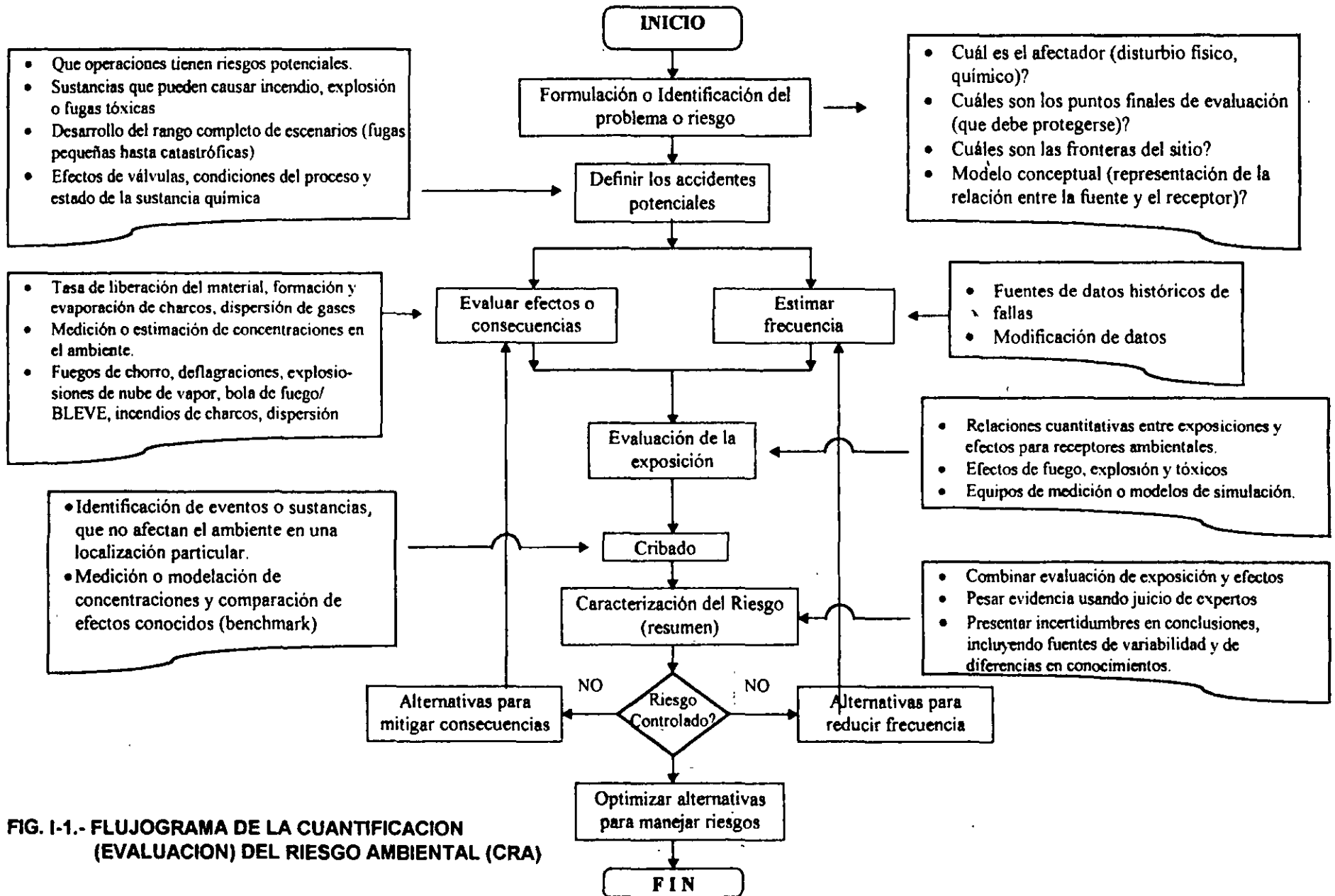


FIG. I-1.- FLUJOGRAMA DE LA CUANTIFICACION (EVALUACION) DEL RIESGO AMBIENTAL (CRA)

II. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

1. ECOLOGIA Y RIESGO AMBIENTAL

1.1 Ecología

El estudio de las acciones recíprocas entre sistemas vivos y su ambiente, constituye la "Ciencia" de la Ecología.

Se define a la "Ciencia", como el conjunto de conocimientos adquiridos, por métodos basados en la comprobación de observaciones.

La separación de la ciencia en categorías o disciplinas como la biología, la química y la física, no se basa en una división natural de conocimientos, sino mas bien en la actitud de los hombres de ciencia.

La actual preocupación general por los problemas del ambiente, esta presionando para modificar algunas de las "Modas Establecidas", para crear una disciplina de la ciencia del ambiente.

La ecología, enfrenta una situación esencialmente dinámica y presente. A la fecha, la ecología no es una ciencia desarrollada, aunque con la base experimental y teórica de que dispone, sí tiene posibilidades de efectuar previsiones, especialmente de los "Riesgos" o peligros que acechan al ambiente y a la vida misma.

Individualmente, la planta o el animal no pueden existir como entidades aisladas, sino que dependen del ambiente, es decir, tienen que ingerir alimentos, agua y minerales, eliminar desperdicios y mantener una temperatura adecuada.

Considerados conjuntamente, los organismos vivos y la materia inerte, con la que interactúan en reciprocidad, constituyen los ecosistemas. El concepto de ecosistema, no implica una clasificación de la biosfera en unidades o límites definidos, sino que en cada caso el ecólogo deberá establecer los límites más adecuados, para el estudio del problema concreto que se plantee.

La Biosfera, es el espacio del planeta ocupado por los seres vivos; también se define como el conjunto de seres vivos que habitan la tierra en la atmósfera, sobre los continentes o en las aguas.

Debido a que el estudio de la biosfera en su conjunto, así como el de sus interacciones, es para propósitos prácticos casi imposible, se diseñó la unidad de menor tamaño conocida como Ecosistema, que es una unidad funcional de la biosfera. El ecosistema, es un conjunto o sistema complejo, formado por una trama de elementos físicos o escenario físico de la vida (biotopo) y elementos biológicos o comunidad de organismos (biocenosis).

Se define a la Población como el conjunto de individuos de la misma especie, en un ecosistema.

Al conjunto de poblaciones que habitan en el mismo medio, se le conoce, como Comunidad.

De acuerdo con lo anterior, el ecosistema está constituido por dos componentes:

- La biocenosis o parte viva que la habita, formada por las poblaciones vegetales y animales.
- El biotopo o parte inanimada, que funciona como soporte y donde actúan los factores abióticos, que determinan las características físico-químicas del medio.

El funcionamiento y conservación del ecosistema, se realiza por medio de las interacciones recíprocas entre el biotopo y biocenosis, a través de los flujos de:

- Energía
- Materia

En la medida en que la energía se capta y se transfiere a mayor número de especies en los ecosistemas, mayores serán su:

- Estabilidad
- Madurez
- Equilibrio
- Organización
- Complejidad

Los ecosistemas, tienen mecanismos de autorregulación capaces de resistir (dentro de límites razonables), modificaciones y variaciones bruscas internas o externas, como la explotación o exportación de materia viva, que incluye transferencias de energía y de información.

La explotación del ecosistema puede ser por fenómenos físicos o naturales como fuego, erosión, inundación, etc., o bien por el hombre (antropogénico), desarrollando ecosistemas agrarios e industriales, que extraen de forma consciente biomasa y energía, además de la producción de contaminación. Adicionalmente, hay muchas actividades humanas que afectan a los ecosistemas produciendo:

- Erosión del suelo
- Desertización
- Desforestación
- Incendio
- Intoxicación y muerte de flora y fauna
- Contaminación de masas de agua, etc., etc.

La ecología, puede considerarse como la biología de los ecosistemas. Comprende, desde el estudio de las relaciones elementales entre especies, o entre una especie y factores del medio físico, hasta la consideración de los ecosistemas como totalidades.

La explotación de un determinado ecosistema por el hombre, afectará inmediatamente a una serie de características estructurales y funcionales del ecosistema. Se producirá una desviación de parte del flujo energético, con lo que las disponibilidades de energía, a partir de un determinado nivel trófico, se verán profundamente alteradas.

Una perturbación en un punto cualquiera de la red tenderá a propagarse, produciendo alteraciones en zonas alejadas de ésta. La respuesta global del ecosistema a la alteración, consiste en una reorganización, que afectará a diversas propiedades estructurales y funcionales del propio ecosistema. Aquí, el **RIESGO** es la destrucción o muerte de ecosistemas.

1.2 Cadenas de Alimentos

La tierra, en su desplazamiento a través del espacio, intercambia muy poca materia con el resto del universo, por lo que para todo fin práctico, la vida empezó en este planeta con una cantidad determinada de materias primas. Hay cantidades finitas de elementos diversos, por ejemplo, de oxígeno, nitrógeno, carbono, hidrógeno e hierro. La forma química y la situación física de cada elemento pueden cambiar, pero no puede cambiarse su cantidad. En contraste, la Tierra está recibiendo continuamente energía del Sol y seguirá haciéndolo en el futuro, sin embargo, hay dos limitaciones al empleo de la energía solar.

Primero, una gran parte de ella es utilizada simplemente para calentar la Tierra, hasta una temperatura a la que pueda existir la vida y, en segundo lugar, la cantidad de energía recibida diariamente es limitada. No obstante, la energía puede almacenarse en la Tierra en diversas formas y ser utilizada más adelante.

Tanto las plantas como los animales, necesitan materias primas (materia) y energía para vivir. Las plantas, utilizan materias simples y energía solar, para sintetizar compuestos orgánicos que almacenan energía. Luego, los animales consumen estos productos vegetales, como fuente tanto de materia como de energía.

Las plantas, se caracterizan por la capacidad de convertir las materias primas, bióxido de carbono y agua, en sustancias orgánicas, con la ayuda de la energía obtenida de la luz solar. Este proceso, se designa como **fotosíntesis**. El aspecto importante a retener aquí, es que las materias primas utilizadas son pobres en energía almacenada, en tanto que los productos de la fotosíntesis son ricos en energía.

1.3 Ambiente

El ambiente se define por el diccionario como:

“Elemento en que vive o se mueve una persona, animal o cosa”.
“Conjunto de circunstancias físicas, culturales, económicas y sociales que rodean a las personas y a los seres vivos”.

El ambiente es el entorno vital, es decir, el conjunto de factores abióticos (físico-naturales, estéticos, culturales, sociales y económicos) y de factores bióticos (parasitismo, predación, competencia, etc.), que interactúan entre sí, con el individuo y con la comunidad en que vive, determinando su:

- Forma
- Carácter
- Comportamiento
- Supervivencia

El ambiente tiene más amplitud que el ecosistema, porque además de los factores físico-naturales del biotopo, incluye factores perceptuales y socioeconómicos, inherentes a la presencia del ser humano.

El concepto de ambiente incluye directamente al hombre como especie, porque se concibe no solo como lo que rodea al ser humano, sino también incluye el factor tiempo, es decir, el uso que de ese espacio hace la humanidad, con referencia a la herencia cultural e histórica.

1.4. Riesgo y Ambiente

1.4.1. Los riesgos por la generación y uso de energía

A pesar del desarrollo de nuevas energías, de la energía nuclear y del ahorro de energía, habrá un crecimiento considerable en la utilización de combustibles fósiles, pues se prevé un consumo doble de carbón y de petróleo cada 8 ó 10 años.

Algunas de las mayores consecuencias para el ambiente, son las siguientes:

- Las emisiones de CO₂ (bióxido de carbono) van a continuar, y en cantidades crecientes: el contenido medio de bióxido de carbono podría duplicarse en 40 ó 50 años, lo que podría aumentar la temperatura de la Tierra de 3° a 10°C, según latitudes, modificando profundamente los climas y los niveles del mar.
- Las zonas de explotación de minas o de pozos de petróleo van a multiplicarse: se incluirán zonas frágiles o hasta ahora protegidas; esta presión sobre áreas vírgenes, será acrecentada por la búsqueda de lugares, aptos para el almacenamiento de residuos químicos y radiactivos. La proliferación de minas de carbón a cielo abierto, podrá tener graves consecuencias sobre el estado del suelo.

- La combustión del carbón: además del bióxido de carbono y de las partículas, dejará también trazas de metales pesados (de los cuales algunos pueden ser cancerígenos) y de dióxido de azufre, y se acrecentará la acidificación del suelo en grandes superficies (lluvias ácidas).

El desarrollo de nuevas energías, va a propiciar una toma de conciencia de los problemas específicos de éstas nuevas energías, respecto al ambiente: ruido en las eólicas, contaminación del agua en las geotérmicas, ocupación de territorio en las plantas de energía solar, impacto en los cursos de agua en el caso de centrales hidroeléctricas, etc. Por esto, pueden presentarse rechazos de las nuevas energías en nombre del ambiente.

Por otra parte, el desarrollo de la agro-energética, puede entrar en conflicto con la agro-alimentaria, en el sentido de que afectan a suelos cultivables, lo que puede conducir a la puesta en marcha, y eventualmente a una sobre-explotación, de terrenos actualmente no cultivados.

La industria energética de origen nuclear, tendrá mayores problemas con el almacenamiento y el transporte de los residuos, y con el desmantelamiento de plantas, al final de su vida operativa.

Por lo anterior, la presión energética hará difícil la consideración de los componentes ambientales en ésta área.

Con el encarecimiento de la energía, se prevé que ciertas tecnologías o procesos de producción, más económicos en recursos como el reciclado, recuperación, etc., que actualmente no son rentables, lo serán en el futuro. De aquí la importancia que tiene estimular las investigaciones al respecto. Algunos de los riesgos al ambiente incluyen:

- Accidentes nucleares, que en el caso del ambiente tienen efectos directos sobre él.
- Riesgos asociados a los múltiples cambios y transportes en materia de energía: los transportes de productos radiactivos, los barcos metaneros, los barcos petroleros y los oleoductos pueden dar lugar a accidentes graves.
- La producción de energía, requiere un equilibrio entre riesgos probables, pero de consecuencias limitadas, en tanto no se sobrepasen ciertos límites (combustibles fósiles), y riesgos poco probables, pero con consecuencias mayores a corto y largo plazo (nuclear).

1.4.2. La contaminación de origen industrial

La presión externa, obliga a realizar esfuerzos de especialización industrial. Los países desarrollados, tienden a especializarse en producciones con alto valor agregado y bajo consumo de recursos energéticos y materia prima; esto ocasiona que las industrias base, con frecuencia las más contaminantes, por razones económicas van a continuar su traslado de países del Norte a países del Sur. En el Norte, solo se acentuara la contaminación unida al consumo, pero en el Sur, en

que los países tienen problemas demográficos importantes, habrá el riesgo que los problemas ambientales pasen a un segundo plano, como un lujo inaccesible.

Debido a la especialización, el movimiento se dirigirá a los países del Sur, menos desarrollados. Más allá de los problemas de empleo, éstas reestructuraciones y traslados industriales (química de base, automóvil, metalurgia férrea, mecánica, etc.) van a introducir en el Sur problemas del ambiente.

El proceso de automatización total de la producción, junto con la revolución de los micro-procesadores, representa una nueva oferta en la distribución de ventajas comparativas, que puede variar de nuevo el reparto internacional del trabajo (por ejemplo, el retorno al Norte de los sectores textil y del automóvil), de forma que hay incertidumbre, sobre la localización futura de las actividades industriales mundiales, y sobre la naturaleza de las contaminaciones correspondientes.

El potencial de descentralización de los micro-procesadores, responde a ciertas aspiraciones sociales y a necesidades socioeconómicas, pero puede también conducir a una industrialización excesiva del campo.

La multiplicación de las especialidades químicas y la producción de bienes de equipo, hará que aumente la presencia de micro-contaminantes; potencialmente cancerígenos y causantes de mutaciones en el ambiente (aguas superficiales y subterráneas, mar, aire, cadenas alimenticias, etc.).

Cuando están implicadas sustancias altamente tóxicas, no es exagerado hablar de "gran riesgo tecnológico", como han sido los casos de contaminación de varias ciudades.

1.4.3. Problemas futuros importantes por la industria.

a) Desequilibrio planetario:

- Modificación de la composición de la atmósfera, por deforestación y por emisión de gases de origen industrial.
 - Recalentamiento del planeta y elevación del nivel del mar, lo que implica inundación de zonas, con frecuencia ocupadas por industrias.
 - Alteraciones de la capa de ozono en la alta atmósfera, lo que implica mayor entrada (sin protección) de las radiaciones ionizantes, procedentes del sol.
- Entrada de productos extraños, como plaguicidas o metales pesados en las cadenas tróficas.

b) Aumento de los productos de origen industrial en el ambiente.

- Los metales pesados, microcontaminantes, nitratos, hidrocarburos, plaguicidas, etc., son consecuencia de una actividad industrial intensa, que provoca su presencia en los alimentos y en el agua, y su aparición en los animales y en el humano, con los consiguientes efectos carcinógenos y mutágenos.

c) Aumento de actividades, productos y residuos de alto riesgo.

- Industria química: genera grandes cantidades de productos de alto riesgo, con actividades de alto riesgo y con producción de residuos de alto riesgo.
- La actividad petrolera se multiplicará, junto con los accidentes y catástrofes (derrames, conflictos locales, naufragios, etc.).
- La energía nuclear seguirá aumentando, junto con el riesgo correspondiente de la gestión de sus residuos.

1.4.4. El ambiente como factor del desarrollo empresarial.

En los últimos años, se han visto grandes transformaciones de la industria en sectores como la energía, informática, agricultura y transportes, y al mismo tiempo, el ambiente tiene una gestión institucional muy retrasada. Como solución a esta problemática, será fundamental:

- Explotar la parte económica de las actividades ambientales.
- Explotar sus valores socio-culturales.
- Considerar el patrimonio ambiental como reserva de futuro.
- Considerar los aspectos sociales de las actividades ambientales.
- Prevenir, antes que corregir o efectuar controles.
- Reciclado interno y externo.
- Luchar contra el uso ineficiente energético o de materias primas.
- Buscar y utilizar tecnologías limpias.
- Realizar las evaluaciones de impacto ambiental.
- Realizar auditorías ambientales.
- Realizar estudios de prospectiva ambiental.
- Crear mas empresas especializadas en actividades ambientales.

1.4.5. Previsiones básicas de futuro.

a) Energía

- Encarecimiento de la energía.
- Crecimiento lento del consumo.
- Desarrollo de sistemas económicos de ahorro energético.
- Las estructuras de producción y de consumo funcionarán con mucha inercia.
- Las energías alternativas tendrán un % mínimo del sector en el futuro próximo.
- Desarrollo de la energía de origen nuclear en algunos países.
- Montaje de supergeneradores en varios países.
- Desarrollo de los hidrocarburos.
- Avances técnicos en el almacenamiento de energía.
- Mejoras tecnológicas.
- Accidentes nucleares.
- Avances en la fusión nuclear.
- Avances en la gasificación del carbón.
- Descubrimiento de mas yacimientos de petróleo.

b) Industria

- Especialización
- Reestructuración y reconversión industrial en diversos sectores.
- Desarrollo y exportación de tecnologías y bienes de equipo para actividades ambientales.
- Desplazamiento de industrias contaminantes hacia los puntos de producción de sus materias primas.
- Desarrollo intenso del reciclado y de la recuperación.
- Desarrollo de tecnologías de producción, de bajo consumo de materias primas y de energía.
- Desindustrialización de algunos países.
- Desequilibrio industrial muy acentuado Norte-Sur en muchos países.
- Gran desarrollo de las bioindustrias.
- Retorno a su origen de ciertas actividades industriales.
- Proliferación de accidentes mayores.
- Industrialización de las zonas costeras a nivel mundial.
- Desarrollo de ecoindustrias agrarias.
- Saturación del parque de automóviles en muchos países.

2. MARCO LEGAL

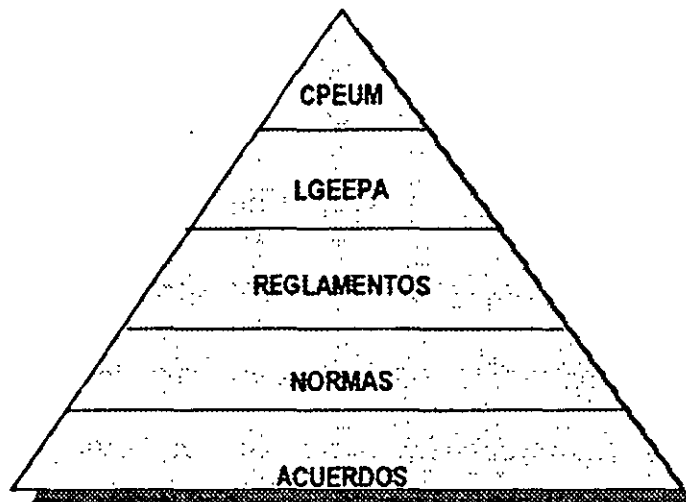
La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), establece la necesidad de cumplir con normas (NOM) específicas de seguridad, cuando las operaciones impliquen un Riesgo potencial para el ambiente.

Las actividades, que por su naturaleza constituyen un Riesgo potencial para el Ambiente, se determinan por:

- El carácter de los materiales que se manejan de acuerdo a los listados de actividades altamente riesgosas publicados por SEDESOL en el Diario Oficial y la NOM-051.
- Las características físico-químicas de los procesos en las actividades de explotación, producción, transportación y disposición de residuos, analizando con mayor atención las presiones y temperaturas.
- La operación de la maquinaria y equipo, así como el tipo de materiales involucrados.
- Las estructuras de los edificios con relación a las actividades.
- El tipo de transporte empleado en el movimiento de materiales.
- Los sistemas administrativos y de gestión de la empresa.
- Las condiciones climatológicas y geohidrológicas de la región, en donde se ubique la empresa.
- Las condiciones socio-políticas de la zona en donde se encuentre la empresa.

Para cumplir con las obligaciones y responsabilidades, los empresarios deben incluir en su estrategia de gestión ambiental, una actividad para evaluar objetiva y periódicamente todos los elementos, que conforman el aparato productivo, para determinar si son adecuados y efectivos para proteger el entorno en donde operan, de acuerdo con el marco legal.

La jerarquía de los requisitos legales en materia ambiental se esquematizan en la siguiente pirámide.



En la cúspide de la pirámide se encuentra la constitución política (CP) de los EUM, en donde la parte ambiental está incluida en los Artículos 27 y 73. La LGEEPA es la ley reglamentaria de los anteriores Artículos Constitucionales, y su contenido y conformación se muestran en la Fig. II-1.

Los reglamentos de la LGEEPA se muestran en la Fig. II-2; esta ley establece reglas para las siguientes leyes complementarias:

- Ley de aguas nacionales (DOF-1-12-92)
- Ley de pesca (DOF-25-06-92)
- Ley federal de caza (DOF-5-01-52)
- Ley general de asentamientos humanos (DOF-21-07-93)
- Ley minera (DOF-26-06-92)
- Ley de bienes nacionales (DOF-8-01-92)
- Ley federal de sanidad animal (DOF-18-06-93)
- Ley federal de sanidad vegetal (DOF-5-01-94)
- Ley federal del mar (DOF-8-01-86)
- Reglamento de la ley de aguas nacionales (DOF-12-01-94)
- Reglamento de la prevención y control de la contaminación del mar (DOF-23-06-79)

El derecho ambiental mexicano ha evolucionado en la siguiente forma:

- La Constitución Política de 1917 contemplo la protección del ambiente en el Artículo 27; los constituyentes recogieron el concepto de propiedad como una función social. La nación condiciona la utilización de los recursos naturales al interés definido por ella. Bajo la base legal anterior fueron decretadas las primeras reservas de la biosfera en 1922 y 1937 (Isla de Guadalupe y Cajón del Diablo).
- El Congreso de la Unión aprobó:
 - La ley para prevenir y controlar la contaminación ambiental (12-03-73).
 - La ley federal de protección al ambiente (11-02-82).
- En 1982 se reformó el Artículo 25 de la CPEUM, introduciéndole el cuidado del ambiente y la ya universal idea del desarrollo sustentable.
- En 1987 se reformaron los Artículos 27 y 73 de la CPEUM, que amplían la facultad de la nación para imponer modalidades a la propiedad privada, tendientes a la protección, preservación y restauración del equilibrio ecológico. Otra parte faculta al Congreso para la expedición de leyes que propicien la coordinación entre los tres niveles de gobierno para problemas ambientales.
- El 1° de Marzo de 1988 el Congreso emite la LGEEPA. Se emitieron leyes locales en 29 de 31 entidades federativas, que integran el pacto federal mexicano, 5 reglamentos a la LGEEPA y 59 normas oficiales mexicanas (NOM), incluyendo una emergente.
- De 1988 a 1991, se desarrollaron las normas técnicas ecológicas (NTE).
- A partir del 18 de Octubre de 1993, las NOM sustituyeron a las NTE, que incluyen:
 - NOM-001-ECOL-96 (DOF-6-01-97).
 - Descargas de aguas residuales (33 normas pasan a 1 sola).
 - 5 normas de monitoreo de contaminación atmosférica (18-10-93).
 - Contaminación atmosférica (11 de fuentes fijas y 10 de fuentes móviles).
 - Residuos peligrosos, 9 normas.

**FIG. II-1
LGEEPA
(TÍTULOS,
CAPÍTULOS Y
SECCIONES)**

| TÍTULO | CAPÍTULO | SECCION |
|--|---|--|
| PRIMERO (Disposiciones Generales) | I. Normas Preliminares | I. Planeación Ambiental |
| | II. Distribución de Competencias y Coordinación | II. Ordenamiento Ecológico del Territorio |
| | III. Política Ambiental. | III. Instrumentos Económicos |
| | IV. Instrumentos de la Política Amb. | IV. Regulación Ambiental de los Asentamientos Humanos |
| SEGUNDO (Biodiversidad) | I. Areas Naturales Protegidas (ANP) | V. Evaluación del Impacto Ambiental |
| | II. Zonas de Restauración | VI. NOM's en Materia Ambiental |
| | III. Flora y Fauna Silvestre | VII. Autorregulación y Auditoría Ambiental |
| | | VIII. Investigación y Educación Ecológica |
| TERCERO (Aprovechamiento Sustentable de Elementos Naturales) | I. Aprovechamiento Sustentable del Agua y los Ecosistemas Acuáticos | I. Disposiciones Generales |
| | II. Preservación y Aprovechamiento Sustentable del Suelo y sus Recursos | II. Tipos y Características de las ANP |
| | III. De la exploración y Explotación de los Recursos no Renovables en el Equilibrio Ecológico | III. Declaratorias para el Establecimiento, Administración y Vigilancia de ANP |
| | | IV. Sistema Nacional de ANP |
| CUARTO (Protección al Ambiente) | I. Disposiciones Generales | |
| | II. Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera | |
| | III. Prevención y Control de la Contaminación del Agua y de los Ecosistemas Acuáticos | |
| | IV. Prevención y Control de la Contaminación del Suelo | |
| | V. Actividades Consideradas como Altamente Riesgosas | |
| | VI. Materiales y Residuos Peligrosos | |
| | VII. Energía Nuclear | |
| | VIII. Ruido, Vibraciones, Energía Térmica y Luminica, Olores y Contaminación Visual | |
| QUINTO (Participación Social e Información Ambiental) | I. Participación Social | |
| | II. Derecho a la Información Ambiental | |
| SEXTO (Medidas de Control y de Seguridad y Sanciones) | I. Disposiciones Generales | |
| | II. Inspección y Vigilancia | |
| | III. Medidas de Seguridad | |
| | IV. Sanciones Administrativas | |
| | V. Recurso de Revisión | |
| | VI. De los Delitos de Orden Federal | |
| | VII. Denuncia Popular | |

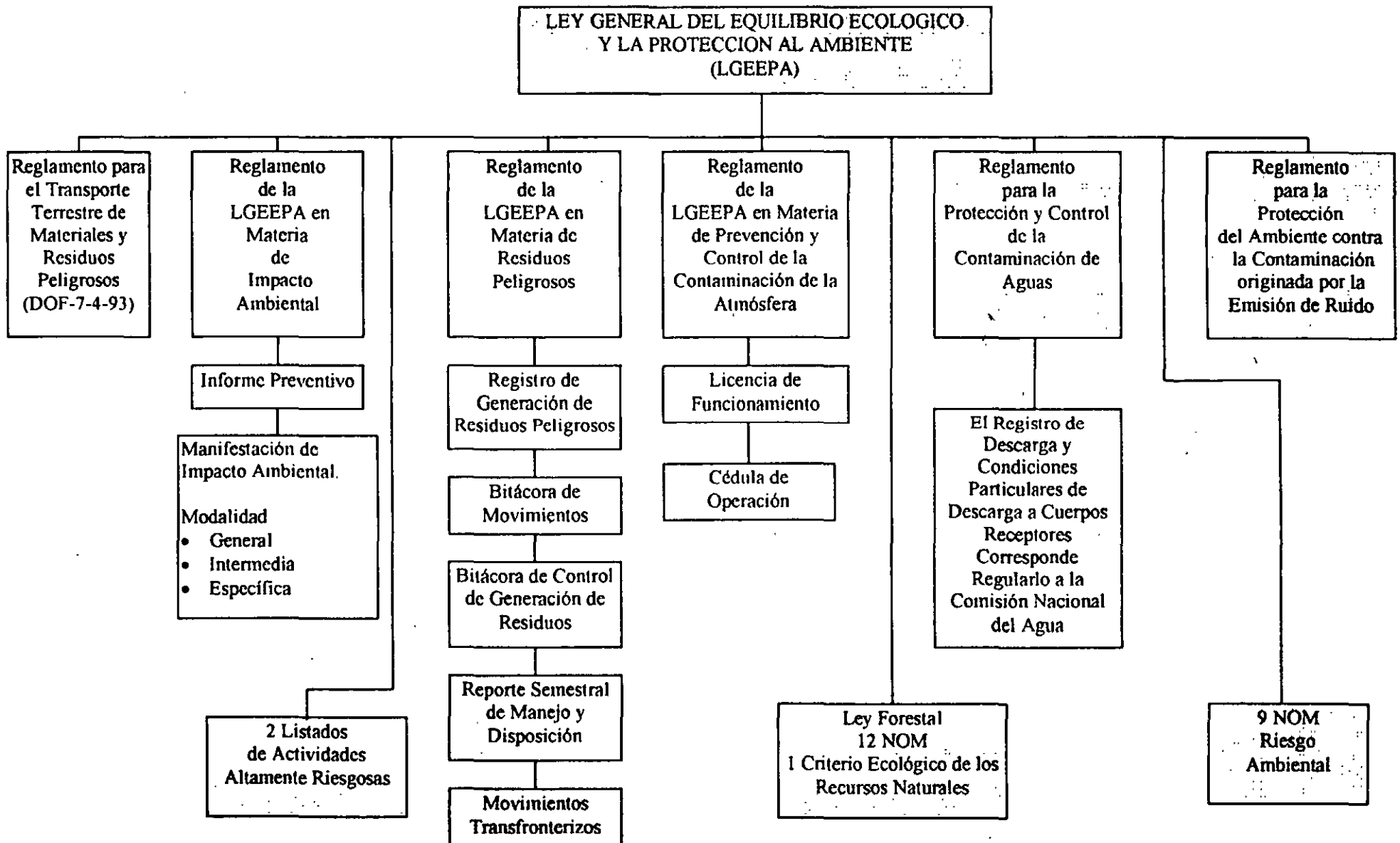


FIG. II-2.- REGLAMENTOS DERIVADOS DE LA LGEEPA

- Recursos, 4 normas.
- Ruido, 4 normas.
- Las organizaciones gubernamentales que han tenido la responsabilidad del derecho ambiental, incluyen las siguientes:
 - 1973. Creación de la Subsecretaría de mejoramiento del ambiente en la SAA.
 - 1982. Creación de la Subsecretaría de ecología en la SEDUE.
 - 1992. Creación del INE y PROFEPA como órganos desconcentrados de SEDESOL.
 - 1994. Creación de la SEMARNAP.

En la Fig. II-3, se muestra el organigrama general de la SEMARNAP; en el caso de la Dirección de materiales, residuos y actividades riesgosas, su organigrama se muestra en la Fig. II-4.

La PROFEPA sanciona las conductas señaladas en los siguientes Artículos:

- 183, realización de actividades consideradas como riesgosas.
- 184, realización de actos con materiales y residuos peligrosos.
- 185, emisión de gases, humos y polvos.
- 186, descarga de aguas residuales, desechos o contaminantes.
- 187, emisión de ruido, vibraciones, energía térmica o lumínica.

Las conductas anteriores solo son sancionadas bajo las siguientes condiciones:

- Que se realicen sin contar con autorización.
- Que violen las condiciones de seguridad o reglamentarias aplicables.

Para que las conductas mencionadas sean penalmente sancionadas, deben ocasionar daños a:

- La salud pública
- La flora
- La fauna
- Los ecosistemas

Los mecanismos correctivos incluyen sanciones administrativas que son derivadas por el incumplimiento normativo y se dan por multas, clausuras, arrestos y decomisos. Una de las sanciones económicas más representativas es la relacionada al ambiente, que oscilan entre 20 y 20,000 salarios mínimos.

México ha ratificado 58 acuerdos o tratados ambientales internacionales, destacándose los siguientes:

- Convenio de la Paz
- Convenio de Basilea
- Convenio sobre la biodiversidad biológica
- Acuerdo paralelo del medio ambiente del TLC.

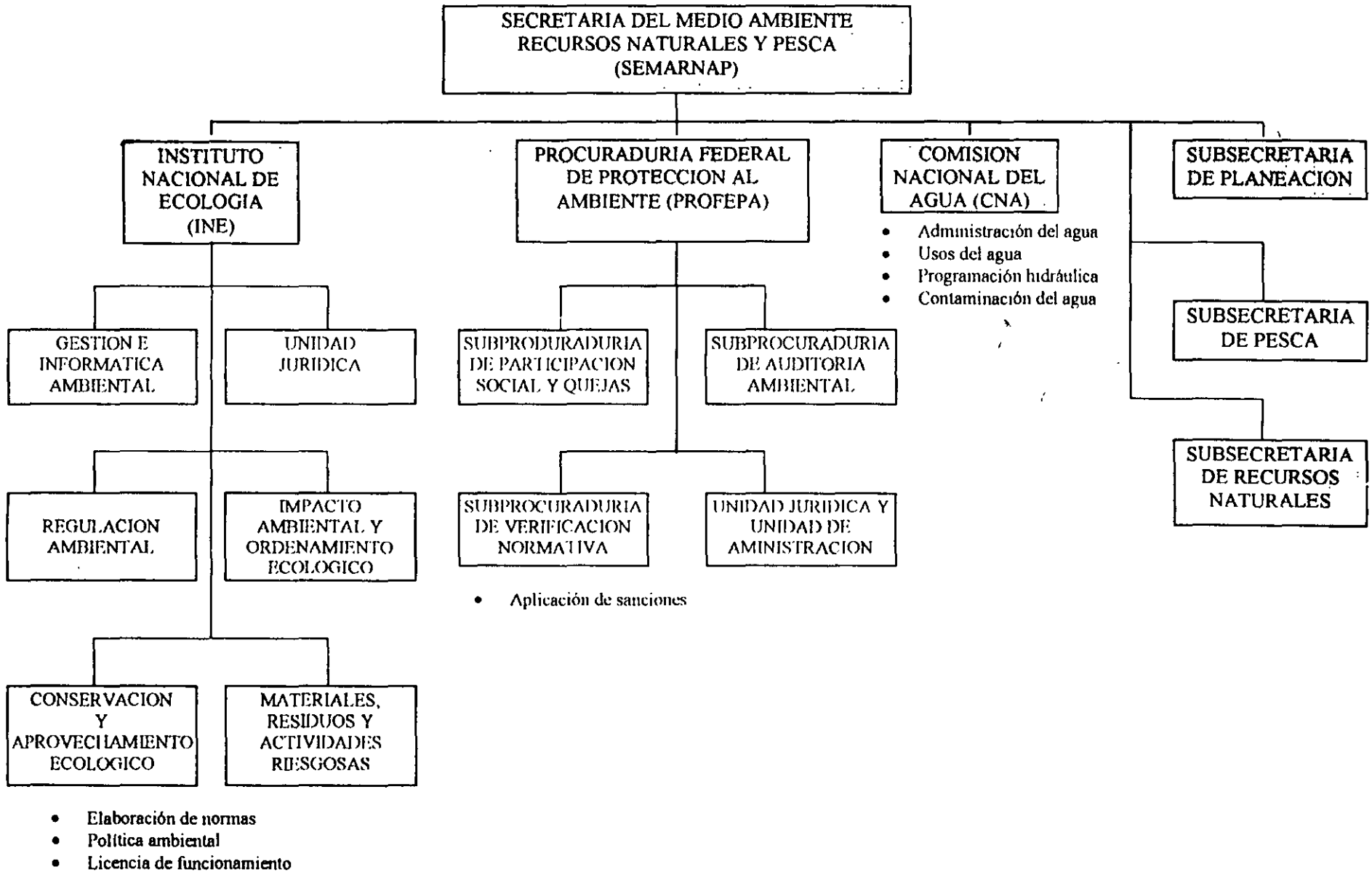


FIG. II-3.- ORGANIGRAMA GENERAL DE LA SECRETARIA DEL MEDIO AMBIENTE, RECURSOS NATURALES Y PESCA. (SEMARNAP)

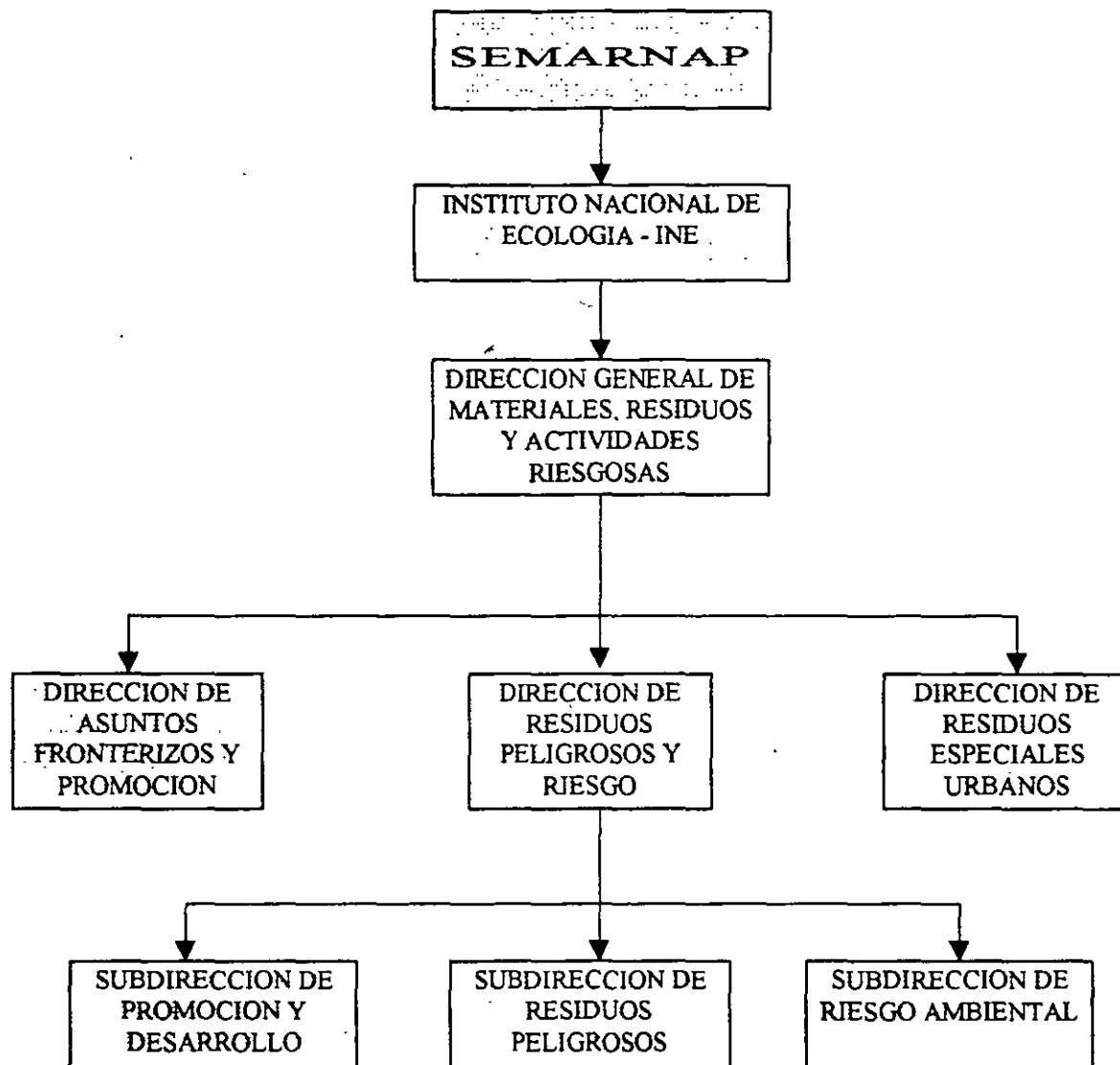


FIG. II-4 ORGANIGRAMA DE LA DIRECCION GENERAL DE MATERIALES, RESIDUOS Y ACTIVIDADES RIESGOSAS

3. TIPOS DE RIESGOS TECNOLOGICOS GRAVES

3.1 General

Por lo general, los riesgos industriales graves suelen estar relacionados con la posibilidad de:

- incendio;
- explosión;
- dispersión de sustancias tóxicas.

Normalmente involucran el escape de material de un recipiente, seguido de sustancias volátiles, de su evaporación y dispersión. Entre los accidentes relacionados con los riesgos principales, 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 provoca un incendio o una explosión que afecta al lugar y posiblemente a zonas pobladas.
- Escape de material tóxico, formación de una nube de vapor tóxica y arrastre de la nube, lo que afecta directamente al lugar y posiblemente a 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 producen una gran nube de vapor inflamable y posiblemente explosivo. Si la nube se llega a inflamar, los efectos de la combustión dependen de múltiples factores, entre ellos la velocidad del viento y la medida en que la nube estaba diluida con aire. Esos riesgos, pueden causar un gran número de víctimas y enormes daños al lugar donde se produce y más allá de su fronteras. Sin embargo, incluso en accidentes graves, los efectos se suelen limitar a pocos cientos de metros del punto de donde proceden.

La fuga repentina de grandes cantidades de materiales tóxicos, puede causar muertes y lesiones graves a una distancia mucho mayor. En teoría, esa fuga podría, en ciertas circunstancias climáticas, producir concentraciones letales a varios kilómetros del punto de fuga, pero el número efectivo 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 del lugar.

Algunas instalaciones o grupos de instalaciones, plantean ambos tipos de amenaza. Además, las ondas de expansión y los proyectiles de una explosión, pueden afectar la integridad de otras plantas, que contengan materiales inflamables y tóxicos, causando de ese modo una intensificación del desastre, que a veces se designa con la expresión de "efecto dominó".

Esta situación, puede existir cuando se produce una agrupación de establecimientos industriales, debido a la existencia de energía, agua o un conjunto de trabajadores adecuados.

Este agrupamiento, puede facilitar la transferencia de suministros y productos de un lugar a otro. En realidad, no es infrecuente que existan tres o más instalaciones separadas, pero contiguas, que constituyan un conjunto de riesgos de explosión y de toxicidad.

La fuga de materiales inflamables o tóxicos a la atmósfera puede, por tanto, provocar una explosión, un incendio o la formación de una nube tóxica, fenómenos que se examinan a continuación.

3.2 Explosiones

Las explosiones se caracterizan por una onda de choque, que puede producir un estallido y causar daños a los edificios, romper ventanas y arrojar materiales a varios cientos de metros de distancia. Las lesiones y los daños, son ocasionados primeramente por la onda de choque de la explosión. Hay personas golpeadas, derribadas, o enterradas bajo edificios derrumbados, o heridas por cristales volantes. Aunque los efectos de la presión excesiva pueden provocar directamente la muerte, es probable que esto sólo se produzca con las personas que trabajan muy cerca del lugar de la explosión. La historia de las explosiones industriales, muestra que los efectos indirectos de los edificios que se derrumban y los cristales y escombros que vuelan por el aire, causan muchas más pérdidas de vidas humanas y heridas graves, que la onda de choque por 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 de kilopascales (kPa). Las lesiones directas, se producen a presiones de 5 a 10 kPa (una sobrepresión mayor origina por lo general la pérdida de la vida); los edificios se derrumban y las ventanas y las puertas se rompen 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. A título de ejemplo, la explosión de un tanque que contuviera 50 toneladas de propano produciría una presión de 14 kPa a 250 metros a partir del tanque.

3.3 Deflagración y detonación

Las explosiones, se pueden producir en forma de una deflagración o de una detonación, en función de la velocidad de combustión durante la explosión. Se produce una deflagración, cuando la velocidad de combustión o la velocidad de la llama es relativamente lenta, del orden de 1m./seg. En una detonación, en cambio, la velocidad de la llama es extremadamente elevada. El frente de la llama se desplaza como una onda de choque, con una velocidad normal de 2 000 a 3 000

m./seg. Una detonación, genera mayores presiones y es mucho más destructiva que una deflagración. La presión máxima causada por una deflagración en un recipiente atmosférico cerrado, gira en torno a los 70-80 kPa, mientras que una detonación puede alcanzar fácilmente una presión de 200 kPa. El hecho de que se produzca una deflagración o una detonación, dependerá del material de que se trate, así como de las condiciones en que ocurre la explosión. Por lo común, se acepta que una explosión en fase de vapor, requiere cierto grado de limitación para que se produzca una detonación.

3.4 Explosiones de gases y de polvos

Es posible hacer una distinción entre las explosiones de gases y polvos, tomando como base el material de que se trate. Se producen explosiones de gases, que en general son catastróficas, cuando se liberan y dispersan en el aire considerables cantidades de material inflamable, para formar una nube de vapor explosivo, antes de que tenga lugar la ignición. Las explosiones de polvos, se producen cuando materiales sólidos inflamables se mezclan intensamente con el aire. El material sólido 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 transportado por el aire. Al mezclarse con el aire se produce una explosión secundaria que a su vez puede originar una explosión terciaria, y así sucesivamente. En el pasado, estas series sucesivas de explosiones han provocado catástrofes y la destrucción de fábricas enteras. Puesto que los cereales, la leche en polvo y la harina son inflamables, las explosiones de polvo han sido más comunes en la industria agrícola. Sin embargo la historia de las explosiones de polvo, particularmente las de los últimos años, ha mostrado que los efectos nocivos se limitan en general al lugar de trabajo y afectan menos a quienes se encuentran fuera de la fábrica.

3.5 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 limitadas y originan presiones máximas de sólo unos pocos KPa. Las presiones máximas de las explosiones en lugares cerrados o limitadas suelen ser superiores y pueden llegar a cientos de KPa.

3.6 Incendios

Los efectos 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. La radiación térmica, es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia desde la fuente. En general, la piel resiste una energía térmica de 10 KW/m^2 durante aproximadamente 5 segundos y de 30 Kw/m^2 durante solo 0.4 segundos, antes de que sienta dolor.

Los incendios, se producen en la industria con más frecuencia que las explosiones y las emanaciones de sustancias tóxicas, aunque las consecuencias, medidas en pérdida de vidas humanas suelen ser menos graves. Por consiguiente, podría considerarse que los incendios constituyen un menor peligro potencial que las explosiones y los escapes de sustancias tóxicas. No obstante, si se retrasa la ignición de un material inflamable que se escapa, puede constituirse una nube de vapor de material inflamable no encerrada.

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

Otro efecto letal que debe tomarse en consideración al producirse un incendio es la disminución del 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 por el incendio.

Esos humos pueden incluir gases tóxicos, como bióxido de azufre, de la combustión de disulfuro de carbono y de óxidos nitrosos de los incendios, en los que interviene el nitrato amónico.

3.7 Explosión de un líquido en ebullición con desprendimiento de vapores en expansión (ELEVE)

Designada algunas veces como una bola de fuego, una explosión de este tipo es una combinación de incendio y explosión, con una emisión de calor radiante intenso, en un intervalo relativamente breve de tiempo, como indica la expresión; el fenómeno, puede producirse dentro de un recipiente o depósito, en el que se mantenga un gas licuado, por encima de su punto de ebullición atmosférico. Si un recipiente a presión se rompe, como resultado de un debilitamiento de su estructura, el contenido se escapa al instante como una mezcla turbulenta de líquido y gas, que se expande rápidamente y se dispersa por el aire, como una nube. Cuando esta nube se inflama, se produce una bola de fuego, con radiación térmica de enorme intensidad en unos pocos segundos. Esta intensidad calorífica, basta para causar muertes y graves quemaduras en la piel a varios cientos de metros del recipiente, según la cantidad del gas de que se trate. Este tipo de explosión, puede ser causado por un impacto físico sobre un recipiente o depósito, que ya está averiado o sometido a una presión excesiva, debido, por ejemplo, a un accidente de tráfico con un camión cisterna o al descarrilamiento de un vagón cisterna, o también a un incendio, que afecte o que se extienda a un contenedor o depósito y que debilite su estructura. Una explosión provocada por la ebullición de un líquido que se expande a vapor, de una cisterna de 50 toneladas de propano; puede ocasionar quemaduras de tercer grado, a distancias de aproximadamente 200 metros y ampollas a distancias de unos 400 metros.

A veces resulta difícil hacer una distinción entre un incendio y una explosión. Muy a menudo una explosión va seguida de un incendio, y ambos fenómenos causan víctimas.

3.8 Sustancias tóxicas

Existen numerosas sustancias, con las que es preciso actuar con particular meticulosidad, para impedir que produzcan efectos nocivos en los trabajadores. La importante disciplina de la higiene en el trabajo existe para elaborar los métodos necesarios de control contra la exposición a esas sustancias, 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 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.

En esta parte, se examina el almacenamiento y utilización de sustancias químicas tóxicas, frecuentemente en muy grandes cantidades que, si escaparan, se dispersarían con el viento y tendrían la posibilidad potencial de matar o lesionar a personas, que viven a muchos cientos de metros de la fábrica y que no pueden huir o hallar refugio.

La toxicidad de las sustancias 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, que implican la necesidad de actuar con prudencia al interpretar los resultados. En la toxicidad de las sustancias, influyen así mismo otros factores como la edad, el sexo, los antecedentes genéticos, el grupo étnico al que se pertenece, la nutrición, la fatiga, las enfermedades, la exposición a otras sustancias con efectos sinérgicos, y las horas y modalidades del trabajo.

Aunque los datos al respecto no son abundantes, cabe determinar la toxicidad de ciertas sustancias. Por ejemplo, se sabe que el cloro:

- Resulta peligroso para la salud humana, en concentraciones de 10 a 20 partes por millón (ppm), con una exposición de 30 minutos.
- Resulta letal en concentraciones de 100 a 150 ppm, con exposiciones de 5 a 10 minutos de duración.
- La exposición al cloro por periodos más cortos, pueden ser letal en concentraciones de 1,000 ppm.
- Una fuga instantánea de 10 toneladas de esta sustancia química, puede producir una concentración máxima de 140 ppm a una distancia de 2 km. a favor del viento a partir de la fuente y de 15 ppm a una distancia de 5 km. en condiciones climáticas normales de no inversión.

4. CONCEPTOS ESENCIALES DE RIESGOS

4.1 La percepción del riesgo

Antes de considerar las técnicas de análisis, evaluación o cuantificación y gestión de riesgos, debe reconocerse que los riesgos como temas o asuntos, son riesgos percibidos y no necesariamente como riesgos reales.

Los individuos, organizaciones y gobiernos toman decisiones, basadas en percepciones acerca de lo que parecen consecuencias de sus acciones, que pueden dar lugar a situaciones como, que:

- Algunas consecuencias inevitables, pueden no reconocerse;
- Interpretaciones incorrectas, acerca de la probabilidad o magnitud de las que son reconocidas;
- Consecuencias percibidas, que pueden ser más imaginarias que reales;
- Puede no haber mucho traslape entre el conjunto de resultados reales y el conjunto potencial percibido.

Las percepciones equivocadas o no tomadas en cuenta de las consecuencias de decisiones, son quizás la fuente más grande de riesgos en la toma de decisiones; cualquier responsable de tomar decisiones, debe esforzarse para obtener una percepción completa y precisa de los riesgos que enfrenta, antes de intentar llevar a cabo un análisis y evaluación de los mismos.

Ya sean reales o imaginarios, los riesgos percibidos deben de tomarse en cuenta en las decisiones, y hay una necesidad inescapable de los métodos de análisis y evaluación.

4.2 Análisis de riesgos

"Análisis es la separación de un todo en sus partes componentes; un examen de un complejo, sus elementos y sus relaciones".

"Separación de las partes de un todo, hasta conocer los principios o elementos de que se forma".

Los anteriores son definiciones de diccionarios de la palabra análisis. El propósito del análisis de riesgos, es la identificación de los posibles resultados de decisiones.

El modelo básico de análisis de riesgo puede ser representado en la forma de un árbol de decisión; éste es un problema de decisión, en el cual hay una elección entre dos opciones:

- una tiene sólo un resultado posible;
- otra opción tiene dos posibles resultados.

La primera opción, lleva a un cierto resultado (con frecuencia es una opción de no-cambio o statu quo), y la otra opción tiene dos resultados probables, siendo una de ganar y la otra de perder.

Ejemplo simple y obvio del problema básico, podrían incluir decisiones en lo siguiente:

- De un inversionista, si deja sus ahorros en una cuenta segura de un banco o los invierte en una emisión de valores;
- De un doctor, si prescribe una droga conocida o experimenta con una nueva;
- De un agricultor, si continua con el pesticida existente o prueba con uno nuevo.

En todas estas situaciones, la posibilidad de ganar esta acompañada del riesgo de perder y de un posible desastre; a pesar de que los problemas reales, pueden tener muchas más opciones y resultados, la estructura mencionada antes tiene los elementos esenciales. Extensiones y variaciones de la estructura básica, pueden incluir:

- La posibilidad de una secuencia de decisiones conectadas.
- Varias opciones.
- Un continuo de posibles resultados de algunas opciones.

La estructura del problema puede ser extremadamente compleja, como por ejemplo, en el diseño de una planta industrial nueva comprendiendo numerosos interconectados, cada uno de los cuales podría causar que la planta completa falle, o bien en la gestión de la construcción de un proyecto de gran escala, comprendiendo miles de actividades interrelacionadas, que cualquiera de las cuales podría causar que el proyecto se exceda en su duración o costo esperado:

Adicionalmente a la complejidad del análisis, esta la necesidad de anticiparse a las eventualidades no-intentadas y determinar las respuestas apropiadas, y también a contemplar los resultados no-intentados de las respuestas. Claramente no hay límites al potencial de profundidad de análisis en la planeación de contingencias y reducción de riesgos, sin embargo, a cada punto de decisión, la esencia del problema es la misma: la necesidad de comparar dos o más opciones, con los resultados probables.

4.3 Cuantificación (Evaluación) de riesgos

La estimación de la probabilidad de ocurrencia y tamaño de los resultados posibles, y la evaluación de los cursos de acción alternativos, son los objetivos de la evaluación de riesgos.

La cuantificación (evaluación) y comparación de riesgos, a veces toma alguna forma de análisis de costo-beneficio. La estimación de las probabilidades y el valor de un resultado, son obviamente pre-requisitos en el ejercicio, pero algunos medios de comparación de estas medidas, se requieren para dar una medida total con propósitos de comparación.

Para cuantificar (evaluar) los riesgos percibidos, es necesario de estimar tanto la probabilidad del resultado como la magnitud del resultado; éstas no son medidas observables, sino que son el resultado de juicios de evaluación

Aparentemente, las personas tienden a subestimar las probabilidades de eventos relativamente no-dramáticos y frecuentes, pero sobreestiman los que son dramáticos, infrecuentes o que no han pasado en algún tiempo.

4.4 La gestión de riesgos

La teoría de decisiones clásica, procede sobre la suposición de adherencia estricta a los cálculos de valor esperado, como la sola base para la evaluación de decisiones o cursos de acción, sin embargo, en cada sector de gestión de riesgo, hay una necesidad inevitable de incorporar contribuciones subjetivas y juicios en el proceso.

En algunas situaciones de gestión, los juicios subjetivos tienen una influencia predominante, sin embargo, esto no quiere decir que las decisiones resultantes sean menos "racionales".

La gestión racional de riesgos, requiere seguir tres reglas fundamentales:

- La maximización de los valores esperados;
- El evitar las catástrofes;
- Ignorar las posibilidades remotas.

La aplicación de estas reglas requiere decisiones de juicio, como qué severidad de resultado constituye "catástrofe", o que probabilidad de ocurrencia puede ser razonablemente descartada como una "posibilidad remota", sin embargo, es posible establecer un orden de prioridad en la aplicación de éstas reglas.

El evitar catástrofes, debe preceder a la maximización de los valores esperados si hay cualquier prospecto real de desastre; por otra parte, siempre hay al menos la más remota posibilidad que algún curso de acción pueda llevar a un desastre.

En el caso que no se controlen todas las acciones humanas, es necesario que el ignorar las posibilidades remotas debe preceder al evitar desastres de baja probabilidad.

4.5 Mitigación de Riesgos

Dentro del marco de la teoría social contemporánea, la mitigación se define como:

"Cualquier acción individual o colectiva, pública o privada, tomada para reducir el daño potencial por un peligro o riesgo ambiental".

Por otra parte, la mitigación es para moderar, aplacar o aminorar las consecuencias de un riesgo, mediante un conjunto de acciones estratégicas que reconformen y distribuyan los parámetros sociales de riesgo. Su propósito es minimizar o eliminar los efectos adversos que se presenten.

La intención de la mitigación es la de reducir el peligro potencial dentro de algún ambiente, es decir, disminuir la posibilidad de daño a las personas, por futuros eventos ambientales.

5. EJEMPLOS DE ACCIDENTES TECNOLOGICOS GRAVES

A continuación se presentan 3 Tablas que incluyen explosiones, incendios y escapes importantes de sustancias tóxicas, en la siguiente forma:

- Tabla II.1.- Relación de algunas explosiones industriales. Todos los ejemplos son explosiones de nubes de vapor, que en algunos casos, produjeron detonaciones debido a que la nube de gas estaba encerrada.
- Tabla II.2.- Relación de algunos de los principales incendios.
- Tabla II.3.- Relación de algunos accidentes industriales importantes, causados por escapes tóxicos de diferentes sustancias químicas, algunos de los cuales causaron víctimas. El cloro y el amoniaco, figuran entre las sustancias químicas tóxicas mas comúnmente utilizadas en grandes cantidades, que entrañan Riesgos, y ambas tienen un historial de accidentes graves. Igualmente, otras sustancias químicas como el isocianato de metilo y la dioxina, aún cuando se pueden manipular en menores cantidades. Por esta razón, varias de éstas sustancias químicas muy tóxicas, se han incluido en la llamada "Directiva de Seveso" de la Comunidad Europea.

Tabla II.1.- Ejemplos de Explosiones Industriales.

| Sustancias químicas | Consecuencias | | Lugar y Fecha |
|-----------------------|---------------|----------|--|
| | Muertes | Lesiones | |
| Eterdimetilico | 245 | 3,800 | Ludwigshafen, República Federal de Alemania, 1948. |
| Queroseno | 32 | 16 | Bitburg, República Federal de Alemania, 1954. |
| Isobutano | 7 | 13 | Lake Charles, Lousiana, Estados Unidos, 1967. |
| Residuos del petróleo | 2 | 85 | Pernis, Países Bajos, 1968. |
| Propileno | - | 230 | East, St. Louis, Illinois, Estados Unidos, 1972. |
| Propano | 7 | 152 | Decatur, Illinois, Estados Unidos, 1974. |
| Ciclohexano | 28 | 89 | Flixborough, Reino Unido, 1974. |
| Propileno | 14 | 107 | Beek, Países Bajos, 1975 |
| Hidrocarburo | 23 | 130 | Pasadena, Texas, EUA, 1989 |
| GLP | 19 | | Cactus, Chis., México Julio 26/96 |

Tabla II.2.- Ejemplos de incendios importantes.

| Sustancias químicas | Consecuencias | | Lugar y Fecha |
|--|---------------|----------|--|
| | Muertes | Lesiones | |
| Metano | 136 | 77 | Cleveland, Ohio, Estados Unidos, 1944. |
| GLP ₁ (ELEVE ₂) | 18 | 90 | Feyzin, Francia, 1966. |
| GNL ₃ | 40 | - | Staten Island, Nueva York, Estados Unidos, 1973. |
| Metano | 52 | - | Santa Cruz, México, 1978. |
| GLP ₁ (ELEVE ₂) | 650 | 2500 | San Juanico, México, D.F., Nov. 19/1984 |

1. Gas licuado de petróleo
2. Explosión de líquido en ebullición con desprendimiento de vapores en expansión.
3. Gas natural licuado

Tabla II.3.- Ejemplos de escapes importantes de sustancias tóxicas.

| Sustancias químicas | Consecuencias | | Lugar y Fecha |
|----------------------|---------------|----------|--|
| | Muertes | Lesiones | |
| Fosgeno | 10 | - | Poza Rica, México, 1950 |
| Cloro | 7 | - | Wilsum, República Federal de Alemania, 1952. |
| Dioxina/TCDD | - | - | Seveso, Italia, 1976. |
| Amoniaco | 30 | 25 | Cartagena, Colombia, 1977. |
| Dióxido de azufre | - | 100 | Baltimore, Maryland, Estados Unidos, 1978. |
| Acido sulfhídrico | 8 | 29 | Chicago Illinois, Estados Unidos, 1978. |
| Isocianato de metilo | 2,500 | 250,000 | Bhopal, India, 1984. |

6. INSTALACIONES TIPICAS DE RIESGO MAYOR

Dada la diversidad y complejidad de la industria en general, no es posible circunscribir las instalaciones que presentan los riesgos principales a ciertos sectores de actividad industrial. Sin embargo, la experiencia indica que las instalaciones con mayores riesgos, están por lo común relacionadas con las actividades siguientes:

- a) Fábricas de productos petroquímicos y refinerías
- b) Fábricas de productos químicos y plantas de producción de productos químicos.
- c) Almacenamiento y terminales de gas licuado de petróleo.
- d) Depósitos de gas y de líquidos inflamables.
- e) Almacenes y centros de distribución de productos químicos.
- f) Grandes almacenes y fabricas de fertilizantes.
- g) Fábricas e instalaciones de explosivos.
- h) Fábricas en que se utiliza cloro en grandes cantidades.

Las instalaciones de Riesgo mayor o altamente riesgosas, por lo general se determinan con una lista de sustancias peligrosas, para cada una de las cuales se fija una cantidad límite o de reporte, de forma que las instalaciones industriales comprendidas en la definición, se reconozcan como las que requieren atención prioritaria, porque pueden causar un incidente grave, que afecte a las personas que se encuentren en el lugar de trabajo y fuera del mismo, así como al ambiente. La lista y las cantidades máximas tolerables de sustancias peligrosas, se establecen según las prioridades de cada país.

En México se han emitido 2 listados de actividades altamente riesgosas, el 1º en Marzo 28 de 1990 y el 2º en Mayo 4 de 1992.

En la Tabla II.4, se muestra la relación de sustancias químicas y sus cantidades, que prioritariamente se utilizan para determinar las instalaciones con Riesgos de accidentes mayores.

En estas relaciones, se excluyen los Riesgos nucleares y los de carácter estrictamente militar, que tienen un sistema de control propio; también se excluye el transporte de sustancias químicas peligrosas, porque su regulación y ordenación, son diferentes a los aplicables en lugares estáticos o fijos.

Tabla II.4.- Sustancias químicas que se utilizan prioritariamente para determinar las instalaciones con riesgos de accidentes mayores.

| Nombre de la sustancia | Cantidad (>) | Número de serie de la lista de la CEE |
|--|--------------|---------------------------------------|
| a.- Sustancias inflamables en general: | | |
| Gases inflamables | 200 t. | 124 |
| Líquidos altamente inflamables | 50,000 t. | 125 |
| b.- Sustancias inflamables específicas: | | |
| Hidrógeno | 50 t. | 24 |
| Oxido de etileno | 50 t. | 25 |
| c.- Explosivos específicos: | | |
| Nitrato amónico | 2,500 t. | 146 b |
| Nitroglicerina | 10 t. | 132 |
| Trinitrotolueno | 50 t. | 145 |
| d.- Sustancias tóxicas específicas: | | |
| Acrilonitrilo | 200 t. | 18 |
| Amoniaco | 500 t. | 22 |
| Cloro | 25 t. | 16 |
| Dióxido de azufre | 250 t. | 148 |
| Ácido sulfhídrico | 50 t. | 17 |
| Cianuro de hidrógeno | 20 t. | 19 |
| Disulfuro de carbono | 200 t. | 20 |
| Fluoruro de hidrógeno | 250 t. | 149 |
| Trióxido de azufre | 75 t. | 180 |
| e.- Sustancias muy tóxicas específicas: | | |
| Isocianato de metilo | 150 kg. | 36 |
| Fosgeno | 170 kg. | 15 |

III. CAUSAS DE RIESGOS TECNOLÓGICOS

1. INTRODUCCION

Las Causas de Riesgos industriales graves son de muy diversas clases, sin embargo, es posible hacer una clasificación atendiendo a su origen o bien por su naturaleza; de acuerdo con su origen, las causas de Riesgos industriales graves pueden clasificarse por:

- Errores humanos
- Fallas eléctricas
- Fallas mecánicas
- Riesgos químicos (sustancias)
- Riesgos radioactivos
- Transporte

Atendiendo a la naturaleza de las causas, los Riesgos Industriales se pueden clasificar en:

- Factores Ambientales
- Diseño
- Fabricación
- Ensamble
- Operación
- Actos mal intencionados

Las categorías anteriores de causas de falla, de acuerdo a su naturaleza, resultan del análisis de incidentes ocurridos en facilidades industriales, y tienen significado para:

- Facilitar el análisis de fallas reales ayudando a identificar algunas de sus características.
- Servir como una guía para la predicción de dichas fallas, llamando la atención de analistas hacia las categorías de fallas.

2. RIESGOS POR ERRORES HUMANOS

2.1 Introducción

El hombre siempre está presente en las instalaciones industriales, ya sea en el diseño o en su operación, por lo que es correcto hablar de sistemas hombre-máquina, en el cual lo humano es un componente del sistema.

Los errores humanos pueden ser identificados en todas las etapas del ciclo de vida del sistema, por ejemplo, errores en:

- planeación
- diseño
- cálculo
- fabricación
- construcción
- montaje, instalación
- alambrado, cableado
- ensamble
- pruebas
- operación
- mantenimiento

Se puede definir a un operador (humano) como cualquier individuo, equipo u organización humana, cuya función es la de efectuar una acción o llevar a cabo una misión en el curso de las diferentes fases del ciclo de vida de un sistema.

Se estima que entre el 20 y 50% del mal funcionamiento en el campo de la industria aeronáutica, espacial, electronuclear, etc., se deben a errores humanos, lo que demuestra la importancia del factor humano en las fallas de sistemas.

La creciente complejidad de los sistemas industriales, los vuelve cada vez menos compatibles con las capacidades y límites de los operadores; algunas características de diseño no adecuadas han sido fuentes importantes de errores humanos en la operación.

2.2 Revisión Histórica

En la década de los años 1950's apareció una nueva disciplina con el nombre de "ergonomía" en Europa y con el nombre de "factores humanos" en EUA que cubre el área de rangos de factores humanos, desde la adaptación a operadores de salas de control o estaciones de trabajo, a través de:

- entrenamiento
- análisis de cargas de trabajo o tareas
- otros

El accidente de la planta de potencia nuclear de la isla de tres millas (Three Mile Island, TMI), aumentó el interés por la importancia del factor humano; en éste accidente hubo una combinación de fallas de diseño, averías de equipos y errores humanos. La comisión que estudió este accidente estableció que:

"lo que la industria nuclear y la Nuclear Regulatory Commission subestimaron, es que la gente que opera la planta, son ellos mismos un importante sistema de seguridad de respaldo".

Después del accidente de TMI han aumentado las evaluaciones probabilísticas de riesgos en plantas nucleares que incluyen evaluaciones de confiabilidad humana ECH (Human Reliability Assessment, HRA), con desarrollos metodológicos dirigidos a:

- volver los métodos de ECH más confiables y más exhaustivos;
- modelar el comportamiento del operador, particularmente para la predicción de diagnósticos y errores estratégicos;
- mejorar los datos cualitativos y cuantitativos sobre los cuales pueden basarse estos modelos.

Se han llevado a cabo muchas investigaciones sobre la ECH, entre las que destacan:

- el de Rasmussen de Dinamarca, relativo a la variabilidad del comportamiento humano sobre las causas y mecanismos de los errores humanos;
- el concepto de redundancia humana, introducido por Electricité de France EDF, en términos tanto de personal como de equipo para la diagnosis de incidentes o accidentes.

2.3 Comportamiento del Operador Humano (OH)

De acuerdo con un esquema de la forma de funcionamiento del operador humano, se describirán:

- los principales aspectos del comportamiento humano, que pueden ayudar a la explicación de errores;
- la clasificación de las tareas llevadas a cabo por los operadores en sistemas industriales grandes;
- la definición de los errores humanos y sus principales características.

2.3.1 Funcionamiento del operador humano

A pesar de que el funcionamiento del operador humano es aún un sujeto de estudio, sin embargo, dicho funcionamiento humano, mientras está realizando una tarea, puede ser descrito esquemáticamente de acuerdo a varias fases:

- Adquisición de información.- Se logra por los aparatos sensores humanos de los cuales los receptores incluyen los ojos, oídos, miembros, el cuerpo entero, etc.; la percepción no es una copia simple de la información externa en la mente del operador; sino que intervienen mecanismos sutiles, con frecuencia inconscientes de selección e inhibición. El colocar un instrumento frente al operador no garantiza que la información que provee es recibida.
- Procesamiento de información.- La información reunida se procesa en la mente; se pueden identificar varios tipos de procesamiento, como por ejemplo, proceso lógico (diagnóstico de un accidente), cálculo de parámetros (evolución predecible), nuevo parámetro aplicando reglas matemáticas.
- Toma de decisiones.- El procesamiento de información lleva al operador a seleccionar decisiones, por ejemplo:
 - a) No llevar a cabo ninguna acción, sino permitir que el sistema evolucione.
 - b) Llevar a cabo acciones correctivas para reducir la brecha entre valores reales y valores deseados de los parámetros observados.

La decisión se hace de acuerdo a modelos cognocitivos predefinidos, así como a metas seleccionadas por el operador, como por ejemplo, metas:

- i. De disponibilidad: el operador da prioridad a la disponibilidad del sistema.
 - ii. De seguridad: el operador da prioridad a la seguridad.
 - iii. Personales: por ejemplo, el operador da prioridad a terminar su tarea tan rápido como sea posible.
- Respuesta física.- La producción del operador por la cual lleva a cabo sus tareas (apropiadamente o no), usando, por ejemplo: manos, voces, pies.

El funcionamiento del operador humano se muestra esquemáticamente en la Fig. III-1, que incluye actividades:

- sensoriales
- mentales
- físicas

En realidad el funcionamiento humano es mas rico y mas complejo que el que puede comunicar la Fig. III-1, ya que existe una interrelación constante entre los niveles sensoriales, mentales y físicos; dos aspectos de esta representación que deben tomarse en cuenta en detalle son:

- el arreglo secuencial de las actividades sensoriales, mentales y físicas;
- el papel jugado por la actividad mental consciente o refleja en la conformación del comportamiento.

Se considera que hay tres clases mayores de funcionamiento o comportamiento humano, que se distinguen principalmente por la importancia relativa de la actividad mental consciente o refleja, que son:

- comportamiento basado en la habilidad.- Este es prácticamente automático, en donde el operador actúa mecánicamente.
- comportamiento basado en reglas.- Este incluye la actividad mental consciente y consiste de una ejecución coordinada de tareas, de acuerdo a lo aprendido o con reglas o procedimientos escritos; éste comportamiento no demanda selecciones complejas entre varias opciones.
- comportamiento basado en el conocimiento.- Este se presenta en situaciones menos familiares, basado en actividades mentales conscientes complejas, buscando resolver problemas y planes de tareas.

2.3.2 Algunas Características Sobresalientes

El comportamiento del operador es muy diferente al del equipo diseñado u operado, caracterizándose por la:

- inteligencia y capacidad para innovación e invención;
- facultad de adaptabilidad;
- extrema sensibilidad de algunos de sus receptores sensoriales.

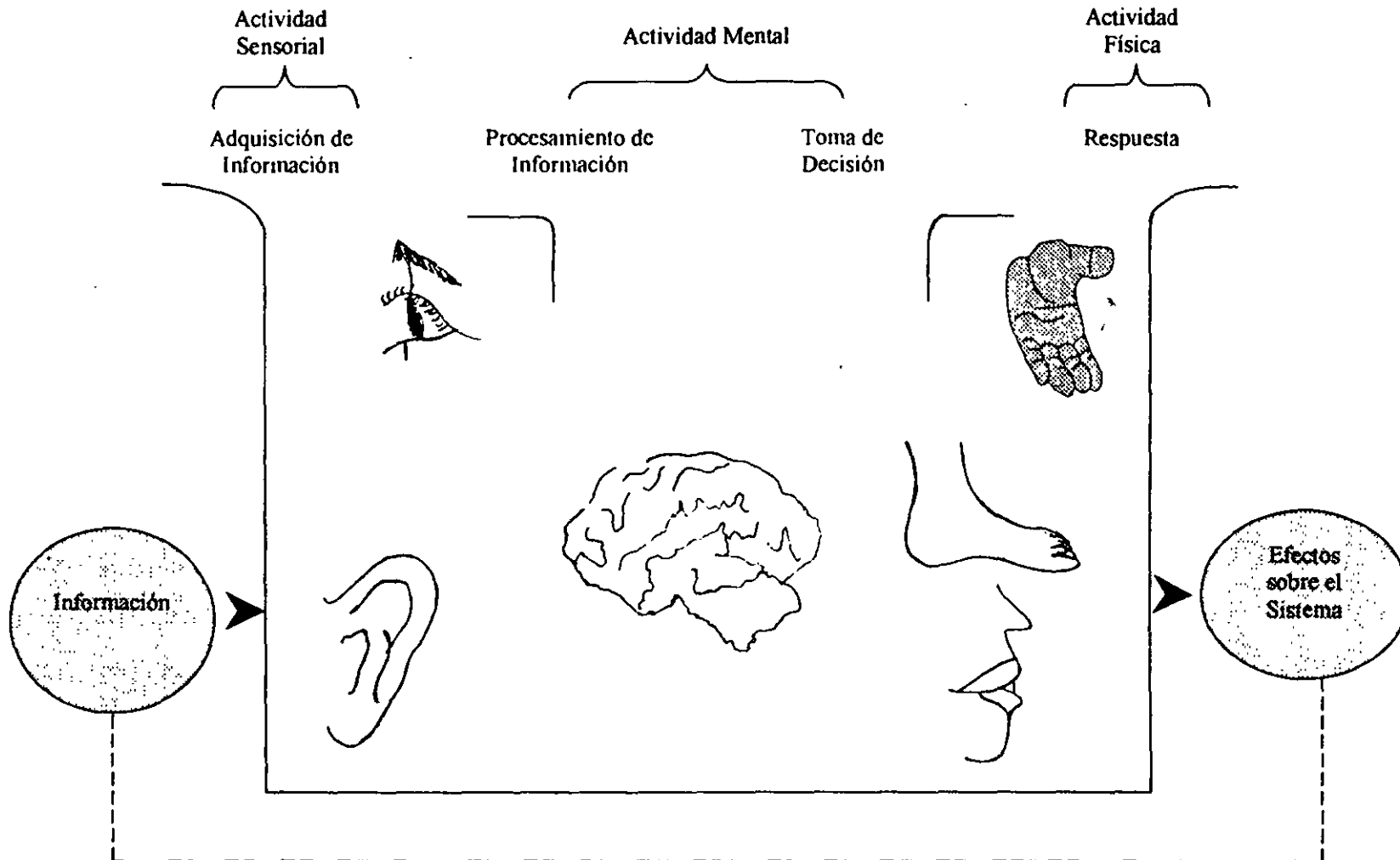


FIG. III-1.- REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL FUNCIONAMIENTO DEL OPERADOR HUMANO

Algunas características conectadas a estas cualidades especiales que es necesario conocer para comprender mejor los mecanismos de errores humanos son las siguientes:

- Variabilidad.- Las personas nunca pueden llevar a cabo la misma acción dos veces en absolutamente idéntica forma, siendo el comportamiento humano mucho muy variable. La variabilidad implica un cierto % de acciones que caen fuera de tolerancia, la cual puede ser la base de errores humanos, aunque se puede tolerar algún grado de variación en muchas tareas; el error humano aparece cuando las variaciones de comportamiento humano exceden los límites de tolerancia.
- Necesidad de información y capacidad predictiva.- La ausencia de información se siente incómoda por la mente humana, y la respuesta es buscar información por todos los canales sensoriales disponibles.
- La Capacidad de compensar por variaciones en tareas difíciles, incrementando la carga de trabajo, sin introducir variaciones de comportamiento. Un incremento en la dificultad no siempre produce disminución de comportamiento del operador.
- Esfuerzo.- Se distinguen dos conceptos o situaciones:
 - i. Situación tensa.- Es una situación en la cual el sujeto, percibe una brecha entre los requerimientos de la situación y su disposición a cumplirla.
 - ii. Esfuerzo.- Es un ensamble de reacciones psicológicas a una situación de tensión.

El esfuerzo tiene repercusiones psicológicas: toma la forma de un sentimiento de tensión y tiene impactos significativos en el comportamiento. En situaciones extremas pueden llevar a paralizar al operador.

2.3.3 Clasificación de Tareas

Las tareas llevadas a cabo por un operador en sistemas industriales grandes pueden clasificarse en la siguiente forma:

- Tareas simples.- Corresponden a acciones formando parte de operaciones secuenciales que requieren muy poca decisión, por ejemplo, ir a abrir una válvula manual.
- Tareas complejas.- Corresponden a operaciones secuenciales que están bien definidas, pero que requieren tomar decisiones por ejemplo, diagnosticar un accidente.
- Tareas que requieren vigilancia.- Corresponden a detección de señales o alarmas; la probabilidad de error, esta afectada por la longitud de espera, el grado de motivación, el tipo de señal, su frecuencia y tipo de acción que debe emplear cuando se reconoce.

- Tareas de verificación.- Corresponden a la investigación y verificación de procesos multivariados, en donde deben hacerse las acciones de decisiones.
- Tareas de post-incidentes o post-accidentes (o emergencias).- Pueden variar considerablemente desde una respuesta automática aprendida, hasta la búsqueda de una nueva estrategia; en éstas tareas, la probabilidad de error aumenta muy rápido cuando el incidente es suficientemente serio, que el operador está en un estado de tensión elevada.

La clasificación anterior de tareas es útil para una primera conceptualización de los errores humanos asociados.

2.3.4 Errores Humanos

Se define al error como una desviación de una acción, una secuencia de acciones o una estrategia que se piensa es óptima y sirve como referencia.

El error resulta de un mal-funcionamiento en el nivel de actividad sensorial, mental o física del operador.

Desde el punto de vista del sistema, el error no necesita tomarse en cuenta hasta que produce una acción inapropiada sobre el sistema; los efectos de tal acción se conocen como modos de error. Con frecuencia los errores humanos son dependientes: un error humano puede llevar a otros.

La ergonomía, ha puesto énfasis en el papel de las situaciones de trabajo en los errores humanos; se ha definido una lista de factores que modelan el comportamiento (FMC), que afectan la actividad humana y forman las posibles fuentes de error, distinguiéndose los factores siguientes (Tabla III-1).

- externos (contexto de trabajo, equipo)
- internos (entrenamiento, condición física).
- de esfuerzos, resultantes de fuentes fisiológicas o psicológicas.

La influencia de éstos factores, explican la gran diversidad de causas de errores humanos, en la interfase hombre-máquina. Un cierto número de mal-funcionamiento humano puede explicar estos errores, entre los que se encuentran los siguientes:

- saturación.- El operador humano es incapaz de absorber una sobrecarga de información que le llega de parámetros y su variación, y en estos casos no puede hacer un análisis global;
- pérdida de vigilancia.- El operador humano ya no busca reunir la información pertinente, sino que piensa en otras cosas, las abandona o se detiene en problemas insignificantes, y no se entera que los parámetros evolucionan peligrosamente o reacciona demasiado tarde;

TABLA III-1.- ALGUNOS "FACTORES QUE MODELAN EL COMPORTAMIENTO" (FMC) HUMANO EN LOS SISTEMAS HOMBRE-MAQUINA.

| "FMC" EXTERNOS | | "FMC" DE STRESS | "FMC" INTERNOS |
|---|---|--|--|
| Características situacionales FMC generales a uno o más trabajos en una situación laboral | Características de Tareas y Equipos. FMC específicos a Tareas en un Trabajo. | Stress psicológicos. FMC que afectan directamente el estrés mental. | Factores del organismo. Características de gente resultantes de influencias internas y externas. |
| <p>Características arquitectónicas.</p> <p>Calidad del ambiente</p> <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura, humedad, calidad de aire y radiación. • Iluminación. • Ruido y vibración. • Grado de limpieza general <p>Horas de trabajo/recesos de Trabajo</p> <p>Rotación de turnos.</p> <p>Disponibilidad/adecuación de equipo especial, herramientas y accesorios</p> <p>Forma de parámetros.</p> <p>Estructura organizacional (p.e., autoridad, responsabilidad, canales de comunicación)</p> <p>Acciones por supervisores, compañeros, representantes sindicales y personal regulatorio.</p> <p>Premios, reconocimientos, beneficios</p> | <p>Requerimientos percibidos</p> <p>Requerimientos de motor (velocidad, resistencia, precisión)</p> <p>Relación control-display.</p> <p>Requerimiento anticipatorios.</p> <p>Interpretación.</p> <p>Toma de decisiones.</p> <p>Complejidad (carga de información)</p> <p>Estrechos de tareas.</p> <p>Frecuencia y repetitividad.</p> <p>Criticidad de tarea.</p> <p>Memoria de corto y largo término.</p> <p>Requerimientos de cálculo.</p> <p>Retroalimentación (conocimiento de resultados).</p> <p>Actividades dinámicas Vs etapa por etapa.</p> <p>Estructura y comunicación de equipo.</p> <p>Factores de interfase hombre-máquina.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseño de equipo motor. • Equipo de prueba, fabricación. • Equipos, ayudas de trabajo, herramientas • Accesorios. | <p>Rapidez del inicio.</p> <p>Duración del estrés.</p> <p>Velocidad de tarea.</p> <p>Carga de tarea.</p> <p>Alto riesgo de daño.</p> <p>Amenazas (de falla, pérdida de trabajo)</p> <p>Trabajo monótono, degradante o sin significado.</p> <p>Periodos largos de vigilancia sin eventos.</p> <p>Conflictos acerca del comportamiento en el trabajo.</p> <p>Reforzamiento ausente o negativo</p> <p>Privación de sensibilidad.</p> <p>Distracciones (ruido, deslumbramiento, movimiento, parpadeos, colores)</p> <p>Sugestión o humor inconsistente.</p> <p>Stress psicológico:</p> <p>FMC que afectan directamente el estrés físico.</p> <p>Duración del estrés</p> <p>Fatiga.</p> <p>Dolor o incomodidad.</p> <p>Hambre o sed.</p> <p>Temperatura extrema.</p> <p>Insuficiencia de oxígeno.</p> <p>Vibración.</p> <p>Constricción de movimiento.</p> <p>Falta de ejercicio físico.</p> <p>Disrupción de ritmo cardíaco.</p> | <p>Experiencia/entrenamiento previo.</p> <p>Estado de práctica corriente o habilidad.</p> <p>Personalidad e inteligencia variables.</p> <p>Motivación y actitudes.</p> <p>Estado emocional.</p> <p>Estrés (mental o físico).</p> <p>Conocimiento de estándares de conocimiento requerido.</p> <p>Diferencias de sexo.</p> <p>Condición física.</p> <p>Actitudes basadas en influencia de familia y otras personas o agencias externas.</p> <p>Identificaciones de grupo.</p> |
| <p>La herramienta simple mas importante para la mayoría de las tareas:</p> <p>Instrucciones de Trabajo y Tareas</p> <p>Procedimientos requeridos, (escritos o no escritos)</p> <p>Precauciones y advertencias.</p> <p>Métodos de trabajo.</p> <p>Políticas de planta (prácticas de taller).</p> | | | |

- incredulidad.- El operador humano no cree en la información que se le transmite;
- esfuerzo.- El operador humano reconoce inmediatamente la seriedad del accidente y del riesgo, pero la tensión psicológica lo lleva a reaccionar muy tarde o tomar acciones inapropiadas.

Los mecanismos sugeridos de mal-funcionamiento de operadores humanos en sistemas industriales grandes son los siguientes:

- la actividad mental consciente se activa pero consiste de validación de una hipótesis intuitiva sobre un subconjunto de información incompleta.
- la actividad mental consciente se activa y se tiene la información adecuada, pero el procesamiento de ésta información es incorrecta.
- la ejecución incorrecta de la tarea, puede deberse a desarrollo insuficiente o defectos en el modelo usado por el operador.

Para comprender y predecir estos mecanismos de error se requiere lo siguiente:

- un análisis completo de la actividad mental implicada en una tarea dada;
- conocimiento de los modelos usados por el operador para representar la realidad.

2.4 Conceptos Principales

Cuando la brecha, margen o tolerancia entre el comportamiento real de un operador y el comportamiento definido como apropiado excede "límites aceptables", bajo "condiciones dadas", entonces existe un error.

Los "límites aceptables", pueden ser explícitos o implícitos, o volverse explícitos después de que se manifieste el error, y pueden definirse de acuerdo a:

- las características de la acción prescrita, definida por juicio profesional o por procedimientos formales;
- las consecuencias del error humano, especialmente sobre el sistema.

Las "condiciones dadas", excluyen los intentos malévolos y significan:

- condiciones operacionales bajo las cuales el operador debe cumplir sus tareas;
- las actitudes requeridas del operador, comprobando estar apto física e intelectualmente para llevar a cabo sus tareas.

2.5 Fases en la Evaluación de la Confiabilidad Humana (ECH)

Las fases que comprende la evaluación de la confiabilidad humana (ECH) son las siguientes:

- identificación de errores potenciales humanos;
- selección de errores significativos;
- análisis detallado de errores significativos;
- integración con el modelo del sistema;
- cuantificación;
- presentación del método usado y sus resultados;
- observaciones.

En paralelo con la ECH, también se debe estudiar el sistema con el que interactúan las personas; los dos estudios, estrechamente relacionados, constituyen el ensamble hombre-máquina, conocido como estudio completo.

2.5.1 Identificación de los errores potenciales humanos

La primera fase del estudio, es investigar acciones imprevistas (por procedimientos, reglas o prácticas de operación), que podrían haber sido efectuadas por el operador, y que pueden ser benéficas o perjudiciales.

Para guiar la investigación, es útil usar las clasificaciones de errores dadas anteriormente:

- no ejecución de una acción requerida;
- incorrecta ejecución de una acción requerida;
- acción extraña.

Para encontrar los errores de los primeros dos tipos, se deben identificar las acciones requeridas, consultando procedimientos de operación, pruebas periódicas y mantenimiento.

Se deben examinar con detalle los procedimientos más importantes, pero sin despreciar las acciones que parecen secundarias, que también pueden dar lugar a errores serios.

La búsqueda de errores del tercer tipo (acciones extrañas) es más delicada, y deben buscarse en el comportamiento de operadores en situaciones análogas, por ejemplo, en instalaciones similares reales, retroalimentación y en simuladores.

Para asegurarse que la ECH es completa, se deben usar varios métodos que tienen traslapes parciales, pero que cada uno puede proveer nuevos elementos; estos métodos incluyen:

- examen de procedimientos;
- retroalimentación de experiencia de operación;
- resultados de pruebas en simuladores;
- ECH's previas;
- estudios de análisis de sistemas (AMFE, árboles de causas y consecuencias).

2.5.2 Selección de errores significativos

No es posible ni útil, hacer un análisis detallado de todos los errores potenciales de la fase anterior; la selección, depende del nivel de detalle elegido para la ECH y su ensamble. La importancia de un error, depende de varios parámetros:

- sus consecuencias, si el error solo lleva directamente a un evento indeseable o debe combinarse con otros errores o averías;
- la probabilidad de averías u otros errores, con las cuales el error debe combinarse, con objeto de traer el evento indeseable;
- la probabilidad de error en si misma.

Dependiendo del grado de selección deseada, se usan uno o varios de éstos parámetros para clasificar los errores.

Al final de esta fase, se tendrá una lista de errores que se juzgan útiles para ser analizados en detalle.

2.5.3 Análisis detallado de errores significativos

En ésta etapa, se reúne toda la información que permita estimar la probabilidad de cada error; este análisis cualitativo, no solo es preliminar para hacer cuantificaciones, sino que permite obtener:

- factores que pueden contribuir a la ocurrencia de errores;
- puntos débiles en la interacción hombre-máquina.

La introducción subsecuente de probabilidades, es simplemente una forma de jerarquizar errores, y así facilitar la elección entre mejoramientos posibles, que pueden hacerse en el sistema hombre-máquina.

Se debe proceder a hacer un análisis ergonómico de cada acción que podría estar afectada por los errores bajo consideración; para cada acción debe observarse:

- las características de la acción, por ejemplo, complejidad, tiempo disponible, tiempo necesario, integración en una secuencia, etc.
- las características de la interfase hombre-máquina:
 - i. Calidad del diseño del equipo
 - ii. Calidad de los procedimientos escritos, en forma y contenido.
 - iii. Legibilidad de los registros: equipos de medición, alarmas, etc.
 - iv. Arreglos de controles, etiquetado y distribución de controles en el tablero de control o en el material.
 - v. Medios de comunicación.
 - vi. Otros.
- características del ambiente como calor, ruido, iluminación, dificultades en el acceso, peligrosidad del área de trabajo, ropa de protección requerida, etc.
- características organizacionales como distribución de tareas, reglas administrativas (consignación de materiales, uso de procedimientos o de herramientas, chequeos, etc.).
- formas de restablecer errores como medios de detección (alarmas, verificaciones), tiempos límites y medios de intervención, etc.
- consecuencias de los errores.

Esta lista es conforme a la Tabla III-1, Factores que Modelan el Comportamiento (FMC) en los sistemas hombre-máquina.

Con objeto de dar seguimiento en las mejores condiciones al análisis, después del final de la visita, es muy útil tomar fotografías detalladas.

El nivel de detalle del análisis, se elige en función de los objetivos de la ECH y de los modelos de cuantificación que se usen. Al final de esta fase se tendrán:

- nuevas posibilidades de error descubiertas, que deben agregarse a la lista original.
- identificados puntos débiles en la interacción hombre-máquina.
- reunida la información necesaria para hacer cuantificaciones.

2.5.4 Integración con la Modelación del Sistema

El sistema puede modelarse con los métodos de árbol de causas o de fallas, y ya que la ECH está interconectada con el estudio del sistema, no se puede cuantificar independientemente, es decir, la integración de la ECH en el árbol de causas o fallas debe perfeccionarse.

Se debe también estudiar la dependencia, entre los mismos errores, y entre los errores y las fallas de la arquitectura, siendo éste un punto tan importante como delicado:

- importante, porque la dependencia es un factor de peso en la cuantificación, y porque los errores humanos altamente entrelazados, con frecuencia dependen de errores o averías previas;
- delicado, porque la experiencia muestra que estas dependencias son difíciles de predecir.

Esto indica, que puede ser indispensable llevar a cabo análisis similares, para buscar causas de fallas comunes, debiéndose buscar puntos comunes entre errores como:

- acciones usando la misma información
- acciones usando los mismos medios de control
- acciones con el mismo razonamiento
- el mismo diagnóstico

Los árboles de causas, deben modificarse de acuerdo con las dependencias que se hayan encontrado.

2.5.5 Cuantificación

Una vez introducidos los errores en los árboles, ya no se distinguen de las averías de equipos, y se les deben asignar probabilidades y calcular los árboles con los métodos usuales.

Después de que se ha cuantificado todo el estudio, se recomienda evaluar la sensibilidad de los resultados a las modificaciones, en la probabilidad de errores humanos en los de mayor peso.

Las incertidumbres altas, asignadas por modelos comunes, significan que un resultado final será poco significativo, si no es acompañado por un estudio de sensibilidad o un factor de error.

2.5.6 Presentación del planteamiento usado y sus resultados

Los errores humanos dependen de tantos factores que una ECH necesita de mucha clasificación de información, hipótesis y juicios, que deben hacerse explícitos en el informe final, si se quiere hacer verificable la ECH.

Cada informe, debe incluir para cada hipótesis de árbol cuantificado, los modelos e información cualitativa obtenida, así como sus fuentes.

2.5.7 Observaciones

La sucesión lineal de fases descrita es esquemática, porque la ECH es un proceso interactivo, con varios pasos hacia adelante y hacia atrás en las fases. La ECH está situada en la intersección de tres dominios de conocimientos:

- confiabilidad, porque la ECH está muy ligada con el estudio de sistemas, y deben integrarse en su modelación.
- ergonomía, porque la ECH incluye análisis detallado de tareas y de interfase hombre-máquina.
- ingeniería de sistemas (eléctricos, mecánicos, termohidráulicos, etc.); la ECH requiere comprender:
 - i. El porque de cada acción.
 - ii. Restricciones de tareas (límites de tiempo, etc.).
 - iii. Consecuencias de errores.

2.6 Modelos de Cuantificación

Los modelos de cuantificación, permiten equiparar una probabilidad de un error como una función de las características de la situación, o de los factores que modelan el comportamiento FMC; los factores que con frecuencia se toman en cuenta, son:

- la complejidad de la acción
- el tiempo disponible
- el diseño de la interfase
- la fatiga del operador
- la experiencia y entrenamiento del operador

Algunos de estos modelos son los siguientes.

2.6.1 TESEO (Tecnica Empirica Stima Errori Operatori)

En este modelo, desarrollado en Italia, la probabilidad de error P (E) esta representada en la siguiente forma:

$$P (E) = K1 \times K2 \times K3 \times K4 \times K5$$

en donde:

K1 = complejidad de la acción;

K2 = tiempo disponible;

K3 = experiencia y entrenamiento del operador;

K4 = emociones del operador, de acuerdo a la gravedad de la situación;

K5 = interfase hombre-máquina y ambiente.

Los valores de Ki se dan en tablas del siguiente tipo:

| Complejidad de la acción | K1 |
|------------------------------------|-------|
| Acción simple, habitual | 0.001 |
| Acción habitual, pero con atención | 0.01 |
| Acción no-acostumbrada | 0.1 |

2.6.2 THERP (Technique for Human Error Rate Prediction)

Esta técnica varía con el tipo de tarea considerada:

- elaboración de un diagnóstico
- comportamiento de acciones de operación o mantenimiento

En el primer caso, cuando se presenta un incidente, el operador debe:

- efectuar una diagnosis;
- inferir las acciones que deben tomarse;
- llevar a cabo las acciones necesarias.

Este modelo, da la probabilidad de falla de diagnosis P (E), en función del tiempo disponible $F_i(t)$ para hacerla; se expresa por:

$$P (E) = F_i (t)$$

En la Fig. III-2, se muestran tres curvas para obtener las probabilidades $P(E)$ en función de $F_i(t)$, que cubren diferentes formas de fallas de diagnóstico (ausencia de diagnóstico, errónea), para las siguientes características de la situación, cuando son:

- favorables;
- promedio;
- desfavorables.

Es decir, se pueden tomar en cuenta globalmente otros factores diferentes al tiempo.

La aplicación de estas curvas presupone que:

- la situación se detecta definitivamente como anormal;
- la selección de las acciones se lleva a cabo inmediatamente que se hace la diagnosis;
- la diagnosis detecta la elección del procedimiento, que a su vez detecta la acción.

El modelo, se adapta a diversos intervalos de tiempos necesarios para hacer la diagnosis, desde 1 minuto hasta varias horas.

En el segundo caso de comportamiento en acciones programadas (operación o mantenimiento), el método es algo diferente, empezándose por dividir la tarea en operaciones elementales, como:

- leer un indicador
- presionar un botón
- abrir una válvula, etc.

Después se construye una estructura de árbol de fallas, especificando las tareas en cuestión, y este diagrama representa las combinaciones posibles de errores entre las operaciones elementales.

La probabilidad de cada error elemental $P(E)$, se estima en la siguiente forma:

$$P(E) = P_1 \times K \times P_2$$

en donde:

- P_1 = probabilidad básica, en función de las características de la operación y de la interfase hombre-máquina.
- K = coeficiente de corrección, que toma en cuenta la fatiga del operador.
- P_2 = probabilidad de no-restablecimiento del error, de acuerdo a los factores disponibles de restablecimiento.

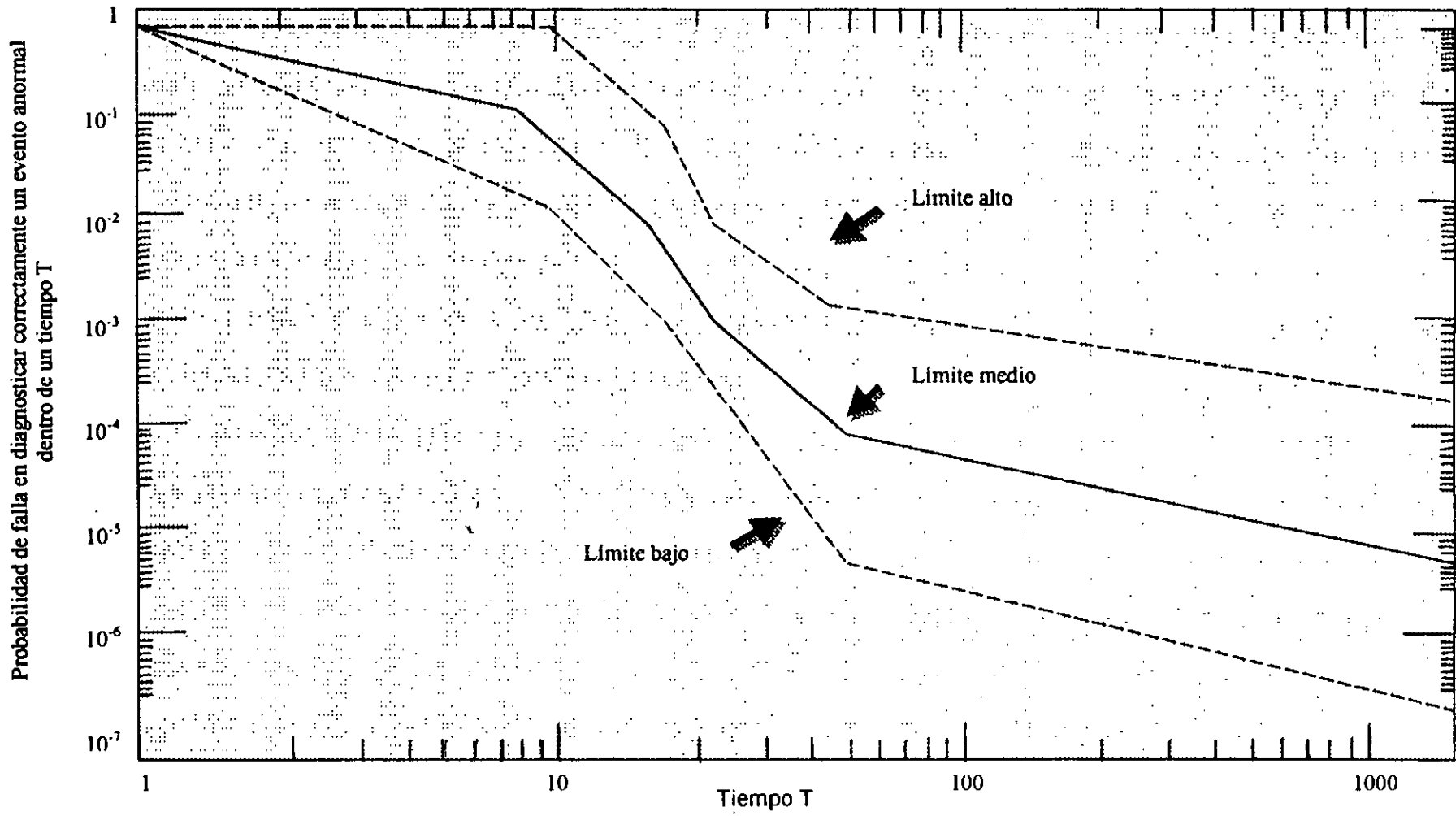


FIG. III-2.- MODELO PARA DIAGNOSTICAR DENTRO DE UN TIEMPO T UN EVENTO ANORMAL POR PERSONAL DE LA SALA DE CONTROL

Se tienen valores en tablas, de probabilidades, por ejemplo, de:

- omisión;
- lectura equivocada;
- error en la selección de un indicador o de un control;
- detección de un error o anomalía;
- respuesta a una alarma;
- coeficiente de fatiga o estrés.

Las características situacionales no aparecen explícitas en las Tablas, y se deben tomar en cuenta de manera global: límite superior, si las condiciones son desfavorables y límite inferior, si son favorables. En las Tablas III-2 y III-3 se muestran dos ejemplos.

Una vez estimadas las probabilidades de errores elementales, se calcula el árbol de fallas, y un modelo cuantitativo permite introducir las dependencias.

2.6.3 HCR (Human Cognitive Reliability)

Este método, desarrollado por el EPRI (Electric Power Research Institute), estima la probabilidad de ausencia de respuesta a una incidencia P (E), en la siguiente forma:

$$P(E) = F_i \frac{t}{T^{1/2}} (1 + k_1) (1 + k_2) (1 + k_3)$$

en donde:

t = Tiempo disponible para elegir y ejecutar la respuesta;

$T^{1/2}$ = Estimación del tiempo medio necesario;

k1 = Una función de la competencia del operador;

k2 = Una función de la fatiga;

k3 = Una función de las características de la interfase-máquina.

Los factores K se dan en tres tablas, y dependiendo de la complejidad del proceso de respuesta elegido puede usarse una de las tres curvas F_i proporcionadas:

- Una curva, corresponde al caso en el cual la respuesta elegida puede ser hecha automáticamente, definida como comportamiento basado en la habilidad.
- Una segunda curva, cubre los casos que requieren comportamiento basado en reglas;
- La tercera curva, se usa cuando son necesarios la reflexión y el análisis (comportamiento basado en el conocimiento).

2.6.4 Modelos de Simulación

Los modelos anteriores fueron diseñados específicamente para ECH. En los modelos de simulación, se estudia el comportamiento humano por medio de computadoras y se cuantifican los errores humanos. Las cuatro etapas que siguen a un incidente se desagregan en sus operaciones básicas:

- detección
- procesamiento de información
- acción
- corrección de error

TABLA III-2 .- PROBABILIDADES DE ERROR HUMANO
Probabilidad estimada de errores de omisión,
cuando el uso de procedimientos escritos está especificado.

| Núm. | Omisión de parte | Probabilidad |
|---|---|--------------|
| Cuando el procedimiento con previsiones de chequeo se usa correctamente. | | |
| 1 | Lista corta, ≤ 10 partes | 0.001 |
| 2 | Lista larga, > 10 partes | 0.003 |
| Cuando se usa procedimiento sin previsiones de chequeo, o cuando se usa incorrectamente previsión de chequeo. | | |
| 3 | Lista corta, ≤ 10 partes | 0.003 |
| 4 | Lista larga, > 10 partes | 0.01 |
| 5 | Cuando procedimientos escritos están disponibles y deben ser usados, pero no se usan. | 0.05 |

TABLA III-3 .- PROBABILIDAD DE ERROR HUMANO (PEH)
Estimado por errores de selección de válvulas operadas localmente.

| Núm. | Error potencial | Probabilidad |
|---|---|--------------|
| Error de selección, en cambio o restauración de una válvula, operada localmente cuando se manipula. | | |
| 1 | Etiquetada claramente y sin ambigüedad, separada de válvulas que son similares en todo lo siguiente: tamaño y forma, estado, o presencia de etiquetas. | 0.001 |
| 2 | Etiquetada claramente y sin ambigüedad, parte de un grupo de dos o más válvulas que son similares en uno de lo siguiente: tamaño y forma, estado, o presencia de etiquetas. | 0.003 |
| 3 | Etiquetada sin claridad o con ambigüedad, separada de válvulas que son similares en todo lo siguiente: tamaño, y forma, estado y presencia de etiquetas. | 0.005 |
| 4 | Etiquetada sin claridad o con ambigüedad, parte de un grupo de dos o más válvulas que son similares en uno de lo siguiente: tamaño y forma, estado, o presencia de etiquetas. | 0.008 |
| 5 | Etiquetada sin claridad o con ambigüedad, parte de un grupo de dos o más válvulas que son similares en todo lo siguiente: tamaño y forma, estado y presencia de etiquetas. | 0.01 |

A cada operación se le asigna una distribución de tiempo de ejecución; esta distribución, puede modificarse considerando ciertas situaciones características (tipo de señal, tipo de procedimiento, etc.).

Los errores se introducen durante la etapa de acción, con una cierta probabilidad de ocurrencia.

Las probabilidades y distribuciones, se emiten por las experiencias de operación y pruebas de simuladores.

Este modelo tiene numerosas limitaciones:

- no representa un proceso de conocimiento complejo
- enfoca errores solo a nivel de acción
- toma en cuenta solo a un limitado número de factores

Sin embargo, sus principios básicos de usar datos de experiencias de operación y pruebas de simuladores, le dan un valor importante.

2.7 Datos

Un análisis de los modelos de cuantificación, revela que uno de los principales problemas de las ECH, son la falta de datos observados sobre el comportamiento humano, reunidos en conjuntos reales o experimentales, por lo que su predicción con frecuencia es algo especulativa.

Para resolver esta dificultad, se usan varios métodos para reunir datos cualitativos y cuantitativos, como:

- retroalimentación de operación;
- simuladores;
- juicio de expertos;
- experimentos de laboratorio;
- bancos de datos.

2.7.1 Recolección de datos.

2.7.1.1 Retroalimentación de operación

El método más natural de recolección de datos, es estudiar lo que pasa en sistemas análogos en existencia, p.e.

- Se pueden hacer pruebas para identificar tiempos de intervención e información cualitativa.
- Inventariar y analizar incidentes de operación (muy usado en el campo aeronáutico y nuclear).

Se hace un resumen del informe de todos los incidentes, bajo un criterio pre-establecido, ya sea que su causa sea material o humana, y se analizan en detalle los más significativos. Esta es una fuente de valiosa información para las ECH, p.e.

- Tipos de errores
- Modos de razonamiento
- Tendencias de operadores
- Obtención de datos cuantitativos (principalmente tiempos de reacción)

No obstante lo anterior, este método tiene importantes defectos:

- Muchos errores no llevan a un incidente, por lo tanto nunca se registran.
- Con frecuencia es difícil determinar el número de oportunidades, a las cuales el número de errores debe ser igualado, para calcular frecuencias.
- No se tiene acceso directo a información, puesto que no se hacen observaciones en tiempo real, y los datos pueden ser alterados por protagonistas, voluntariamente o no.
- Afortunadamente, los incidentes serios son raros; la retroalimentación de operación, da varios elementos sobre la conducta, durante situaciones de accidente.

Para resolver la primera de éstas dificultades, en el campo aeronáutico se ha organizado una colección de todos los eventos que pueden provocar un incidente, se hace un informe sumario espontáneamente por el individuo involucrado o por un observador, aún si no hubo consecuencias importantes.

Los otros defectos de la colección de incidentes, pueden superarse usando otros medios, en particular simuladores.

A pesar de estas deficiencias en relación con la ECH, el uso de retroalimentación de la experiencia es esencial, porque el comportamiento humano está unido altamente al contexto.

Las observaciones hechas en un contexto real, son indispensables para calibrar los otros métodos usados:

- Simuladores
- Estudios de laboratorios
- Juicio de expertos

2.7.1.2 Simuladores

Los simuladores están compuestos de dos partes:

- Una imitación (frecuentemente a escala de 1:1), de todo o parte de la sala de control; los operadores, pueden actuar sobre los controles y seguir la evolución de los parámetros sobre los indicadores.
- Una computadora mueve la imitación, calculando la evolución de parámetros, como una función de las condiciones definidas al inicio (p.e. una rotura simulada) y la maniobras hechas por los operadores.

Estos simuladores tiene las siguientes características principales:

- Reproducen la conducta normal y en accidente.
- Son herramientas esenciales de entrenamiento (en industrias nuclear y aeronáutica)
- Se obtienen datos del comportamiento de un operador.

La organización de campañas de pruebas periódicas de personal de turno en simuladores, incluye lo siguiente:

- Cada turno esta compuesto por dos operadores, un supervisor de turno y un consultor técnico de turno.
- En cada campaña se simulan varios accidentes.
- Se explican los objetivos al personal y se les pide que actúen de la manera mas realista posible.
- No se les indica el tipo de accidente simulado.
- Se garantiza el anonimato y la retroalimentación de los resultados de la campaña.
- La simulación dura desde una a varias horas.
- Durante la prueba se filma a los operadores, se registran las palabras intercambiadas y varios valores físicos que caracterizan el estado del equipo.
- Cada uno de los operadores es seguido por un observador, que anota principalmente los momentos en que se hacen los errores y acciones.
- Otro observador sigue los diálogos y comportamiento del supervisor y consejero de turno.
- Después de la simulación, se entrevista al personal para conocer que dificultades se encontraron, y escuchar sus observaciones sobre la prueba, la sala de control y los procedimientos usados.
- El diálogo anterior, también permite a los observadores, asegurarse que comprendieron correctamente la evolución de la prueba, y el comportamiento del personal.

A través del análisis de estas pruebas se puede obtener información sobre la calidad de:

- La sala de control
- Procedimiento
- Organización
- Entrenamiento
- Información sobre las ECH como: tiempo de diagnóstico, tiempo de ejecución, y tipos y mecanismos de error.

Por encima de todo, los simuladores son una excelente fuente de datos, en la medida en que permiten:

- Estudiar accidentes que nunca han pasado en la realidad.
- Dominar ciertos factores de comportamiento.
- Realizar observaciones finas, en tiempo real y en retrospectiva (grabación de videos).
- Determinar el número de oportunidades de error, calculando sus probabilidades.

Por contraparte, las desventajas de los simuladores son:

- Costo; cada hora de simulador es muy cara, y con frecuencia la prioridad se le da al entrenamiento.
- Metodología; la situación de los operadores durante la simulación no es muy representativa de la realidad, aún si se simula muy bien la operación de la planta. En particular, el personal espera ser confrontado con una accidente, lo cual debe tomarse en consideración cuando se interpreten los resultados, aconsejándose para este caso, llevar a cabo comparaciones sistemáticas de incidentes reales y sistemáticas

2.7.1.3 Juicios de expertos

Los juicios expertos se han usado ampliamente para elaborar modelos corrientes, para llenar la brecha dejada por otras fuentes de datos.

Se han desarrollado métodos para mejorar su confiabilidad, dando criterios para:

- La selección de expertos
- Establecer procedimientos de juicio
- Medios de verificación

El número de expertos por consultar depende de la precisión deseada, aunque en general asciende a un máximo de ocho.

2.7.1.4 Experimentos de Laboratorio

Los experimentos de laboratorio, permiten estudiar tareas muy específicas con gran precisión, pero esta especificidad presenta dificultades para el uso directo de sus resultados por los ECH, sin embargo, se han usado experimentos de este tipo para validar modelos de ECH. Los resultados obtenidos, son consistentes con los resultados de pruebas de simuladores.

2.7.2 Banco de Datos

La información hecha con la ayuda de los métodos mencionados, debe ser procesada y agrupada en bancos de datos, con objeto de que sea utilizable.

Algunos tipos de bancos de datos proporcionan sólo información cualitativa, por ejemplo, descripción estandarizada de errores. La información de diferentes fuentes se agrupa en forma homogénea, sin someterla a análisis estadístico.

El valor de un sistema de este tipo, es que permite a los varios usuarios llevarlas a sus tratamientos específicos de interés.

En la Tabla III-4, se muestran las principales características para describir un error, en un sistema de clasificación estandarizado, para reportar errores, que puede servir como estructura para un banco de datos.

Las características (cerca de 100 en total), son alimentadas al banco de datos vía un programa de entrada, que proporciona al usuario la elección de varias opciones disponibles, bajo el encabezado de la Tabla III-4.

Como los especialistas deben tener acceso inmediato a los datos cuantitativos necesarios, se han diseñado varios bancos de datos de confiabilidad humana para lograr este objetivo. Con frecuencia estos bancos tienen un método muy analítico, por ejemplo:

- Probabilidad de error para acciones básicas, como "leer un manómetro" o "presionar un botón", de los bancos del American Institute for Research AIR o del American Navy.
- Altamente específicos para un tipo de actividad, como el Aerojet bank, para el mantenimiento del sistema de propulsión del cohete Titan II.
- Se apoyan fuertemente en el juicio de expertos, como la base de datos del THERP.

**TABLA III-4.- DESCRIPCION NORMALIZADA DE ERRORES HUMANOS.
PRINCIPALES CARACTERISTICAS REGISTRADAS PARA CADA ERROR**

| Característica | Descripción |
|-------------------------------------|---|
| Identificación | Planta, tipo, fuente de datos, fecha. |
| Descripción | Descripción del error a estilo libre. |
| Número de oportunidades | |
| Estado del (reactor, caldera, etc.) | Plena carga, paro frío. |
| Transitorio iniciador. | Tipo de incidente durante el cual se produjo el error. |
| Actividad | Actividad de la persona que hizo el error (operación, prueba, mantenimiento). |
| Localización | Local donde se produjo el error. |
| Modo de error | Modo (no-realizado, mal-realizado) y operación afectada (control, diagnóstico, etiquetado, etc.). |
| Mecanismo psicológico | Mecanismo básico (no-percibido, error de lógica,) y mecanismo global (imagen inadecuada de meta). |
| Equipo (hardware) afectado | Números de identificación de componentes del sistema afectado. |
| Interfase | Error cometido usando que elemento de interfase hombre-máquina (display o despliegue, control, procedimientos)? |
| Calidad de interfase | Características de la interfase. |
| Interfase requerida | El operador supuso usar un elemento de interfase (procedimiento)? Si fue así, que hizo? |
| Dependencia | Dependencia del error en relación con otros errores. |
| Factores dinámicos | Estaba distraído el operador? Algún cambio previo favoreció el error? |
| Características de la operación | Complejidad, número de operaciones en paralelo, restricciones de tiempo, frecuencia de la operación. |
| Ambiente | Temperatura, nivel de sonido, dificultades de acceso. |
| Estatus del operador | Departamento, función. |
| Características del operador | Nivel de activación, motivación, número de horas de trabajo previas al error, experiencia, entrenamiento. |
| Consecuencias reales | Consecuencias para el equipo, seguridad y producción. |
| Consecuencias potenciales | Igualas categorías que anterior. |
| Detección | Momento de detección, departamento y función del detector, circunstancias y medios de detección. |
| Verificación requerida | Esta prescrita por reglas de procedimiento una verificación de la operación en que tuvo lugar el error? Si es así, estuvo bien hecha la verificación? |
| Recuperación (corrección) | Si fue corregido el error: cuándo? Si no, era corregible de hecho? |
| Acciones de remedio | Acciones tomadas para prevenir la repetición del error. |

2.7.3 Rango de Valores

Los siguientes datos, son los rangos de valores generalmente encontrados en la estimación de probabilidades de error humano.

Las probabilidades de error por acción, generalmente se encuentran entre 1 y 10^{-5} , con un valor común de 10^{-3} , correspondiente a una acción de dificultad moderada, con la siguiente distribución general:

- De 5×10^{-5} a 5×10^{-3} para actos "automáticos".
- De 5×10^{-4} a 5×10^{-2} para actos "basados en reglas".
- De 5×10^{-3} a 5×10^{-1} para actos "basados en conocimiento".

Las probabilidades dependen grandemente de la naturaleza de la tarea, p.e., para tareas de respuestas a señales que sólo requieren vigilancia, se tiene las siguientes probabilidades de error P, en función del tiempo disponible de respuesta:

| | | | | |
|----------|------------------|------------------|------------------|--|
| t (min.) | --- 1 | --- 5 | --- 10 | -----> 10 |
| P | 10 ⁻¹ | 10 ⁻² | 10 ⁻⁴ | de 10 ⁻⁵ a 10 ⁻⁴ |

Para tareas de diagnosis complejas, las probabilidades P de error son mucho más grandes, encontrándose lo siguiente:

| | | | | |
|----------|-------|----------------------|------------------|------------------|
| t (min.) | --- 1 | --- 5 | --- 10 | ----- 20 |
| P | 1 | 2 x 10 ⁻¹ | 10 ⁻¹ | 10 ⁻² |

Las probabilidades dependen también de las características de la situación, en particular, la tensión (stress) tiene considerable impacto sobre el comportamiento, habiéndose encontrado una probabilidad de acción peligrosa o inútil de 0.15.

En experimentos llevados a cabo por la armada de EUA, se encontró que el 30% de sujetos expuestos a un ataque simulado, ignorando que era simulacro, eran incapaces de llevar a cabo acciones que les permitieran quitar el peligro.

En la Tabla III-5, se muestran las probabilidades de error, de tareas simples, de una evaluación probabilística de riesgo EPR para un estudio de seguridad de reactor en EUA.

Los valores de la Tabla anterior, demuestran la gran variabilidad de probabilidades de error de acuerdo a la situación, por lo que se debe tener cuidado de no emplearlo, sin verificar primero su condición precisa de uso.

TABLA III-5.- PROBABILIDADES DE ERRORES HUMANOS, UTILIZADAS EN ESTUDIOS DE SEGURIDAD DE REACTORES NUCLEARES EN EUA.

| PROBABILIDAD DE ERROR HUMANO | ACTIVIDAD |
|------------------------------|---|
| 3×10^{-3} | Errores de omisión, en donde la parte omitida esta incluida en un procedimiento en lugar que en la parte final. |
| 3×10^{-2} | Errores de aritmética simple con autochequeo, pero sin repetir el cálculo rehaciéndolo en otra hoja de papel. |
| 10^{-1} | Cuando el operador acciona el interruptor equivocado de una válvula operada por motor (VOM), y no nota que la lámpara indicadora de la VOM ya está en el estado deseado, y solamente cambia el estado de la VOM, sin observar que seleccionó el interruptor equivocado. |
| N 1.0 | Igual que el anterior, excepto que el estado del interruptor incorrecto no está en el estado deseado. |
| N 1.0 | Si un operador falla para operar correctamente una de dos válvulas, o interruptores acoplados muy cerca en una etapa de procedimiento, también falla para operar correctamente otra válvula. |
| 10^{-1} | El monitor o el inspector, fallan en reconocer el error inicial del operador. Nota. - Con retroalimentación continua del error en el tablero de alarmas, este error no aplica. |
| 10^{-1} | Personal de diferente turno de trabajo, falla en checar la condición del equipo (hardware), a menos que sea requerido por lista de chequeo (check list), o por directiva escrita. |
| 5×10^{-1} | Monitor falla en detectar posición no deseada de válvulas, etc. durante inspección general de rondín, suponiendo que no se usa lista de chequeo. |
| 0.2 a 0.3 | Error general, dado muy alto nivel de tensión (stress), en donde actividades peligrosas están ocurriendo rápidamente. |
| N 1.0 | El operador falla en actuar correctamente en los primeros 60 segs, después de que inicia una condición de extremadamente alta de tensión, p.e., un grande LOCA (Loss of coolant accident) accidente de pérdida de enfriamiento. |
| 9×10^{-1} | El operador falla en actuar correctamente en los primeros 5 min., después del inicio de una condición de tensión extremadamente alta |
| 10^{-1} | El operador falla en actuar correctamente después de los primeros 30 min., en una condición de alto stress (tensión). |
| 10^{-2} | El operador falla en actuar correctamente, después de las primeras varias horas en una condición de alto stress |
| X | Después de 7 días de un gran LOCA, hay recuperación completa al régimen normal de error X para cualquier tarea. |
| 10^{-4} | Selección de operar un interruptor (switch), en lugar de otro (no incluye error de decisión del operador, que mal interpreta la situación y cree que el interruptor es la elección correcta) |
| 10^{-3} | Selección de un interruptor (o par), disimilar en forma o localización al interruptor deseado (o par), suponiendo no error de decisión, p.e. el operador actúa el interruptor manual grande en lugar del pequeño. |
| 3×10^{-3} | Error humano general de comisión, p.e lectura equivocada de etiqueta y por lo tanto selección equivocada de interruptor |
| 10^{-2} | Error humano general de omisión, en donde no hay despliegue (display) en la sala de control, del estado de la parte omitida, p.e. falla en regresar manualmente válvula de prueba operada a la configuración apropiada, después de mantenimiento. |

3. RIESGOS POR LA ELECTRICIDAD

3.1 Conocimientos necesarios

La investigación de los riesgos o peligros involucrados con la electricidad y rayos requiere de:

- Un conocimiento básico de la electricidad;
- Los efectos de la electricidad, relacionados con los peligros de incidentes y accidentes;
- El funcionamiento normal y anormal de los componentes y sistemas eléctricos.

La electricidad utilizada en los hogares, comercios, servicios e industrias se genera y se transmite a los usuarios por compañías Eléctricas, cuyas actividades y prácticas están gobernadas por Leyes, Códigos y Normas, especialmente desarrollados para regular la:

- generación;
- transmisión;
- seguridad;
- comportamiento.

Los usuarios de electricidad la utilizan en sistemas de bajo voltaje; estos sistemas, también deben cumplir con códigos y normas específicos en lo concerniente a la seguridad y comportamiento.

Para el análisis de los riesgos de la electricidad, se deben comprender varios términos eléctricos, entre los que se encuentran los siguientes.

Voltaje.- Es una medida de la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos cualquiera, expresada en unidades de volts (V). Es importante hacer énfasis en que el voltaje, en cualquier punto específico siempre debe medirse con respecto a algún otro punto.

Corriente.- El flujo de corriente en un conductor, medido en amperes (A), está relacionado al régimen de flujo de la carga eléctrica (coulombs/segundo) en el conductor. Las colisiones mecánicas, entre los portadores de carga y la estructura molecular del conductor producen calor; este calor, producido en un conductor, está relacionado con el cuadrado de la corriente y la resistencia del conductor, y se conoce como efecto joule (I^2R).

Resistencia (R), Impedancia (Z), Ley de ohm. La resistencia o impedancia al flujo de la corriente, se mide en ohms; por lo general se usa el símbolo de la letra griega ω , como abreviación de la palabra ohm.

En circuitos de corriente directa o corriente alterna, con solamente carga resistiva, el flujo de la corriente, se obtiene dividiendo la diferencia de potencial (voltaje) en el circuito entre la resistencia; a esta relación, se le conoce como ley de ohm. ($I = V/R$)

En circuitos de corriente alterna con cargas inductivas y/o capacitivas, se usa la impedancia total en la ley de ohm para determinar el flujo de corriente.

Frecuencia.- La corriente y voltaje suministrados por la compañía son alternas: se alterna entre amplitudes de picos negativos y positivos (senoidalmente), en forma regular a 60 ciclos/seg. La unidad de ciclo/seg., se conoce con el nombre de hertz, abreviada Hz.

Potencia y Energía.- La potencia en un circuito, que se mide en watts (W), está relacionada con el producto de la corriente efectiva en el circuito por el voltaje efectivo, a través del circuito.

Para corriente directa de flujo estable, el valor efectivo de la corriente o el voltaje es constante; los medidores de corriente directa muestran el promedio de la corriente.

Para corriente alterna, el valor efectivo de la corriente o el voltaje, es el valor medio de la raíz cuadrada (mrc), o bien el valor pico dividido entre la raíz cuadrada del número 2 (para forma senoidal); los medidores de corriente alterna, están calibrados para mostrar la media de la raíz cuadrada (mrc).

La energía, en sistemas mecánicos y eléctricos, se mide en diferentes unidades, siendo las más usuales:

- el joule (J)
- el watt-hora (w-h) o kilowatt - hora (kw -h)
- la kilocaloría (kcal) o Caloría (Cal)
- la unidad térmica británica (BTU)

Un watt es equivalente al consumo de energía de un joule/seg.

La unidad de potencia usada en motores y máquinas más usual, es el horse power HP o caballo potencia; un HP es igual a 746 watts.

Cuando la corriente se expresa en amperes y el voltaje en volts, la potencia está dada en watts. Para una determinada potencia, mientras más alto es el voltaje, menor es la corriente. Esta circunstancia, se aprovecha en las líneas de transmisión para usar altos voltajes, aún cuando estos requieran un aislamiento mayor.

Falla.- El término falla, se aplica a una avería parcial o total en el aislamiento o continuidad de un conductor; también se usa para las condiciones físicas, que causan que un dispositivo, componente o elemento falle. Un corto circuito, es un paso de corriente no intentado anormal, entre dos puntos de diferente potencial, por ejemplo, entre dos conductores; un corto circuito entre un conductor y tierra o un conductor aterrizado, se conoce como falla a tierra.

Arco eléctrico.- Los arcos eléctricos, pueden causar o ser causados por fallas de equipos y fuegos, y también son parte importante en accidentes de contactos de líneas de potencia.

Dependiendo del tamaño y disponibilidad de energía, el arco eléctrico puede ser una fuente de ignición de fuego, a corrientes tan bajas como 15 A; la temperatura de un arco eléctrico, a estos niveles de corriente es de 2000° a 4000°C, y pueden causar daños si tienen suficiente disponibilidad de energía.

La rotura de la resistencia del aire que puede iniciar un arco eléctrico, depende de la forma de los electrodos y de la forma de onda del voltaje aplicado; un valor típico es de 30 kv por cm.

Una propiedad fundamental de los arcos eléctricos, es que no importa que tan pequeña es la separación de aire entre dos conductores, no puede haber rotura a través de una separación de aire, si el voltaje es abajo de 300 V, pero una vez iniciado el arco sólo se requieren 20 V por cm. para sostenerlo. Los arcos de voltaje, son prácticamente independientes de los arcos de corriente, y dependen primariamente de la longitud del arco.

Los gases calientes de un incendio, pueden permitir un arco a través del aire a voltajes muy por abajo de 30,000 v/cm.

3.2 Efectos fisiológicos de la electricidad

Los efectos fisiológicos de choques eléctricos, varían desde choques tan pequeños que casi no se perciben, hasta choques que producen daños severos a la piel y aún la muerte.

Para evaluar los casos de daños eléctricos, los parámetros eléctricos importantes son la magnitud y forma de onda eléctrica, como corriente alterna, corriente directa, pulso, o descarga de rayos.

Es necesario conocer la impedancia aproximada del cuerpo humano, para estimar en forma precisa la corriente de choque, cuando se conoce la diferencia de voltaje, aplicando la ley de ohm.

Cuando un individuo toca dos puntos con diferentes niveles de voltaje, completa un circuito eléctrico entre dos puntos. La corriente resultante, depende de la magnitud de la impedancia total del circuito, que es una serie de combinaciones entre los puntos de contacto de:

- el contacto de la piel del cuerpo, y
- la impedancia del cuerpo volumétrico.

La impedancia volumétrica, depende de la cantidad y tipo de piel del cuerpo en el paso de la corriente; en los voltajes alternos, es la impedancia en lugar de la resistencia del circuito, la que determina la magnitud de la corriente. La impedancia de contacto de la piel, incluye la impedancia de la piel y la impedancia de contacto en la interfase en la piel.

El voltaje, frecuencia, duración de la corriente, área de la superficie de contacto, presión de contacto, condición de la piel y nivel de humedad, todos influyen en la impedancia de contacto de la piel. Esta, varía en forma amplia desde miles de ohms con piel seca y área de contacto pequeña, hasta valores despreciables, cuando la integridad de la piel está afectada con laceraciones o por efectos del calentamiento de la corriente.

Las resistividades en el interior del cuerpo humano por huesos, fluidos y varias pieles, varían en forma muy amplia.

La impedancia del cuerpo humano es primariamente resistiva, con un valor mínimo de aproximadamente 500 ohms, entre cualquiera de dos miembros de extremidades. Este valor, podría corresponder a una resistividad promedio para el cuerpo, similar a un semiconductor o agua salada, o cerca de 1 ohm-metro.

La resistencia mínima de 500 ohm, podría indicar que la máxima corriente posible, para choque de miembro a miembro, como mano a mano o mano a pie, podría ser de 240 mA para un choque a 120 V. Es importante observar que, debido a la impedancia de contacto de la piel, la corriente real nunca alcanza este valor alto; adicionalmente, si en el paso de la corriente hay guantes, zapatos u otra ropa, se tiene impedancia adicional y la corriente potencial disponible se reduce más.

Usando los valores previos de resistividad, la resistencia más baja directamente a través del pecho, es del orden de 50 a 100 ohms.

Las impedancias totales típicas de miembro a miembro, con áreas de contacto grandes, dependen del voltaje aplicado:

- 1,750 ohms a 25V
- 1,125 ohms a 120V
- 750 ohms a 700V
- 650 ohms arriba de 1000V.

Estos valores (medidos en pruebas), indican que el valor de 500 ohms es conservador.

El umbral de percepción, para un contacto de la punta de un dedo a 60 Hz, es aproximadamente de 0.2 mA

Un nivel de corriente algo más alto que el umbral de percepción, se conoce con el nombre de nivel de corriente de dejar-ir (let-go); este nivel, es importante porque con una corriente de ésta magnitud fluyendo en la mano y brazo de un individuo, la mano involuntariamente se cierra, y agarra el contacto electrificado que tocó la mano o los dedos. Si no se rompe el contacto, puede decrecer la resistencia de contacto debido a la transpiración, desgarramiento de la piel o agarramiento más fuerte, permitiendo que corriente más grande y letal pase a través del cuerpo.

Los choques a niveles de corriente de dejar-ir son bastante dolorosos aunque por lo general no son letales, sin embargo, si no se rompe el contacto, entonces la resistencia de contacto de la piel de la persona puede decrecer, e incrementarse la corriente a un nivel letal y causar la muerte.

Se ha determinado, que un valor seguro es de 6 mA para corriente de dejar-ir, porque el choque a este nivel no congela al individuo en el circuito energizado.

Asfixia.- La asfixia, ocurre cuando el paso continuo de corriente a través de la cavidad del pecho, causa que se contraigan continuamente los músculos del pecho, interfiriendo con la respiración; esta corriente, es menor que el nivel que podría causar fibrilación ventricular, pero suficientemente grande para contraer los músculos, de forma que el individuo no pueda respirar o dejar-ir del circuito.

Paro respiratorio.- Los choques eléctricos, con una corriente que pase a través del centro respiratorio, pueden resultar en un paro respiratorio. El centro respiratorio en la médula del cerebro-tronco está en la base del cráneo, ligeramente arriba de una línea horizontal de atrás de la garganta, de forma que choques de la cabeza a un miembro o entre dos brazos, podrían causar un paro respiratorio.

Fibrilación ventricular.- La fibrilación ventricular, es una contracción no sincronizada y descoordinada de las fibras del músculo ventricular del corazón, en contraste con su contracción rítmica y coordinada.

Con la fibrilación ventricular, el corazón parece que tiembla en lugar de latir, cesa la circulación de la sangre, lo que es una situación de verdadera amenaza para la vida.

La fibrilación ventricular puede ser causada por un choque eléctrico, en donde el paso de la corriente es a través del pecho, como entre dos brazos o entre un brazo y una pierna a través del pecho.

Debido a que al empezar la fibrilación ventricular cesa la circulación de la sangre, las personas pierden la conciencia en 10 segs., y se empiezan a tener daños irreversibles en el cerebro a los 3 o 6 minutos, a menos que se inicie resucitación cardio pulmonar.

Por extrapolaciones, a partir de experimentos en animales, con posibles aplicaciones humanas, el valor de corriente de 60 Hz para choques, con paso de corriente I a través del pecho, que produzca fibrilación ventricular, esta dada por la siguiente expresión:

$$I = \frac{100}{t} \text{ mA}$$

en donde la duración del choque t , esta en segundos, y

$$0.2 \text{ s} < t < 2\text{s}$$

Los límites de seguridad de corriente propuestos, son los siguientes:

- 500 m A para choques con duración de menos de 0.2 segs.
- 50 m A para choques con duración mayor de 2 segs.

Asístola.- La asístola, ocurre cuando un corazón esta en pausa cardiaca y no late; ésta condición, puede ser causada por corrientes altas de choque, arriba de 1 A.

Debido a que las altas corrientes están asociadas con altos voltajes, las asístolas (a diferencia de la fibrilación ventricular) son con frecuencia la causa de muerte, por accidentes involucrando circuitos de potencia de 1,000 V o mayores. A diferencia de la fibrilación ventricular, la asístola en algunos casos puede convertirse a un ritmo normal de corazón.

3.3 Tierras de sistemas y equipos eléctricos

La mayoría de los sistemas eléctricos están aterrizados, es decir, uno de los conductores normales de corriente esta conectado al suelo.

Las partes metálicas expuestas de equipos que no transportan corriente, con frecuencia están conectadas a un conductor de tierra y al suelo.

Los objetivos de aterrizar los conductores de circuitos y sistemas eléctricos, así como los materiales conductores que encierran los conductores eléctricos o equipos, o bien que forman parte de dichos equipos, son los siguientes:

- limitar los voltajes en los sistemas eléctricos debidos a ondas por rayos;
- limitar los voltajes debidos a contactos no-intencionales, con líneas de voltajes más altos;

- estabilizar los voltajes a tierra, durante maniobras operativas en los sistemas eléctricos;
- limitar los voltajes a tierra de materiales conductores, que encierran conductores eléctricos o equipos o que forman parte de estos;
- facilitar la operación de dispositivos de sobrecorriente, en caso de fallas a tierra.

Si un sistema de distribución no está aterrizado sólidamente, una falla a tierra de un conductor energizado no puede ser detectado, hasta que ocurra una segunda falla.

Un contacto entre un conductor energizado y la parte metálica expuesta de un equipo o estructura no aterrizada, no puede detectarse y los dispositivos de protección no pueden limpiar la falla. El voltaje de la parte metálica expuesta, se eleva con relación a tierra hasta el voltaje del conductor energizado, y la superficie metálica expuesta energizada, representa un riesgo de accidente.

El aterrizar sistemas, circuitos y equipos al suelo en forma correcta no es una tarea fácil, ya que el suelo está compuesto de materiales de mala conductividad, comparados con los conductores metálicos, que tienen muy baja resistividad.

La resistividad, es una propiedad intrínseca, que determina la resistencia de una muestra de material, para una forma y tamaño dados; la resistencia de cualquier muestra de material, es directamente proporcional a la resistividad.

La resistividad de un suelo alrededor de un electrodo de tierra varía, dependiendo de la naturaleza del medio, desde agua salada hasta roca, con un rango de 1 a 10,000 Ω -m de resistividad del agua salada, y que es 10^7 veces mayor que la del cobre.

A pesar de la relativamente alta resistividad, la resistencia a la corriente del suelo, es sustancialmente cero una vez que la corriente está en el suelo, debido a la muy grande área de la sección transversal del suelo.

La resistencia de una conexión de tierra al suelo, es primariamente la resistencia del suelo en la inmediata vecindad del electrodo de tierra, en donde la corriente sale del electrodo de tierra para entrar al suelo.

Para aterrizar sistemas y equipos, se recomiendan electrodos de tierra de áreas grandes de contacto con el suelo, es decir, que tengan baja resistencia a tierra, por ejemplo:

- una tubería metálica para agua, con 3 m. o más de contacto directo con el suelo;
- un marco metálico de un edificio eléctricamente aterrizado;
- un electrodo enterrado cuando menos 5 cm. en concreto, localizado cerca del fondo de una cimentación o base de concreto en contacto directo con el suelo;
- un anillo de tierra, circulando un edificio o estructura;
- otras estructuras o sistemas metálicos locales bajo tierra;

- electrodos de varillas o tubos de cuando menos 2.50 m de longitud;
- electrodos placa, que expongan cuando menos 0.2 m² de superficie al exterior al suelo.

Se recomienda que la resistencia a tierra de electrodos sea de 25 Ω o menos.

La medición de la resistencia a tierra de los electrodos, por lo general requiere equipo especial; el método usual para hacer estas mediciones, se conoce como el método de tres terminales.

Es necesario seleccionar correctamente el tamaño o calibre de los alambres o cables, de los varios conductores que componen el sistema de tierras, con objeto de ayudar a cumplir el propósito primario del sistema de tierras, que es el de proveer una baja impedancia al paso de la corriente eléctrica a tierra, y minimizar la caída de voltaje, durante condiciones de falla, en las cubiertas metálicas de equipos.

Desde el punto de vista de seguridad, la importancia de un sistema efectivo de tierras, es la prevención de daños serios o muerte, limitando la cantidad de corriente disponible, que pase a través del cuerpo durante una condición de falla.

3.4 Fuego o incendios por electricidad

La electricidad puede producir fuego, que dé origen a incendios; por lo general el origen de éstos fuegos son los arcos eléctricos.

El inicio de un arco eléctrico, significa que se vence la resistencia dieléctrica del aire; el valor de ésta resistencia, depende de la forma de los electrodos y de la forma de onda del voltaje aplicado, sin embargo, se puede tomar como un valor típico el de 30 kV-cm., para que se inicie un arco eléctrico. Una vez iniciado el arco, sólo se requieren 20V por cm. para sostenerlo.

El fuego de otra fuente, puede carbonizar o fundir el aislamiento, y la diferencia de voltaje entre conductores puede iniciar un arco a 120 V ó menos, aún cuando los conductores no se toquen; los gases calientes o el aislamiento carbonizado, proveen el paso para la corriente de falla para iniciar el arco. Debido a que los conductores no se tocan durante el arco, hay una caída de voltaje en éste, que hace que la corriente de falla sea menor, que cuando los conductores están en contacto directo; esto, incrementa el tiempo necesario para que opere el dispositivo de protección de sobrecorriente del circuito, permitiendo un arqueo considerable.

El aislamiento plástico de PVC (Poly vinyl chloride), usado como aislamiento de alambres, se quema cuando se expone a la flama, pero se auto-extingue si se quita la flama, aunque puede quedar carbonizado, fragilizado y desprenderse. Una flama, no se propaga a lo largo del conductor, si se aplica al aislamiento en un punto del conductor.

Con frecuencia, el aluminio se encuentra fundido después de un fuego, el cobre con poca frecuencia, y el acero casi nunca se encuentra fundido; la razón de éstos fenómenos, son las temperaturas de fusión de estos materiales que son como sigue:

- aluminio 660°C
- cobre 1.083°C
- acero 1.535°C

Un arco eléctrico, con temperaturas en el rango de 2000°C a 4000°C, para corrientes de 2 a 20 A, puede fundir cualquiera de los metales anteriores, sin embargo, el arco debe tener suficiente energía para fundir la masa de metal, puesto que es el contenido de calor en el arco y no sólo la temperatura, lo que causa la fundición. Una chispa de baja corriente, puede tener alta temperatura, pero no tiene la energía requerida, para elevar la temperatura del metal hasta el punto de fusión.

En algunas ocasiones, se encuentran placas delgadas de acero que presentan agujeros, que parecen causados por fusión en fuego, sin embargo, estos agujeros por lo general se deben a oxidación rápida del acero, cuando está sujeto al fuego con temperaturas más bajas, que la de fusión del acero.

Los conductores de aluminio, transportan corrientes eléctricas también como los conductores de cobre, y cualquier problema con los conductores de aluminio, por lo general ocurre en el punto terminal o en las conexiones.

Si las terminales o conexiones de aluminio, no se seleccionan correctamente para la aplicación o no están bien instalados, una terminal o conexión apretada puede aflojarse con el tiempo; la terminal o conexión floja, puede sobrecalentarse y causar daños al equipo o fuego, aún cuando lleve la corriente de régimen o menor.

El aflojamiento gradual de terminales, se produce por la expansión y contracción del conductor de aluminio, causada por el calentamiento I^2R y el enfriamiento, conforme la corriente se conecta y se desconecta.

Adicionalmente, cualquier óxido en el aluminio, puede incrementar la resistencia de contacto de la terminal, y producir un incremento del calentamiento I^2R en la conexión.

Para asegurar una instalación segura, se deben limpiar apropiadamente las terminales y conductores de aluminio, y aplicar la presión correcta o par en las terminales o conductores.

Por lo general las muescas o mellas en conductores sólidos o algunas hebras partidas de conductores tramados, no son fuente de sobrecalentamiento importante de riesgo, porque el incremento de temperatura en el lugar del daño es mínimo,

ya que cualquier aumento de calor que se produzca, se aleja del resto de la masa del conductor, de forma que se limita la elevación de temperatura en la sección transversal reducida.

Los fuegos eléctricos, tienden a originarse en las salidas o en los equipos alimentados desde una salida, definiéndose a ésta como: un punto en el sistema de alambrado, en el cual se toma corriente para alimentar el equipo.

Los fuegos pueden iniciarse en receptáculos, cajas de salida, cables de conexión de aparatos, alumbrado de techo y otros dispositivos alimentados desde las salidas. Estos lugares, son mucho más probables de originar fuegos, que los lugares a lo largo de un tramo continuo de conductor.

El aislamiento del conductor no se quema sino es en fuego, de forma que el sobrecalentamiento del equipo eléctrico, no puede encender el aislamiento de un conductor; el aislamiento no actúa como una candela, y llevar fuego a otra área como combustible inflamable.

Las corrientes grandes de falla, pueden sobrecalentar las terminales o empalmes, mas cerca de la fuente de potencia que el sitio de la falla, pero la operación del dispositivo de protección de sobrecorriente del circuito, puede limitar el sobrecalentamiento. Por definición, las fallas de alta resistencia tienen baja corriente de falla, por lo tanto no deben sobrecalentar el aislamiento del conductor, terminales o empalmes flujo arriba del circuito desde la falla.

3.5 Protección de edificios, equipo y personal contra rayos

Los rayos pueden causar lesiones y muerte a personas y animales, así como daños considerables a la propiedad.

Cuando los principios físicos básicos se aplican apropiadamente, la protección contra rayos puede ser muy efectiva, pero es necesario conocer las características eléctricas de los rayos, así como del posible paso de la corriente a la tierra.

Cuando ciertos tipos de nubes y condiciones atmosféricas están presentes, es posible que se separen las cargas en un trueno de la nube; aún cuando el mecanismo de éste proceso no se conoce completamente, se sabe que la parte baja de una nube, por lo general tiene una carga negativa, mientras que la parte superior es positiva. Estas cargas negativas, inducen una carga positiva y un campo eléctrico en la superficie de la tierra.

Bajo ciertas condiciones, el fenómeno anterior produce descargas eléctricas (rayos), con ciertas características especiales en lo referente a inicio, dirección de descargas, ramificaciones, guías escalonadas, etc. Estas descargas tienen un pico medio de corriente de 30,000 A.

3.5.1 La atracción de los rayos.

Con excepción de las estructuras altas, como torres de radiodifusoras o edificios de más de 60 m de alto, que se encuentran bajo una nube, el conducto escalonado del rayo se inicia descendiendo de la nube cargada; un objeto en la tierra, no inicia un golpe de rayo o lo atrae, sino solo caen rayos que podrían haber golpeado en su cercanía o vecindad.

En estructuras altas, la guía escalonada puede iniciarse desde la estructura y viajar a la nube superior, de forma que el rayo se dispara por la estructura que esta en la tierra.

3.5.2 Niveles isoceráunicos

El nivel isoceráunico de una localización específica sobre la tierra, significa la indicación del número de "días de tormentas de truenos" por año, en esa localización.

Un día de tormenta de truenos, se define como un día en que, cuando menos un trueno se escucha, y no hay diferencia si hay muchos truenos o sólo es uno el que se escucha.

Un rayo, produce trueno por las ondas de choque, creadas por el repentino calentamiento del aire con el paso del rayo; se han reportado temperaturas pico hasta cerca de 30,000°C.

Debido a que el trueno, rara vez se escucha a más de 25 km. de distancia de su carrera, el escuchar el trueno indica que el rayo fue dentro de esa distancia, desde el observador.

El nivel isoceráunico, es útil en la determinación de regiones del país, en donde los rayos pueden ser un problema debido a su frecuencia.

3.5.3 Cono o Zona de Protección

Un objeto alto, tiende a atraer los rayos que podrían haber pegado en su vecindad; se considera que hay un cono de protección alrededor del objeto, por ejemplo, un poste alto metálico enterrado, puede proteger a otro objeto de un golpe de rayo, si está dentro del volumen cónico, cuya altura es el poste y la base es un círculo en la tierra con centro en el poste y radio igual al alto del poste.

Dentro del volumen del cono, el rayo tiende a pegar en el poste, en lugar de algún objeto que se encuentre dentro de este volumen. Este cono de protección, no es perfecto y existen casos de objetos dentro del cono que han sido golpeados por rayos.

Usando el concepto de cono de protección, se obtiene que la probabilidad que un objeto sea golpeado por un rayo, es proporcional al cuadrado de su altura sobre el área que lo rodea. El área es proporcional al cuadrado de la altura, que es el radio.

Los objetos o personas y animales dentro de la zona de protección, pueden ser dañados o lesionados aún si no son golpeados directamente; este daño, es causado por quemado lateral o corriente de tierra.

Cuando pega un rayo puede desarrollarse un gran voltaje a tierra a lo largo del paso debido a corrientes de pico grandes y a una violenta elevación de la corriente.

Los picos de corriente de los rayos causan altos voltajes a tierra debido a la resistencia en su paso como la resistencia del objeto golpeado y la resistencia de la conexión a tierra; el régimen rápido de elevación de la corriente produce voltajes a tierra debido a la inductancia en el objeto golpeado.

Cuando el objeto golpeado por un rayo tiene alto voltaje con respecto a tierra puede ocurrir un relámpago lateral sobre un objeto cercano en la tierra.

Las corrientes en la tierra pueden causar grandes diferencias de voltaje a lo largo de la superficie del suelo y pueden causar daño o lesiones a objetos o personas y animales en su cercanía.

Las personas en el exterior abierto, pueden ser muertas o lesionadas por un golpe directo de rayo o por las corrientes de tierra, cercanas al golpe del rayo. Los lugares que son especialmente probables de recibir un golpe de rayo, son bajo los árboles o en pequeños cobertizos sin protección contra rayos.

3.5.4 Muerte y Lesiones Relacionadas con el Teléfono

Aunque no es común, las personas pueden morir o lesionarse mientras usan el teléfono interior, por un rayo durante una tormenta, en caso de no contar con una protección adecuada.

Las líneas telefónicas que entran a los edificios, deben tener una protección en el lugar de entrada; la intención de la protección, es limitar el voltaje a tierra que puede ocurrir en el alambrado interno del teléfono o auricular, por rayos, o por ondas de voltaje, por contactos de las líneas telefónicas con líneas de alto voltaje de potencia.

Las líneas telefónicas de entrada, conectan el protector a un electrodo de tierra telefónico, a través de un tubo de gas o block de carbón con una bujía (spark gap). Es muy importante que la tierra del teléfono, esté unida al electrodo de tierra de potencia y tubería hidráulica metálica.

3.5.5 Protección de Estructuras Contra-Rayos

La protección de edificios contra rayos, se provee por un sistema de conductores aterrizados en la estructura, que proporcionan un paso de baja resistencia a tierra, para la corriente de golpe del rayo. Los conductores de rayos, llevan la corriente de este sin peligro a tierra, y sólo atraen rayos que de cualquier forma habrían pegado en la estructura.

Sin los conductores de rayos, los que pegan en un edificio tienen que encontrar su propio paso a tierra, a través de estructuras malas conductoras, haciendo daños considerables. La potencia desarrollada es I^2R , y cuando la corriente I es muy grande y la resistencia R es relativamente grande, habrá una disipación de potencia grande, que puede causar daños considerables.

Un sistema moderno de protección contra rayos, consiste de los siguientes subsistemas:

- Terminales al aire, que son las varillas que se colocan arriba de la estructura, para interceptar los rayos;
- Conductores de rayos y conductores de bajada, que son los que transportan la corriente interceptada del rayo, desde las terminales al aire hasta los electrodos de tierra;
- Los electrodos de tierra, que conectan al sistema de protección contra rayos al suelo;
- Enlace apropiado, que conecta con las tierras de potencia, telefónica y sanitaria. El enlace del sistema de protección contra rayos, con los otros sistemas de tierras y la liga de los conductores de rayos, con cualquier objeto cercano aterrizado es esencial.

En caso de requerirse protección de aparatos eléctricos contra ondas de voltaje, se puede utilizar alguno de los siguientes tipos:

- Filtros para atenuar los transitorios, por ejemplo, capacitores de onda;
- Barras diversificadoras, para apartar los transitorios como electrodos (spark gap), tubos de gas o tiristores;
- Grapas de voltaje tipo diversificadoras, como un diodo zener o un varistor.

3.6 Riesgos por electricidad estática

La electricidad estática es muy común en hogares, establecimientos industriales y en la naturaleza; existe en pequeñas cantidades cuando la gente se peina el pelo, en grandes cantidades en chispas de maquinaria, y en cantidades gigantescas en la forma de rayos.

En pequeñas cantidades, la electricidad estática es inofensiva, pero en cantidades moderadas y en presencia de materiales flamables, puede iniciar fuegos.

Para entender como las cargas estáticas eléctricas se desarrollan y acumulan y las condiciones que las vuelven peligrosas, es necesario conocer los siguientes conceptos básicos.

- Carga eléctrica.- Es la cantidad fundamental de electricidad y se mide en unidades llamadas Coulombs (Q); la carga se presenta en dos formas: positiva y negativa, y ambas pueden crear chispas que causen fuego. Las cargas negativas, están presentes en los electrones de todos los átomos y las positivas en el núcleo de todos los átomos.

La mayoría de los objetos comunes son eléctricamente neutros, porque sus cargas negativas y positivas en igual cantidad se anulan o equilibran, sin embargo, este arreglo neutral puede alterarse fácilmente, cuando se juntan dos objetos y si además se friccionan; al separarse, uno tiene carga neta negativa y el otro carga neta positiva. Las series triboeléctricas, como la mostrada a continuación, pueden ayudar a conocer cual objeto tendrá carga positiva y cual negativa.

Más positiva

Piel de conejo

Vidrio

Nylon

Lana

Piel de gato

Algodón

Seda

Lucita

Dacrón

PVC

Polietileno

Balón de hule

Teflón

Más negativa

- Fuerzas eléctricas.- Las cargas eléctricas ejercen fuerzas una sobre otra: son de atracción cuando son de signo contrario, y son de repulsión cuando son del mismo signo. Las fuerzas y cargas eléctricas no pueden verse, pero sus efectos son obvios (el levantamiento de pedazitos de papel con un peine cargado eléctricamente).

- **Conductores y aisladores.**- Un material, que permite que la carga eléctrica se mueva libremente a través de él o sobre su superficie, se conoce como conductor, incluyendo todos los metales como cobre, acero, aluminio, etc. El cuerpo humano, también es un buen conductor y además el agua (de electricidad estática).

Los materiales que no permiten el libre movimiento de cargas eléctricas a través de ellos o sobre su superficie, se conocen como aisladores o no-conductores; algunos materiales aisladores comunes incluyen al hule, vidrio, cera, papel y la mayoría de los plásticos.

La resistencia en ohms o conductancia en siemens de un material, puede ser determinada mediante una prueba; éstas dos medidas están relacionadas recíprocamente: una es inversa de la otra.

La resistencia R, puede también definirse con la resistividad ρ , que está relacionada por la fórmula:

$$\text{Resistencia} = \rho \frac{L}{A} \text{ en ohm} \cdot \text{m}$$

en donde:

L = longitud de la muestra bajo prueba

A = área de la sección transversal de la muestra

La conductividad se define como la recíproca de la resistividad:

$$\text{Conductividad} = \frac{1}{\text{Resistividad}}, \text{ en siemens/m}$$

3.6.1 Mecanismo de Ignición

Para que la electricidad estática pueda causar un fuego o una explosión, se requiere que se satisfagan simultáneamente las cuatro condiciones siguientes:

- a.- Un método para generar carga estática.- El estado natural de la materia es de eléctricamente neutra. La posibilidad de generación de electricidad estática está presente, siempre que materiales vayan juntos y después se separen, por ejemplo, bandas transportadoras en movimiento, materiales en polvo soplados a través de tubería y vapor a presión escapando de un recipiente con fuga.

Otro método de carga es por inducción, por ejemplo, al acercar una carga al extremo de una varilla, esta re-arregla sus cargas, resultando con cargas positivas y negativas en sus extremos, aunque en este caso la carga neta no varíe y más bien puede ser temporal.

En la realidad, el movimiento de la gente y de partes de maquinaria, produce cargas de inducción y al hacerlo en forma repetitiva, se obtienen grandes cantidades de carga.

Hay dos formas de expresar la generación de cantidad de cargas; una es midiendo la rapidez a la cual se separan las cargas o se colectan por el generador, en coulombs/seg. (amperes), y la otra es midiendo el voltaje máximo o presión eléctrica que pueda desarrollarse.

- b.- Almacenamiento de carga.- Cuando se genera carga, esta puede ser disipada inmediatamente, o bien almacenada; el almacenamiento puede ser en un aislador o en un conductor aislado.

Conforme se agrega carga se produce voltaje o presión eléctrica; la carga Q y el voltaje V son directamente proporcionales, y están relacionados por la siguiente fórmula:

$$Q = CV$$

en donde C es la capacitancia, medida en unidades llamadas farads.

La magnitud de la capacitancia, depende de la geometría de las partes (tamaño y forma). En la fórmula anterior, Q está en coulombs, V en volts y C en farads.

Para muchas situaciones de ingeniería, se pueden emplear valores aproximados de capacitancia, por ejemplo:

| | |
|-------------------------------|--------------|
| Pequeñas herramientas de mano | 10 a 20 pF |
| Cubeta de 12 litros | 30 a 50 pF |
| Tambo de 200 litros | 50 a 100 pF |
| Cuerpo humano | 100 a 300 pF |

pF es un pico Farad equivalente a 10^{-12} Farads.

- c.- Energía de ignición.- Si se continua agregando carga a un cuerpo, el voltaje se continua elevando y eventualmente puede liberarse una chispa. Para que ésta chispa cause ignición debe poseer una energía mínima, un valor exacto que depende del material por incendiar.

La energía E liberada en la descarga de una chispa, esta dada por:

$$E = \frac{1}{2} C V^2, \text{ en joules}$$

en donde C esta en Farads y V en volts.

La energía almacenada por un capacitor, está almacenada en el campo eléctrico producido por el capacitor.

Existe una situación análoga para un inductor, que almacena energía en su campo magnético, que está dada por:

$$E = \frac{1}{2} L I^2$$

Aunque en principio esta energía almacenada, pueda producir una chispa y causar un fuego o explosión, este tipo de corriente queda fuera del dominio de la electricidad estática.

- d.- Mezclas flamables.- Muchas mezclas de gases, como aire-acetileno y oxígeno-hidrógeno, pueden incendiarse fácilmente; similarmente, capas de polvo sobre la superficie y nubes de polvo dispersas en el aire, también pueden incendiarse.

Los valores de energía mínima de ignición consignados, han sido cuestionados porque estos valores, varían con el material de los electrodos, el espaciamiento y el tamaño, sin embargo, son los únicos datos que se tienen y que a continuación se consignan.

Energía mínima de ignición de vapores, en mJ

| | |
|----------------------|------------------|
| Gasolina de aviación | 0.2 mJ |
| Etileno | 0.07 a 0.08 mJ |
| Hidrógeno | 0.011 a 0.017 mJ |
| Metano | 0.28 a 0.39 mJ |
| Propano | 0.16 a 0.25 mJ |

Energía mínima de ignición de nubes de polvo, en mJ

| | |
|----------------------|-------------|
| Aluminio | 50 a 280 mJ |
| Polvo negro | 320 mJ |
| Cola de hueso | 140 mJ |
| Moronas de chocolate | 100 mJ |
| Polvo de corcho | 35 a 45 mJ |
| Polvo de jabón | 60 a 960 mJ |
| Polvo de madera | 20 a 40 mJ |

Los valores anteriores se consideran conservadores, lo que permite un margen de seguridad razonable.

3.6.2 Mitigación de Cargas Estáticas

Hay varias formas de eliminar o mitigar los efectos de la producción de cargas estáticas indeseables o peligrosas; si un método parece impráctico para una situación, se debe considerar otro.

Ocasionalmente se pueden usar simultáneamente dos o más métodos de mitigación, con buenos resultados.

Antes de discutir los detalles de los métodos de mitigación de los efectos de la electricidad estática, se debe establecer una buena regla de seguridad y su corolario:

- Cuando no puede absolutamente eliminarse una situación peligrosa, debe hacerse que dicha situación sea un evento muy improbable.

Debido a que es muy raro poder eliminar completamente la electricidad estática, con frecuencia se debe tratar con variables, por ejemplo, cuando se enfrenta a la posibilidad de una chispa en una atmósfera flamable, primero debe trabajarse para hacer la chispa improbable, y enseguida deben hacerse esfuerzos para hacer que la atmósfera flamable sea improbable. Para este propósito debe considerarse la ventilación o adición de gases inertes. El corolario de ésta regla es que:

- Si dos eventos independientes son cada uno improbables, la combinación de ambos eventos es muy improbable.

Los métodos para mitigar los efectos de las cargas estáticas son las siguientes.

- Humedad.- Si un área de humedad relativa se conserva a alto nivel, algunos materiales absorben suficiente vapor de agua del aire, para volverlo ligeramente conductor; ésta humedad, puede ser suficiente para llevar lejos las cargas estáticas, tan rápido como se generan. Hay materiales que absorben humedad fácilmente como papel, cartón, vidrio, etc., y otros que no lo hacen como el teflón y otros plásticos.
- Generación de iones.- La adición de iones al aire, causa que este se vuelva conductor; los iones pueden ser fácilmente producidos por fuentes de alto voltaje, flamas y algunas fuentes radioactivas.

Una concentración suficiente de iones en el aire, permite que las corrientes de descarga fluyan a través del aire y se prevenga la acumulación de carga estática.

Si una región de carga positiva no deseada se expone a una corriente de iones, se atraerán los iones negativos y se obtendrá neutralización, y entonces los iones positivos se repelerán. Una vez que se ha logrado la neutralización ya no hay más atracción, es decir, hay un mecanismo retroalimentador autolimitado.

Si un ionizador se lleva cerca de un conductor aterrizado, puede ocurrir una corriente corona o una chispa, razón por la cual, los ionizadores normales no deben usarse en atmósferas inflamables.

- Control directo de la conductividad.- A veces pueden hacerse, cambios químicos directos si no interfieren con otras propiedades del proceso, por ejemplo, la ropa hecha de nylon, rayon y poliéster se carga fácilmente, pero esta tendencia puede ser reducida haciendo al material más conductor. Se ha tratado con fibras metálicas como aditivos de tramado en la ropa, y esta aún se siente buena y lavable, pero con la carga grandemente reducida.

Otro método, usado con algunos plásticos, es la adición de carbón para incrementar la conductividad, variando la resistividad del material sobre rangos extremadamente amplios; mientras más baja es la resistividad menos es la carga.

También se puede usar una tira de plástico conductor, que actúa como un alambre de cobre drenando lejos las cargas no-deseadas.

Otra forma es usando inmersión y sprays para cubrir las superficies, siendo en algunos casos el mismo material agregado al conductor; también se usan materiales absorbentes de agua.

- Aterrizamiento.- Si se producen cargas en un conductor aislado, se debe aterrizar el conductor lográndose llevar las cargas al suelo; aún pasos a tierra con relativamente alta resistencia, son adecuados para sacar la mayoría de las cargas estáticas, siendo por lo general efectivo un millón de ohms o menos.

Cuando se trabaja con aparatos electrónicos sensibles o en las operaciones de fabricación de dispositivos de estado sólido, puede ser deseable aterrizar al personal, pero esta conexión debe tener una resistencia mayor de 25,000 ohms.

- Descargas pasivas.- Cualquier punto afilado o agudo emite un efecto corona o iones, si el voltaje se eleva a más de unos miles de volts, por lo que algunas veces, se conectan puntos o escobillas de alambre al equipo, para evitar la formación de carga estática, descargando conforme se eleva el voltaje. La ventaja de este arreglo, es que no se necesita una fuente de potencia externa, pero la desventaja es que nunca se alcanza una descarga completa, además del peligro que representa para el personal los puntos afilados.

3.6.3 Instrumentos para Medición de Electricidad Estática

Los aparatos comerciales normales de medición de corriente, voltaje, resistencia y otros parámetros eléctricos, no son muy adecuados para medir campos y voltajes de electricidad estática. Estos instrumentos comerciales normales, usan una batería interna de 1.5 V, para organizar pequeñas corrientes para medición de resistencia, y este pequeño voltaje puede ser "engañado" por una pequeña contaminación.

Las mediciones de resistencias para la electrostática, deben hacerse con voltajes de prueba de cuando menos 500 V; con voltajes más altos puede obtenerse información más precisa.

Los voltmetros electrostáticos, proveen un medio sin contacto de medir el potencial electrostático en la superficie de materiales aislantes, conductores o semiconductores.

Un medidor de campo mide el campo electrostático, en volt/m, en el sitio de un ensayo especialmente aterrizado; la separación de la probeta a la superficie, debe ser controlada cuidadosamente para mediciones precisas.

Las resistencias de campos electrostáticos, son de varios cientos de kilovolts por metro con separaciones grandes.

4. RIESGOS POR FALLAS MECÁNICAS

4.1 Antecedentes

A pesar de que la preocupación por la confiabilidad de componentes mecánicos es muy antigua, no fue hasta la década de los años de 1950 cuando se realizaron los primeros estudios al respecto.

El objeto de dichos estudios, fue el de la predicción correcta de la confiabilidad de componentes mecánicos, desde la etapa de diseño, especialmente de los componentes o partes estructurales.

Antes de los 1950's, la ingeniería usaba el concepto de "margen de seguridad", sin embargo, esta previsión es ineficiente para prevenir fracturas, y adicionalmente, con frecuencia lleva a pesos y costos excesivos, especialmente en la industria espacial.

También se comprendió que los conceptos como esfuerzo y resistencia, sólo podían ser definidos estadísticamente, con lo que nació el método probabilístico, usado para calcular la confiabilidad de componentes mecánicos, modelando los esfuerzos y resistencia de componentes.

La construcción de grandes estructuras mecánicas (reactores, plataformas marinas), que con frecuencia son únicas o en pequeño número, y cuyas fracturas pueden tener serias consecuencias, requieren el uso de métodos probabilísticos para predecir su confiabilidad. Como éstas estructuras son muy pocas y deben cumplir altas normas de calidad, es virtualmente imposible usar estadísticas.

En estas condiciones, el único medio de evaluar la confiabilidad, es desarrollar modelos probabilísticos de su comportamiento mecánico, mediante una nueva disciplina llamada fracturas mecánicas probabilísticas. La descripción de esta disciplina se hará en la siguiente forma:

- principios generales;
- confiabilidad de componentes, calculada usando la teoría de esfuerzo-resistencia;
- método estadístico y mecánica probabilística de fracturas, en relación con el fenómeno de fatiga;
- descripción del método general, recomendado para evaluar la disponibilidad, como se aplica a la mecánica de fracturas probabilística.

4.2 Principios Generales

Los componentes mecánicos tienen numerosos modos de falla:

- desgaste;
- atoramiento;
- deformación;
- grietas;
- fracturas; etc.

Los mecanismos con frecuencia son complejos, e involucran numerosos parámetros como esfuerzos mecánicos, corrosión, calor, etc.

La ingeniería mecánica, se preocupa con las causas de deformación, grietas o fracturas de componentes mecánicos.

Por lo general, la ingeniería mecánica usa el margen de seguridad MS, definido en la siguiente forma:

$$MS = \frac{\text{resistencia}}{\text{esfuerzo aplicado}} = \frac{S}{\sigma} = > 1$$

Algunas veces se aplica un factor multiplicador al margen seguridad MS, para determinar la resistencia del material, a partir de la resistencia a la cedencia.

La resistencia no puede ser encontrada determinísticamente, debido a que los materiales:

- son heterogéneos;
- tienen dimensiones imprecisas;
- tienen diferentes métodos de fabricación.

Su resistencia sólo puede ser representada por una distribución; esto también se aplica para los esfuerzos, que varían de acuerdo al ambiente o uso de los componentes mecánicos. En la Fig. III-3, se muestran esquemáticamente distribuciones del esfuerzo y de la resistencia, observándose que bajo ciertas circunstancias, el esfuerzo puede ser más grande que la resistencia, lo que produce la fractura del componente mecánico.

Por lo anterior, puede decirse que la confiabilidad de un componente mecánico, está determinada por la probabilidad de que la resistencia sea más grande que el esfuerzo.

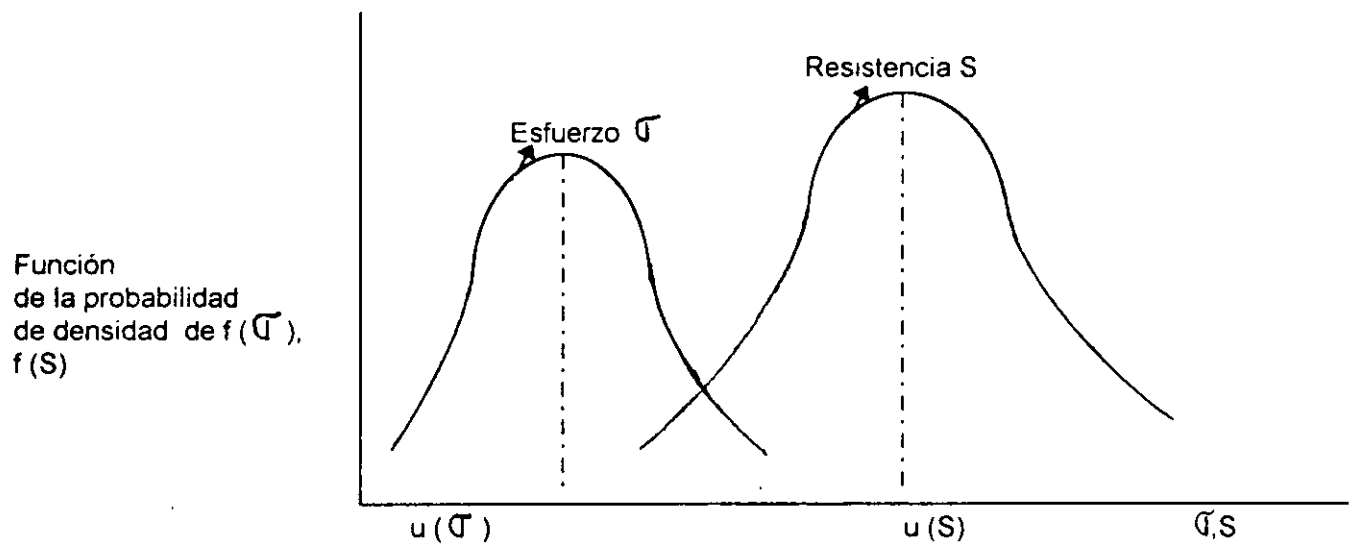


FIG. III-3.- ESFUERZO σ Y RESISTENCIA S: METODO PROBABILISTICO

Si se calcula el margen de seguridad del valor promedio de la distribución, entonces cuando la extensión de la distribución varía, la confiabilidad puede variar mucho para el mismo margen de seguridad, es decir:

- un margen de seguridad relativamente alto, puede ser emparejado con una mala confiabilidad;
- una buena confiabilidad, puede relacionarse con un bajo margen de seguridad.

De acuerdo con lo anterior, el cálculo probabilístico es el único medio de relacionar el margen de seguridad con el nivel de confiabilidad, y el margen de seguridad puede definirse a partir de estas distribuciones.

4.3 Esfuerzo y resistencia

La evaluación de la confiabilidad R , consiste en calcular la probabilidad P que la resistencia S exceda efectivamente el esfuerzo aplicado σ , durante toda la misión considerada:

$$R = P(\sigma < S)$$

Considerando las funciones de probabilidad de densidad $f_1(\sigma)$ y $f_2(S)$, de la Fig. III-4, la probabilidad de tener una resistencia S más grande que σ es:

$$P(S > \sigma) = \int_{\sigma}^{+\infty} f_2(S) dS$$

Por lo tanto, la confiabilidad R se escribe como:

$$R = \int_{-\infty}^{+\infty} f_1(\sigma) \left\{ \int_{\sigma}^{\infty} f_2(S) dS \right\} d\sigma$$

Dada una resistencia inicial S_2 , puede demostrarse que:

$$R = P(S > \sigma) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_2(S_2) \left[\int_{-\infty}^{S_2} f_1(\sigma) d\sigma \right] dS_2$$

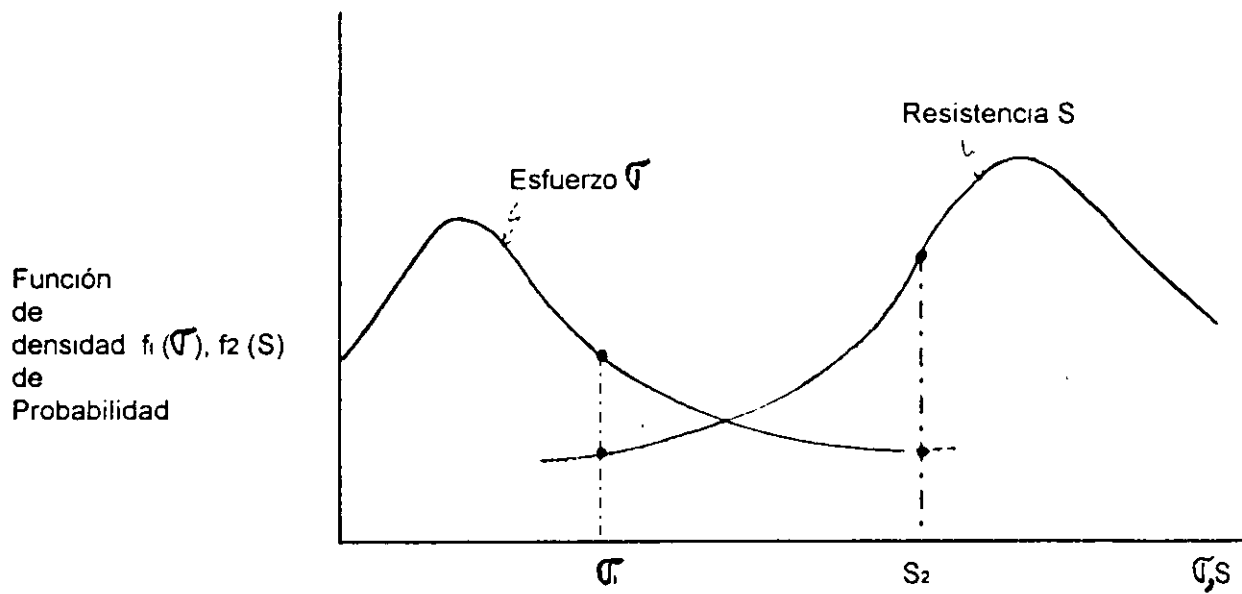


FIG. III-4.- EVALUACION DE LA CONFIABILIDAD

Para resolver ésta ecuación existen varios métodos, como:

- gráfico;
- resolución por Monte Carlo;
- solución analítica.

4.4 Fatiga

La aplicación periódica de carga causa cambios en las propiedades del material, y este fenómeno, conocido como fatiga, puede resultar en fractura del componente mecánico, a esfuerzos que con frecuencia son más bajos, que el esfuerzo de cedencia del material.

Esta fractura, origina una grieta que se extiende progresivamente, hasta que la sección transversal restante ya no puede soportar la carga aplicada, y falla el elemento.

El método probabilístico de este fenómeno involucra:

- un tratamiento estadístico
- mecánica de fracturas probabilística.

Si se aplica a una probeta de prueba un esfuerzo cíclico periódico (senusoidal), de una amplitud máxima σ y frecuencia constante, ocurrirá una fractura después de un número de ciclos N .

Cuando se varia el esfuerzo σ , el resultado es una curva conocida como curva σ - N o curva de duración o resistencia, mostrada en la Fig. III-5; por lo general, se observan tres diferentes dominios en esta curva:

- una sección de deformación plástica correspondiente a esfuerzos altos. La fractura ocurre después de un pequeño número de ciclos, y es precedida por una deformación plástica significativa;
- una sección de fatiga o de duración limitada, en donde la fractura ocurre después de un número limitado de ciclos, que se incrementan conforme disminuye el esfuerzo;
- una sección de duración ilimitada o sección de seguridad, bajo pequeño esfuerzo, en donde la fractura sólo ocurre después de un gran número de ciclos.

La fatiga es un fenómeno aleatorio, evidenciado por la variación de las características de la resistencia a la fatiga, de componentes aparentemente idénticos.

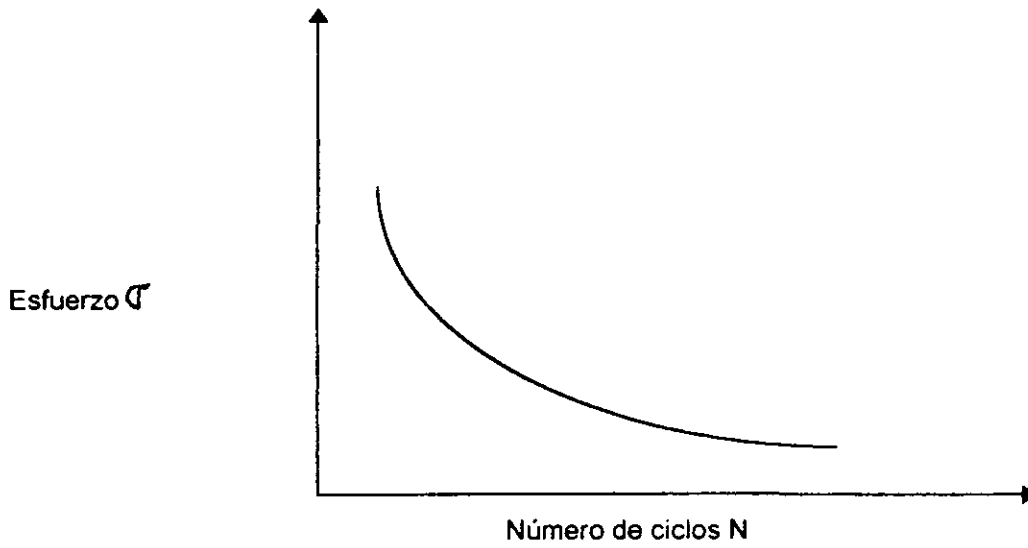


FIG. III-5.- CURVA σ - N, O DE DURACION

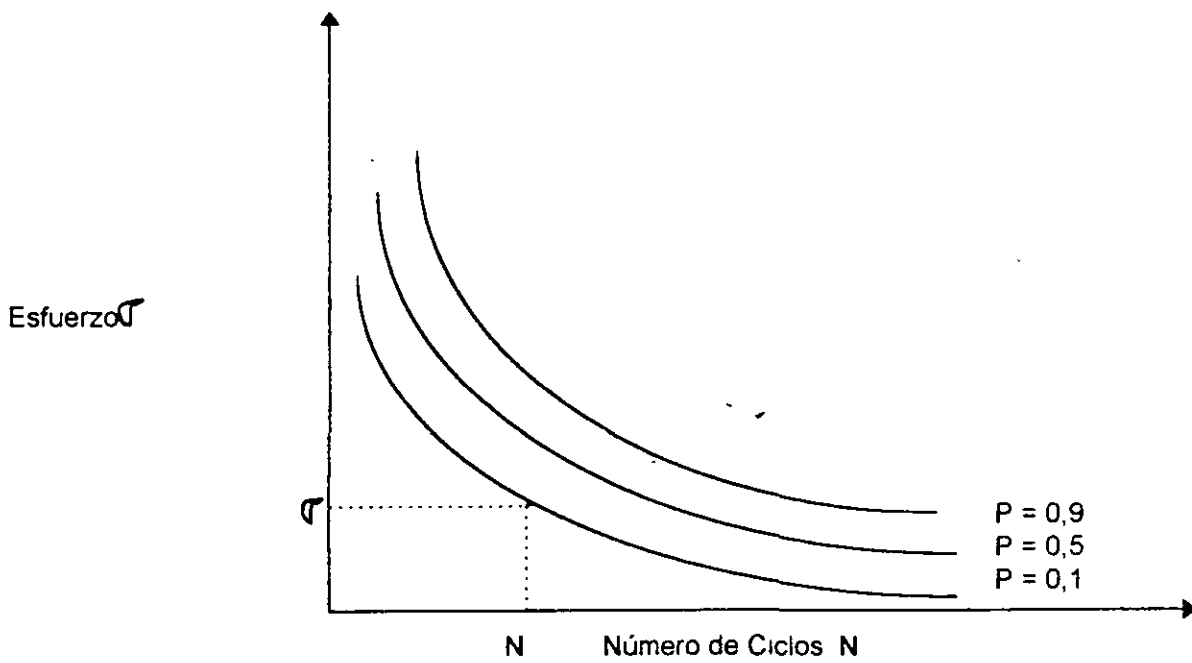


Fig. III-6.- CURVA σ - N, DE DURACION

La aleatoriedad del fenómeno de fatiga, se estima por la variedad de curvas σ -N obtenidas (Fig. III-6), es decir, el punto (N, σ) indica que el componente sujeto al esfuerzo σ , tiene una probabilidad P de romperse al final de N ciclos.

De acuerdo al esfuerzo, la probabilidad de fractura durante una prueba, cuya duración está limitada a un número N de ciclos, esta determinada por la intersección de una vertical con las diferentes curvas.

Para un esfuerzo dado, la función de distribución acumulativa de un número N de ciclos a la fractura, esta dada por la intersección de una horizontal con las diferentes curvas.

Para el común de los materiales y con escalas logarítmicas, la curva σ -N es virtualmente lineal entre los ciclos 10^3 y 10^6 .

Cuando se conocen las curvas σ -N, se puede determinar la confiabilidad de un componente mecánico, sujeto a esfuerzos cíclicos o sea la probabilidad de que no ocurra una fractura antes de N_i ciclos, en la siguiente forma:

$$P(\log N_i) = \int_{-\infty}^{\log N_i} f(\log N) d(\log N)$$

Por lo general los esfuerzos de fatiga, resultan de una combinación de esfuerzos estáticos y variables, utilizándose la siguiente clasificación:

- esfuerzo invertido.- Las cargas cambian de dirección alternativamente: cargas de signos opuestos y con valores extremos iguales;
- esfuerzos repetidos.- Las cargas son siempre en la misma dirección y varían entre cero y un valor positivo o negativo;
- esfuerzos irregulares.- Las cargas varían arriba o abajo de un promedio de valor no-cero positivo y negativo.

Por lo general cualquier esfuerzo periódico, puede ser considerado el resultado de una carga estática o constante σ_m y un esfuerzo alternativo de amplitud σ_a .

El diagrama σ -N, que da la variación de la resistencia contra el número de ciclos, es aplicable a todos los tipos de esfuerzos; todo lo que se necesita es, fijar un esfuerzo medio y estudiar las variaciones en amplitud de los esfuerzos alternativos, de acuerdo al número de ciclos para la fractura.

Cualquier número de esfuerzos al que esté sometido un espécimen de acero, si la diferencia máxima (diferencia algebraica entre la máxima y la mínima carga), permanece abajo de un cierto valor de umbral, la fractura inducida por la fatiga no ocurre.

Las variaciones en la diferencia de umbral, cuando el esfuerzo es la combinación de un esfuerzo, el puramente alternativo y un esfuerzo constante σ_m , ambos actuando en la misma dirección ya sea de tensión, compresión, flexión, o torsional, pueden representarse graficando los valores del límite de duración o la resistencia alternativa S_a , para un número dado de ciclos sobre el eje "y", y los valores correspondientes "X". Una representación válida parece ser una parábola.

Los valores adoptados, son de distribución en lugar de determinísticos; las distribuciones que gobiernan la resistencia, se consideran normales para las diferentes relaciones de S_a/S_m .

Cuando el componente mecánico esta sujeto a esfuerzos periódicos senoidales, con valores medios no más grandes de cero, se requiere un nuevo planteamiento para conocer como se daña su estructura. Este planteamiento está basado en la teoría de daño, y tiene un aspecto físico y uno descriptivo:

- el aspecto físico, trata con los cambios en las propiedades físicas de los materiales fatigados;
- el aspecto descriptivo, trata con la descripción cuantitativa de la duración de los materiales sujetos a varios esfuerzos.

Se ha propuesto (Miner) una regla simple de daño, basada en la siguiente hipótesis:

- la aplicación de "n_i" ciclos a un nivel dado de esfuerzo σ_i , para el cual el número promedio de ciclos antes de la fractura es N_i , causa un incremento en el daño igual a n_i/N_i , y la fractura ocurre cuando:

$$\sum_i \frac{n_i}{N_i} = 1$$

Es decir, si durante una fracción $n_i/N_i = Z$, de la vida de un material se le sujeta a un cierto nivel de esfuerzo σ_1 , su duración remanente a otro nivel σ_2 , es:

$$\frac{n_2}{N_2} = 1 - Z$$

Por lo general esta regla es imprecisa, ya que no toma en cuenta el orden en el cual los niveles de esfuerzos se siguen uno a otro, sin embargo, su principal ventaja es su gran simplicidad.

Otra regla de daño propuesta, considerando el hecho que la resistencia a la fatiga es una distribución, se expresa como sigue:

$$\sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i} = \gamma$$

en donde:

γ = una variable, normalmente distribuida con desviaciones media y estándar de 1 y 0,3, respectivamente.

4.5 Mecánica de fracturas probabilística

Por lo general la habilidad de los materiales para resistir la fractura, es más baja por varios órdenes de magnitud que su resistencia teórica, la cual está basada en la energía de cohesión de sus rejillas de cristales. El bajo valor, se debe a la presencia de grietas o imperfecciones de los materiales.

Bajo ciertas condiciones, los defectos se propagan por efecto de las cargas, es decir, en una estructura sujeta a fatiga, un defecto cuyo tamaño no es crítico, puede volverse crítico por su baja propagación, bajo el efecto de variaciones de esfuerzos.

De acuerdo a la teoría de mecánica de fracturas, una falla catastrófica ocurre cuando $K_I > K_{Ic}$, en donde:

- K_I es el factor de intensidad de esfuerzo, que es una medida del nivel de esfuerzo en el componente mecánico, tomando en cuenta la grieta;
- K_{Ic} es la tenacidad, que es la habilidad del material a resistir la repentina propagación de una grieta.

En este caso, se aplica una ley general: "la fractura ocurre cuando el esfuerzo es más grande que la resistencia".

Los valores K_{Ic} , pueden ser determinados de pruebas realizadas sobre especímenes estandarizados.

El tamaño crítico de un defecto, también puede deducirse, y la falla catastrófica ocurre cuando el tamaño de un defecto excede el tamaño crítico.

Los valores de K_I y K_{Ic} no son determinísticos, sino que están gobernados por distribuciones.

La fatiga por corrosión u otros factores, produce el crecimiento de la grieta, y la velocidad de propagación se considera una función de la variación del factor de intensidad de esfuerzo durante los ciclos.

Los resultados de pruebas, muestran que abajo de un cierto límite del rango de intensidad de esfuerzo, las grietas detienen su propagación; en ciertos casos, puede determinarse un tamaño de grieta permisible, al cual no se propagará de su defecto inicial en una estructura sujeta a fatiga.

Los principios anteriores, pueden utilizarse para calcular la predicción de la confiabilidad de una estructura compleja, sin embargo, se deben conocer en detalle las siguientes características:

- la distribución del defecto inicial.- Todas las características, (tamaño, profundidad) del defecto inicial originado en el proceso de manufactura y presente antes que se use la estructura;
- condiciones de carga de la estructura.- Inventariado de todas las cargas que la estructura tiene que soportar y que causan fatiga;
- condiciones de inspección de la estructura (después de su fabricación o cuando se pone en servicio).- Se deben realizar pruebas no destructivas, para detectar y medir defectos en las partes más vulnerables de la estructura; como las técnicas de detección no son perfectas, debe tomarse en cuenta una probabilidad de detectar defectos.

Hay tres métodos para calcular la probabilidad de fractura de la estructura, por propagación de grietas y la posible falla de la estructura:

- Método analítico.- Consiste en determinar la mejor representación de distribución de los datos experimentales recolectados, de cada parámetro expresado probabilísticamente, y enseguida realizar un cálculo analítico basado en las funciones definidas; los datos de entrada incluyen:
 - i. Amplitud de las variaciones de esfuerzo
 - ii. Número de ciclos correspondientes
 - iii. Distribución inicial de la longitud del defecto
 - iv. Tenacidad del material.
- Método Monte Carlo.- El cálculo se hace en la misma forma que el analítico, pero el Monte Carlo permite el uso de cualquier forma de datos de entrada; su principal desventaja es el mucho tiempo de computación, de forma que no puede usarse para cálculos involucrando un gran número de parámetros aleatorios.

- **Método de histogramas.**- En este caso, todos los cálculos algebraicos se realizan con variables expresadas como histogramas, y el resultado es también un histograma. El método consiste en realizar las operaciones requeridas, entre los bloques de histogramas que definen los parámetros y entonces aplicar al resultado una probabilidad, igual al producto de las probabilidades pesadas de cada bloque.

El análisis de la confiabilidad estructural no es una tarea fácil, debido al gran número de factores involucrados; algunos de estos factores son los siguientes:

- la calidad y características del material;
- la arquitectura de la estructura;
- las técnicas de soldadura;
- las pruebas pre-operacionales (prueba hidrostática para recipientes a presión);
- inspecciones pre-operacionales;
- distribución estadística de la tenacidad;
- la variación de la tenacidad contra la temperatura u otros factores;
- la distribución inicial de defectos;
- carga bajo condiciones de servicio de la estructura (normal, incidente, accidente, etc.);
- crecimiento de defectos que inducen fatiga;
- inspecciones en servicio;
- reparaciones de la estructura.

La mecánica de fracturas probabilística, debe desarrollarse más y ponerla a prueba antes de generalizar su uso.

4.6 La disponibilidad de sistemas mecánicos

Los métodos de análisis predictivo, son aplicables a los sistemas mecánicos o sistemas con componentes mecánicos, en la medida en que son identificados dichos componentes.

Los análisis de modos de falla y efectos son eficientes, para identificar modos de falla relevantes y sus efectos (esfuerzos), en componentes mecánicos.

En general, se deben determinar los esfuerzos aplicados a los diferentes componentes.

4.7 Conceptos de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad

a) Confiabilidad

El término CONFIABILIDAD (R), se define como probabilidad de que una parte de la arquitectura de un equipo o sistema, satisfaga sus requerimientos de comportamiento, para un intervalo de tiempo especificado, bajo ciertas condiciones operacionales.

En la definición anterior de confiabilidad se enfatizan cuatro elementos:

- probabilidad;
- requerimientos de comportamiento;
- tiempo;
- condiciones de uso.

La probabilidad, es la posibilidad de que un evento pueda o no pueda ocurrir; es un término cuantitativo, expresado como un valor entre cero y uno (unidad).

Requerimientos de comportamiento, indica que criterio debe existir, que claramente especifique, describa o defina, lo que se considere sea operación satisfactoria.

El tiempo, representa una medida de un periodo, durante el cual puede esperarse un comportamiento satisfactorio.

Condiciones operacionales, representan las condiciones ambientales bajo las cuales, se espera que la parte funcione.

La determinación de la confiabilidad, involucra la comprensión de conceptos pertenecientes a regímenes de falla, como una función de la edad o antigüedad.

Un régimen de falla, es una medida del número de mal funciones ocurridas por unidad de tiempo.

Cuando se estudian las características de falla de una parte o sistema, de arquitectura compleja, sobre su periodo de vida y en el caso de muestras grandes de su población, se tienen consideraciones separadas a tres periodos discretos (Fig. III-7), que incluyen:

- Periodo de quemado, fallas tempranas o infancia. El régimen de fallas X, es alto y se debe principalmente a fallas de diseño o defectos de calidad, como se observa en la Fig. III-7.

- Periodo de vida útil, fallas al azar o aleatorias o periodos de madurez. El régimen de fallas, es el más bajo de la vida útil del componente, y las fallas se deben principalmente a defectos de confiabilidad. La confiabilidad R , tiene una buena aproximación a la forma exponencial siguiente, en función del tiempo t :

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Siendo

$$\lambda = \frac{1}{TMEF} \quad = \text{constante} = \text{régimen de fallas}$$

en donde, TMEF = Tiempo Medio Entre Fallas

- Periodo de desgaste, fallas por desgaste o envejecimiento. El régimen de fallas λ , en este caso es alto y ocurren al final de vida útil del componente en forma creciente, originadas principalmente por desgaste o envejecimiento.

Para lograr el crecimiento de la confiabilidad, existen tres elementos esenciales que son:

- detección y análisis de fallas de la arquitectura
- retroalimentación y rediseño de áreas problema
- implantación de acciones correctivas y nuevas pruebas.

En la Fig. III-8, se muestran los componentes del sistema de fallas de los tres periodos discretos, mostrados en la Fig. III-7.

b) Mantenibilidad μ

Se define a la MANTENIBILIDAD, como la probabilidad de que una parte de la arquitectura de un equipo, se retenga o se restaure a una condición especificada de operación, dentro de límites permisibles de tiempo, utilizando:

- equipo de prueba disponible;
- facilidades;
- personal;
- refacciones;
- procedimientos prescritos.

La predicción de la mantenibilidad, como en el caso de la predicción de la confiabilidad, es un proceso analítico de estimación de parámetros, que describen ésta probabilidad. La mantenibilidad μ , puede expresarse por la inversa del tiempo medio para reparación (TMPR), en la siguiente forma:

$$\mu = \frac{1}{TMPR}$$

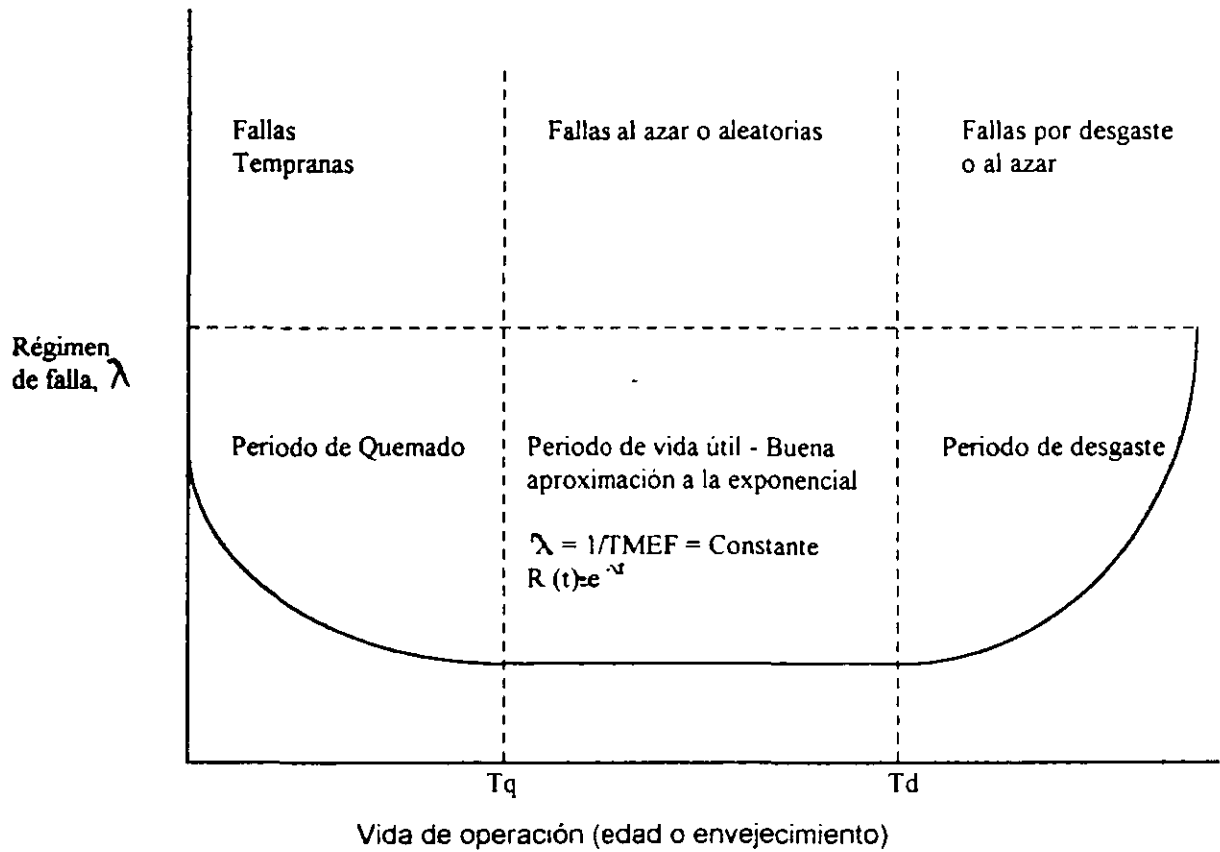


FIG. III-7.- CURVA CARACTERISTICA DE VIDA

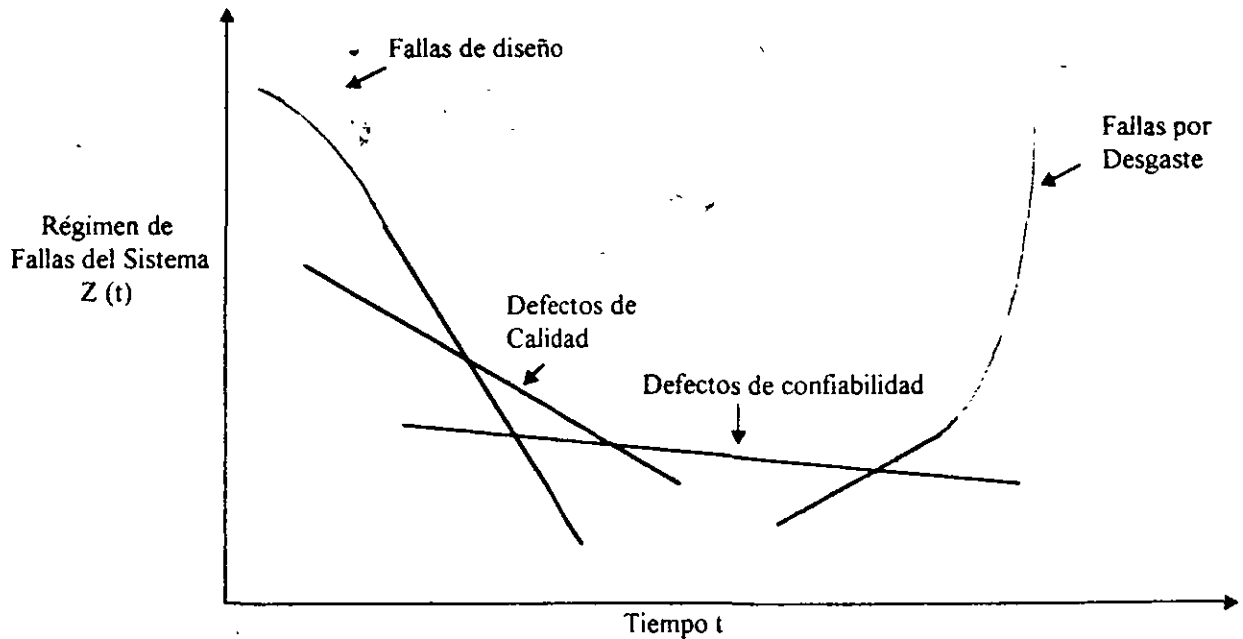


FIG. III-8.- COMPONENTES DEL SISTEMA DE FALLAS

Conceptualmente, la reparación de una parte de la arquitectura, después de ocurrida una falla, necesita la iniciación de tareas de mantenimiento correctivo, que resultan en el intercambio de una parte reemplazable del ensamble.

Con objeto de lograr una "reparación" completa, se necesita realizar varias actividades, tanto antes como después del intercambio real; éstas actividades, pueden subdividirse en los siguientes elementos de tiempo, para:

- Localización
- Aislamiento
- Desensamble
- Intercambio
- Reensamble
- Alineamiento
- Verificación o chequeo

c) Disponibilidad

DISPONIBILIDAD (D), es la probabilidad de que la arquitectura de un sistema o componente, esté en servicio cuando es requerido.

La disponibilidad, provee una medida combinada sencilla de la operación confiable de un sistema, y su habilidad para ser mantenida eficientemente.

La disponibilidad (D), se define matemáticamente como:

$$D = \frac{\text{tiempo total en servicio}}{\text{tiempo total en servicio} + \text{tiempo total fuera de servicio}}$$

En la Fig. III-9, se muestra la distinción entre disponibilidad intrínseca y operacional, mostrando sus ciclos operacionales y los varios elementos de tiempo.

En la Fig. III-10, se muestra la interrelación de la disponibilidad y la confiabilidad con el tiempo.

En la Fig. III-11, se muestran valores de disponibilidad D, en función de la confiabilidad (TMEF) y la mantenibilidad (1/TMPR).

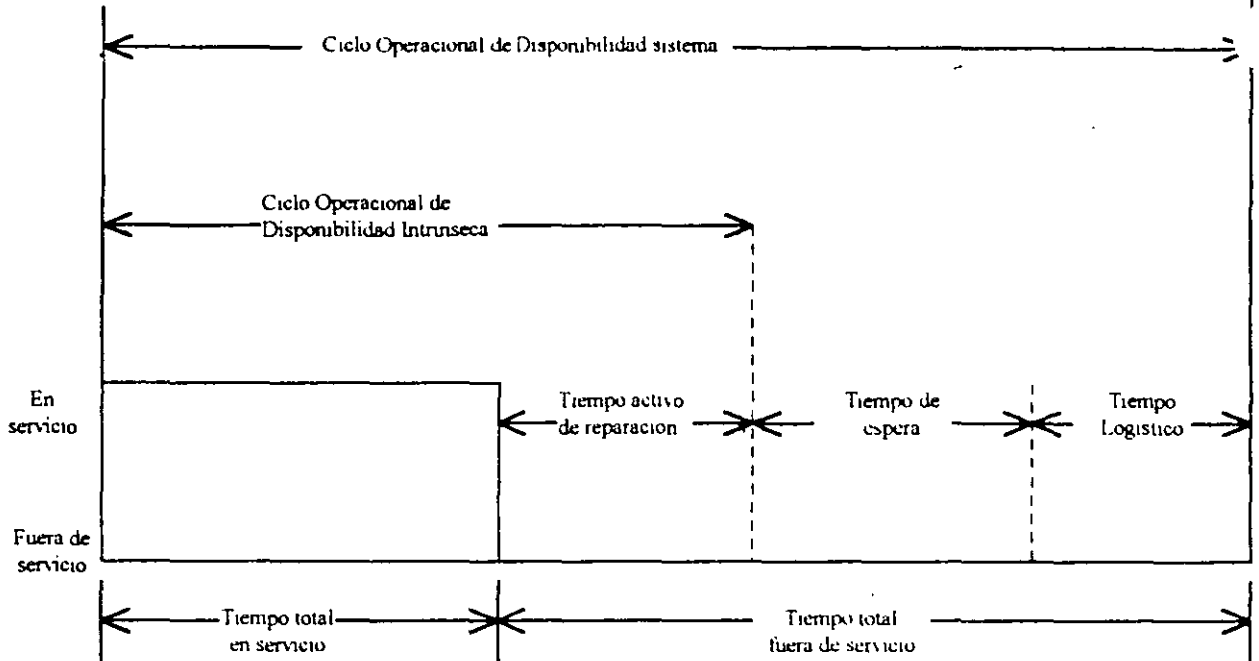


FIG. III-9.- CICLOS OPERACIONALES DE DISPONIBILIDAD INTRINSECA Y DE SISTEMA

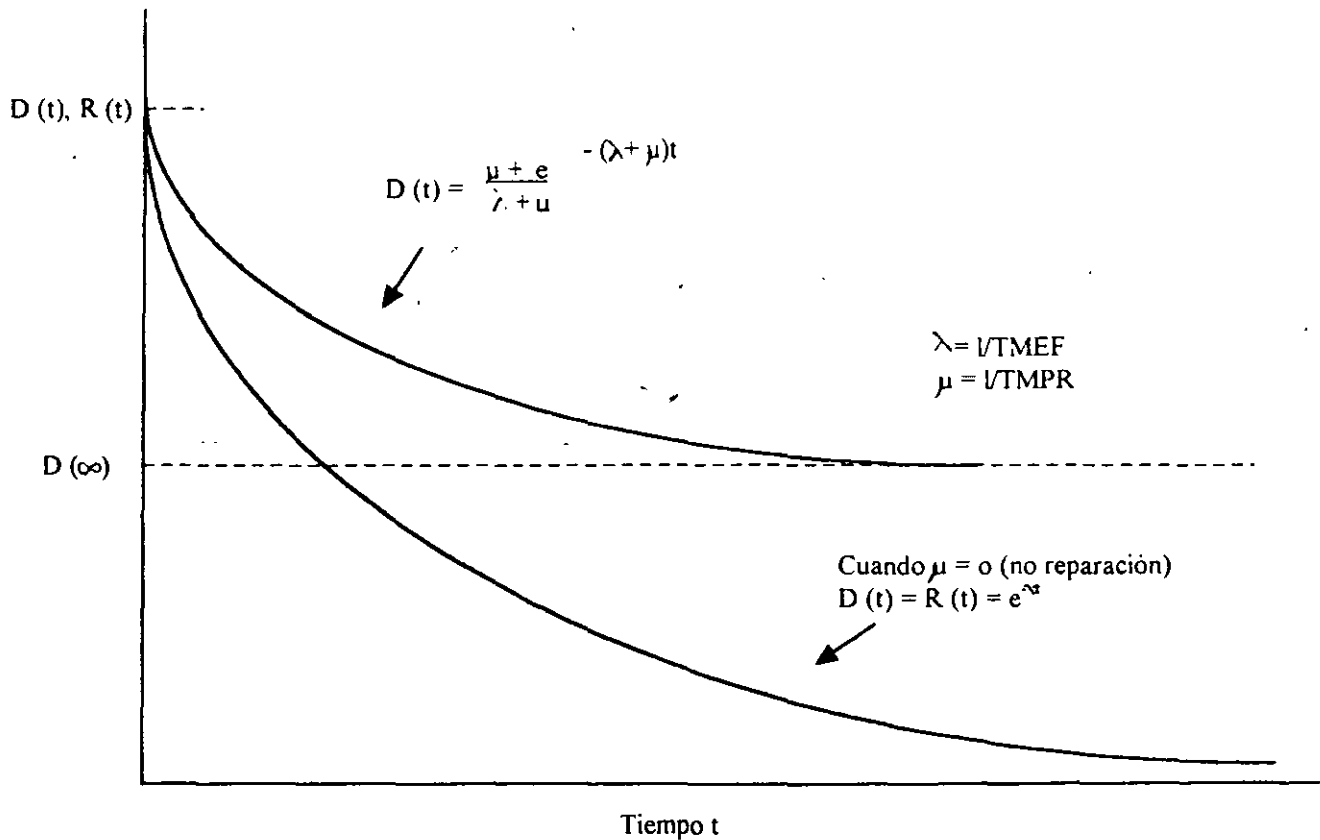


FIG. III-10.- DISPONIBILIDAD Y CONFIABILIDAD DE UN ELEMENTO SENCILLO

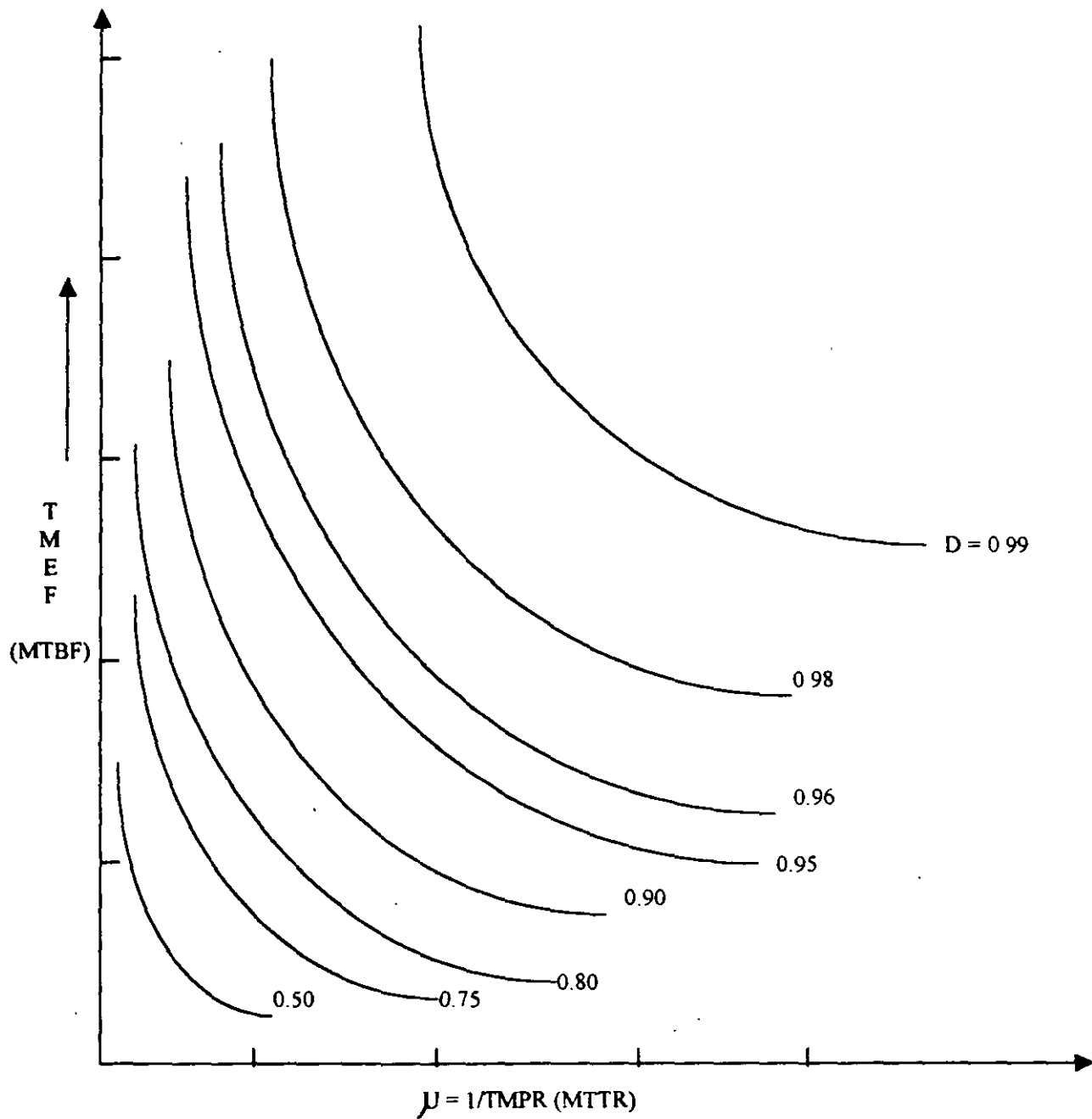


FIG. III-11.- DISPONIBILIDAD "D" COMO UNA FUNCION DEL TMEF Y TMPR

4.8 Ejemplo de determinación de probabilidad de falla

ANÁLISIS ESFUERZO-RESISTENCIA (FACTOR DE SEGURIDAD E INTERFERENCIA)

La teoría de la confiabilidad, esta basada en la premisa de que, una parte dada tiene ciertas propiedades físicas de resistencia, que si se exceden resultan en una falla. Esta propiedad, igual que todas las propiedades de materiales no homogéneos, varían de un espécimen a otro, es decir, para una parte o material particular un estimado del valor medio y de la dispersión de la propiedad de resistencia, pueden encontrarse mediante pruebas.

Los esfuerzos de operación impuestos a una parte también varían. Estos esfuerzos varían con el tiempo en una parte particular, de parte a parte en un diseño particular, y de ambiente a ambiente. Un estimado del valor medio y del valor de dispersión de un esfuerzo de operación, puede determinarse mediante pruebas, análisis o experimentos.

En la mayoría de los casos, tanto el esfuerzo aplicado y la resistencia de una parte, pueden ser descritas con suficiente precisión, para propósitos de predicción de la confiabilidad, por una curva de distribución normal.

La Fig. III-12-a, muestra la distribución de una curva de densidad esfuerzo-resistencia, para una parte que tiene baja confiabilidad y/o inadecuado margen de diseño. El área sombreada, indica que el esfuerzo excede a la resistencia por un cierto porcentaje de tiempo, con falla resultante. En contraste, la Fig. III-12-b, muestra la separación de la distribución esfuerzo-resistencia, indicativa de un factor de seguridad de diseño alto (margen de diseño adecuado) y alta confiabilidad.

Un factor de seguridad FS, puede definirse por la relación de las distribuciones medias de resistencia y esfuerzo de una parte:

$$FS = \frac{U_t}{U_s} = \frac{\text{distribución media de esfuerzo}}{\text{distribución media de resistencia}}$$

La probabilidad de falla P_F , puede relacionar al FS, considerando la distribución normal de esfuerzo y resistencia.

Las relaciones paramétricas de P_F a FS se muestran en la Fig. III-13. Si la desviación estándar σ , de las relaciones de valores medios se conocen y conectan por una línea recta, los puntos de intersección dan la relación, entre la probabilidad de falla P_F y el factor de seguridad FS, por ejemplo:

$$\sigma_s \text{ es } 20\% \text{ de } U_s; \frac{\sigma_s}{U_s} = 0.20 \text{ (punto A)}$$

\bar{Q}_t es 10% de U_t ; $\frac{\bar{Q}_t}{U_t} = 0.10$ (punto B)

Se construye una línea recta de A a B; si el FS es 1.6, entonces la intersección con la línea A-B en C, indica la probabilidad de falla P_f , igual a 10^{-2} :

$P_f = 10^{-2} = 0.01$
o bien $R = 0.99$

Es decir, una estimación gruesa de la confiabilidad, se puede obtener usando la relación anterior, si los datos de análisis de diseño sobre las cargas y resistencias medias están disponibles.

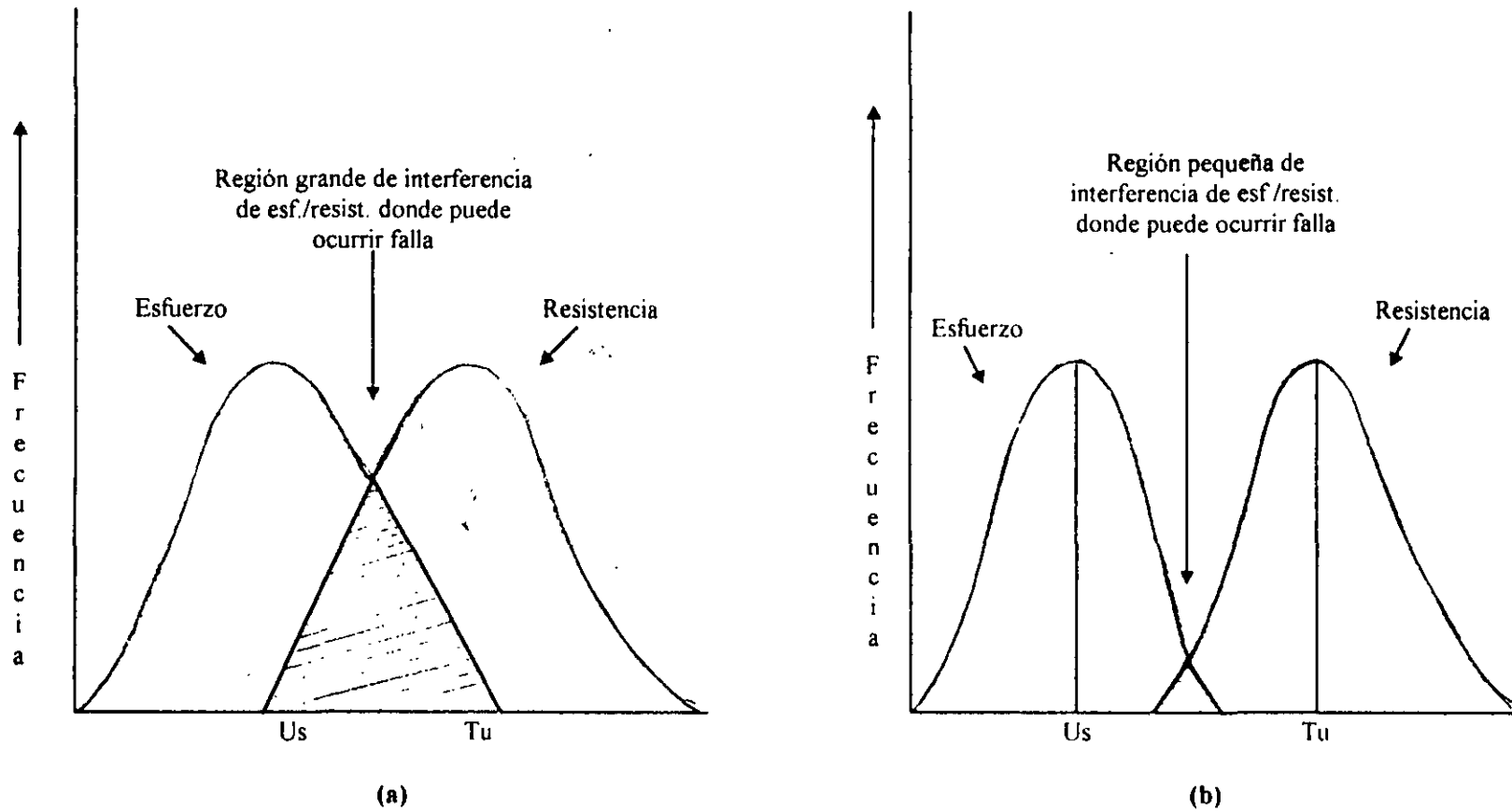


FIG. III-12.- DIAGRAMA TIPICO DE INTERACCION ESFUERZO-RESISTENCIA

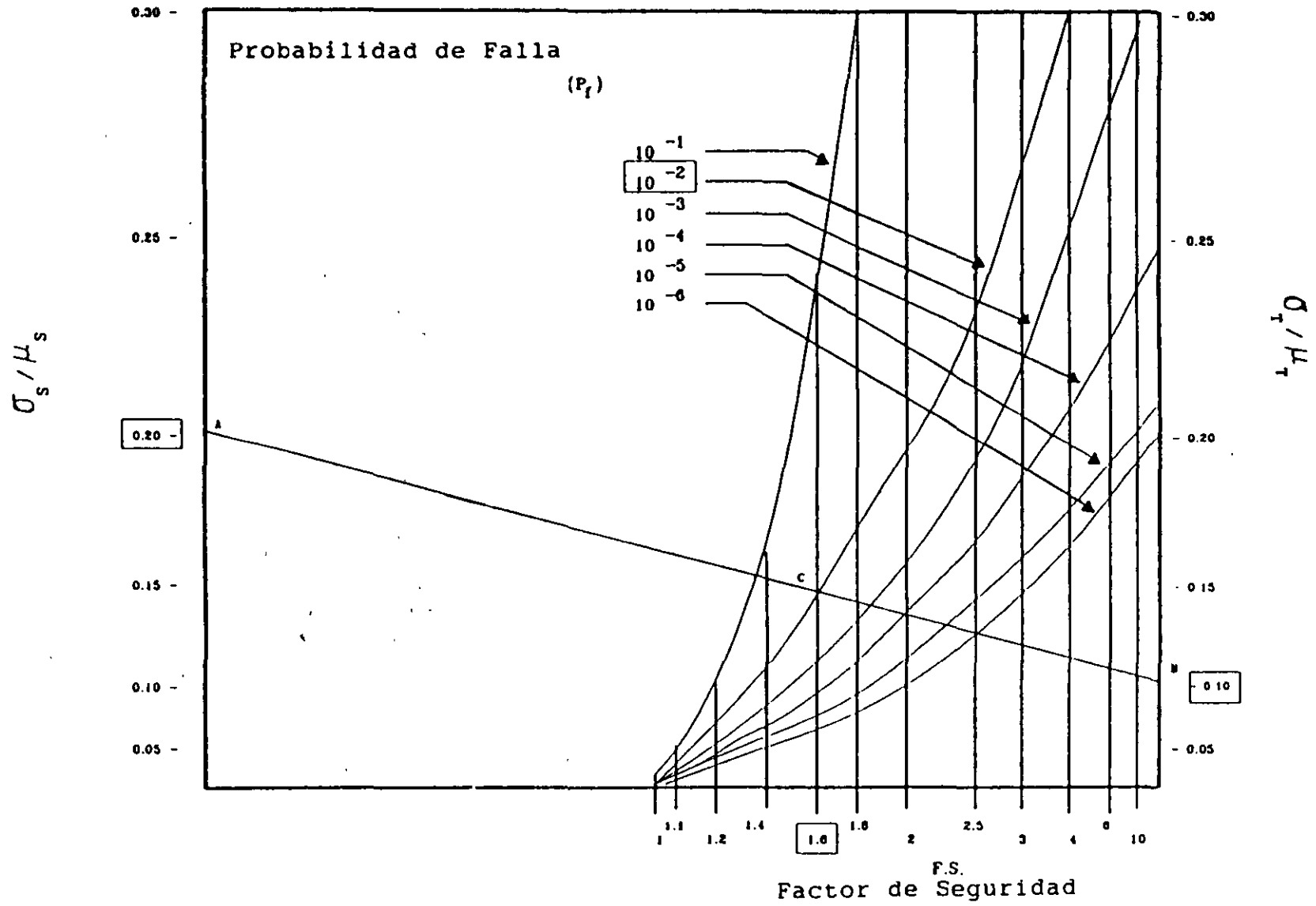


FIG. 13.- FACTOR DE SEGURIDAD VS PROBABILIDAD DE FALLA

5. RIESGOS POR SUSTANCIAS QUÍMICAS

Algunas sustancias químicas, pueden causar los siguientes efectos sobre la salud humana:

- náuseas
- pérdida de apetito
- vértigo
- dolor de cabeza
- muerte inmediata
- daños genéticos
- nacimientos con defecto
- cáncer.

Adicionalmente, algunas sustancias químicas causan miedo, que puede tener o no una base real; esto, se debe a que el miedo a los efectos sobre la salud de las sustancias químicas, está basado en percepciones que distorsionan la realidad del riesgo.

El temor del público a los químicos, ha marcado la necesidad de muchos planeadores, para aprender como evaluar y controlar el uso del suelo, involucrando los químicos en su:

- transportación
- uso
- almacenamiento
- disposición
- procesamiento, producción.

Las políticas gubernamentales acerca de los químicos, y nuestra percepción de los impactos sobre la salud de los químicos, están fuertemente influenciadas por dos aspectos científicos fundamentales.

- Grado de conocimiento sobre la peligrosidad de los químicos;
- Que tan importante es la contaminación química como causa de cáncer.

Antes de analizar estos aspectos, es necesario revisar algunos principios químicos.

Todas las cosas que vemos, tocamos y probamos son químicos, o con mayor probabilidad un mezcla de muchos químicos diferentes; igualmente lo mismo puede afirmarse, que se trata de elementos físicos, y las afectaciones a la humanidad y seres vivientes son todos fenómenos biológicos, con lo cual se enlazan tres disciplinas: química, física y biología.

Adicionalmente, hay muchas sustancias en el ambiente que no pueden ser detectadas con los sentidos, y sólo se ha logrado encontrarlos con instrumentos científicos sofisticados.

El número de diferentes sustancias químicas sobre y en la tierra es desconocido, pero con seguridad son muchos millones.

Durante los pasados 125 años, los científicos han creado cientos de miles de compuestos que no ocurren en la naturaleza, y continuarán aumentando el almacén de químicos en la tierra, aunque muchos de éstos químicos sintéticos, nunca salgan de los laboratorios de investigación científicos.

Tanto por razones históricas como científicas, los químicos han dividido el universo de elementos químicos en compuestos:

- orgánicos
- inorgánicos

La base original para clasificar los químicos como "orgánicos" fue la hipótesis, conocida como falsa desde la mitad del siglo XIX, que los químicos orgánicos podían producirse sólo por organismos vivientes.

Los científicos modernos, clasifican a los químicos como "orgánicos", si estos contienen el elemento carbono C, aunque existen algunos considerados inorgánicos como el CO, CO₂, CaCO₃.

El carbono, tiene la notable y casi única propiedad de que, sus átomos se pueden combinar con otros en muchas diferentes formas, y junto con varios otros elementos (hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre, cloro, bromo, flúor y varios más), pueden crear un enorme número de arreglos moleculares diferentes; cada arreglo crea un químico único.

Se conocen varios millones de químicos orgánicos distintos, se encontrarán muchos más, que ocurren naturalmente o que se crearán sintéticamente en laboratorios.

Toda la vida (al menos sobre la tierra), depende de los compuestos de carbono, y probablemente no podría haberse desarrollado, si el carbono no tuviera ésta única y extraordinaria propiedad de enlace o ligamento, a pesar de que se ha verificado muchas miles de veces, que la creación de químicos orgánicos, no depende de la presencia de un organismo viviente.

Adicionalmente, hay muchas sustancias en el ambiente que no pueden ser detectadas con los sentidos, y sólo se ha logrado encontrarlos con instrumentos científicos sofisticados.

El número de diferentes sustancias químicas sobre y en la tierra es desconocido, pero con seguridad son muchos millones.

Durante los pasados 125 años, los científicos han creado cientos de miles de compuestos que no ocurren en la naturaleza, y continuarán aumentando el almacén de químicos en la tierra, aunque muchos de éstos químicos sintéticos, nunca salgan de los laboratorios de investigación científicos.

Tanto por razones históricas como científicas, los químicos han dividido el universo de elementos químicos en compuestos:

- orgánicos
- inorgánicos

La base original para clasificar los químicos como "orgánicos" fue la hipótesis, conocida como falsa desde la mitad del siglo XIX, que los químicos orgánicos podían producirse sólo por organismos vivientes.

Los científicos modernos, clasifican a los químicos como "orgánicos", si estos contienen el elemento carbono C, aunque existen algunos considerados inorgánicos como el CO, CO₂, CaCO₃.

El carbono, tiene la notable y casi única propiedad de que, sus átomos se pueden combinar con otros en muchas diferentes formas, y junto con varios otros elementos (hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre, cloro, bromo, flúor y varios más), pueden crear un enorme número de arreglos moleculares diferentes; cada arreglo crea un químico único.

Se conocen varios millones de químicos orgánicos distintos, se encontrarán muchos más, que ocurren naturalmente o que se crearán sintéticamente en laboratorios.

Toda la vida (al menos sobre la tierra), depende de los compuestos de carbono, y probablemente no podría haberse desarrollado, si el carbono no tuviera ésta única y extraordinaria propiedad de enlace o ligamento, a pesar de que se ha verificado muchas miles de veces, que la creación de químicos orgánicos, no depende de la presencia de un organismo viviente.

Las estructuras de los compuestos inorgánicos, se representan por los mismos tipos de convencionalismos de los compuestos orgánicos, aunque hay algunas diferencias importantes en la naturaleza de la unión química que enlazan los átomos.

Los organismos vivos contienen o producen químicos orgánicos por millones; el químico más abundante sobre la tierra es la celulosa, una molécula gigante que contiene miles de átomos de C (carbono), H (hidrógeno) y O (oxígeno).

La celulosa, es producida por todas las plantas y es su componente estructural esencial; químicamente, la celulosa es un carbohidrato (que no es digestible por los humanos), que junto con las proteínas, gases y ácidos nucleicos son los componentes primarios de la vida.

Otras fuentes naturales importantes de químicos orgánicos, son los llamados combustibles fósiles: gas natural, petróleo y carbón, depositados en la tierra por el decaimiento de plantas y animales, quedando y conteniendo miles de productos de degradación. La mayoría de éstos, son compuestos simples conteniendo sólo carbono e hidrógeno, conocidos como hidrocarburos.

Las fuentes más grandes de químicos, a que está expuesta la gente en forma regular y directa, son los componentes naturales de las plantas y animales, que se consumen como alimentos; el número de químicos a que estamos expuestos a través de los alimentos es inmenso, por ejemplo:

- una taza de café contiene cerca de 200 diferentes químicos orgánicos, que son componentes naturales del grano de café extraídos al agua; algunos imparten color, otros sabor, otros aroma, etc.;
- la papa tiene cerca de 100 diferentes componentes naturales, algunos tóxicos. Algunos químicos encontrados y las cantidades presentes en la papa, varían con las diferentes variedades, y aún con las diferentes condiciones de cultivo y almacenamiento.

La consolidación de la teoría estructural, y el descubrimiento de la utilidad y viable comercialización de químicos sintéticos, dieron nacimiento al mundo químico moderno, que mediante aplicaciones industriales, han introducido al comercio a decenas de miles de químicos orgánicos.

La situación anterior, ha dado origen al crecimiento de la ciencia de la toxicología, en respuesta a comprender como éstas nuevas sustancias, pueden afectar la salud de los obreros que trabajan en su producción y uso, y el resto de la población que puede estar expuesta a ellos.

Todas las otras cosas se conocen como inorgánicas. En adición al carbono, hay 90 elementos en la naturaleza, y varios más que han sido creados en laboratorios; los varios arreglos y combinaciones de los inorgánicos, que algunos ocurren naturalmente y otros ocurren como resultado de síntesis química, significan que:

- De alguna forma se ha aislado de su fuente, hasta un estado de relativa pureza;
- Se han medido o evaluado sus propiedades físicas como: temperaturas a las cuales se funde, hierve y degrada, los tipos de solventes en los cuales se disuelve, etc.
- Se ha establecido su arquitectura molecular.

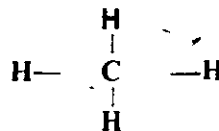
Esta última parte, presenta el reto científico más grande; la comprensión de la estructura o arquitectura química incluye:

- número de átomos en una molécula
- tipo de átomos en una molécula
- arreglo de átomos en una molécula

La arquitectura molecular es de suma importancia, porque determina como los compuestos sufren cambios a otros compuestos en las reacciones químicas, y también como interactúan con los sistemas biológicos, que algunas veces producen efectos benéficos (nutrientes y agentes medicinales) y otras veces producen efectos dañinos.

En las sustancias químicas, se usan símbolos de letras para representar los átomos, y líneas para indicar las uniones químicas, que analizan y mantienen juntos los átomos; en realidad cada unión es un par de electrones interactuando.

El más simple de todos los compuestos orgánicos, que ocurre en forma natural es el gas metano, que en dos dimensiones tiene la siguiente estructura:



metano

En realidad, las moléculas de metano son tri-dimensionales, con el átomo de carbono en el centro de un tetraedro y un átomo de hidrógeno en cada una de las cuatro esquinas.

Un fenómeno interesante, importante y común en la química orgánica, es el isomerismo (mismo peso, pero diferente estructura química) estructural.

Se han aprendido miles de diferentes formas de manipular grupos de átomos en compuestos orgánicos, para crear nuevos arreglos, y también se ha encontrado, como desarrollar secuencias de transformaciones químicas individuales que pueden llevar a moléculas, a un arreglo estructural deseado.

Desde finales del siglo XIX y hasta la segunda guerra mundial, el carbón fue el material inicial o materia prima, para la industria química inorgánica.

Cuando el carbón se calienta en ausencia de oxígeno se crean coque y subproductos volátiles, conocidos como alquitrán o brea, de donde se aíslan toda clase de químicos orgánicos como benceno, tolueno, xilenos, etilbenceno, naftaleno, creosotas, arvilinas y muchos otros.

La industria química orgánica, también extrae de otros productos naturales como grasas animales, aceites vegetales y subproductos de madera.

La industria química orgánica, se movió hacia el petróleo como fuente de materia prima durante los años 1940's, conociéndose como petroquímica, que utiliza y crea miles de químicos industriales útiles.

Algunos de éstos químicos se usan como solventes; muchos de los hidrocarburos encontrados en el petróleo, como la gasolina y el keroseno, y los químicos individuales que hacen estas dos mezclas, son útiles como solventes no acuósos, capaces de disolver sustancias que no son solubles en agua, sin embargo, como son altamente flamables; la solución fue convertir los hidrocarburos en sustancias conteniendo cloro, reemplazando átomos de hidrógeno por átomos de cloro, con lo cual se reduce considerablemente la flamabilidad, conociéndose como hidrocarburos clorinados, que en la actualidad están prohibidos, por el daño que causan a la capa de ozono. La reducción del riesgo de fuego y explosiones, llevó a incrementar el riesgo de daño ambiental.

Entre los miles de productos, fabricados por la industria química orgánica e industria relacionada, se incluyen:

- medicinas, la mayoría de las cuales son químicos orgánicos de mucha complejidad;
- colorantes;
- químicos agrícolas, incluyendo sustancias usadas para eliminar plagas (insecticidas, fungicidas, herbicidas, raticidas, y otros cidas);
- jabones y detergentes;
- fibras sintéticas y hules;
- papeles químicos;
- plásticos y resinas de muchas variedades;
- adhesivos;
- sustancias usadas en el procesamiento, preservación y tratamiento de alimentos (aditivos de alimentos);

- aditivos para agua potable;
- refrigerantes;
- explosivos;
- materiales de limpieza y pulido;
- cosméticos;
- textiles químicos.

La gente está expuesta en mayor o menor grado a muchos de estos químicos, por ejemplo:

- las medicinas que usamos
- durante la fabricación por:
 - i. la materia prima
 - ii. productos intermedios
 - iii. sub-productos

El desarrollo de nuevos químicos ha sido muy impresionante en los últimos años, y se espera que esta tendencia continúe en el futuro.

La A C S (American Chemical Society), registra nuevas sustancias químicas a una velocidad de 70 por hora, de los cuales entran al comercio 500 cada año.

Los esfuerzos del hombre por extraer de la tierra inorgánica materia útil, son complejos e incluye una mezcla de tecnologías de materiales, químicas y de minería, por ejemplo:

- materiales de sílice derivados de la piedra: vidrio, cerámica, arcilla, asbestos, etc.;
- metales obtenidos de minerales y procesados como: hierro, cobre, aluminio, níquel, plata, mercurio, plomo, zinc, etc.;
- materiales no metálicos como: cloro, bromo, sal (cloruro de sodio), cal (carbonato de calcio), ácido sulfúrico, fosfatos, etc.;
- compuestos de metales.

Todas estas sustancias químicas inorgánicas, que tienen cientos de diferentes usos, llegan, entran y se mueven en el ambiente con el cual estamos en contacto, ya sea intencional o inadvertidamente.

Nuestra supervivencia, así como la de todas las plantas y animales, depende de sustancias químicas como:

- agua
- nutrientes en los alimentos
- oxígeno en el aire
- bióxido de carbono (las plantas)

También son esenciales para la vida ciertos minerales inorgánicos, como por ejemplo: calcio, hierro, zinc, cobre, etc.

El agua, oxígeno y bióxido de carbono, son químicos inorgánicos simples; la mayoría de los nutrientes, son compuestos orgánicos de mucha complejidad, por ejemplo, proteínas, carbohidratos, grasas y vitaminas.

Cuando tomamos agua, no sólo nos exponemos a las moléculas de H₂O, sino también a otros químicos, que dependen de la fuente del agua, por ejemplo minerales, algunos de los cuales son esenciales para la salud, pero otros no se conoce el papel que tienen; también contiene algunos químicos orgánicos, que migran de las plantas o microorganismos del suelo, además de los químicos agregados al agua, para lograr ciertos efectos técnicos como la desinfección.

Cuando respiramos aire, no sólo obtenemos el oxígeno que necesitamos, sino también inhalamos nitrógeno, bióxido de carbono y otros gases naturales, además de químicos industriales, cuya cantidad depende del lugar donde se respire.

Las plantas y animales que consumimos como alimentos, en forma natural contienen miles de químicos, que no tienen un papel nutricional, y a los cuales nos exponemos cuando los comemos junto con los nutrientes. También estamos expuestos a los procesos de manipulación de alimentos, por ejemplo, para hacerlos más agradables o para conservarlos, como el ahumado, la forma de cocinarlos y los métodos de fermentación usados para hacer pan, bebidas alcohólicas, quesos, etc.; todas estas formas de manipulación de alimentos, causan cambios químicos complejos, que no están presentes en los productos agrícolas crudos.

También la manipulación del material genético de alimentos de plantas y animales, con objeto de producir variedades e híbridos con características mejoradas, influye en los tipos de químicos que consumimos. Aunque durante mucho tiempo, poco se conocía acerca de la genética y las consecuencias de la manipulación genética de materiales, en la actualidad se sabe que cuando se crea una nueva variedad híbrida, se producen cambios en la composición química de los frutos.

Muchos de las sustancias químicas anteriormente mencionadas, en muy pequeñas fracciones son esenciales para nuestra salud, hay también rangos de exposición que si no son benéficos para la salud probablemente tampoco tengan efectos perjudiciales, sin embargo, todas las sustancias químicas (hechas por el hombre y las de origen natural), dentro de ciertos rangos de exposición pueden perjudicar la salud. Este hecho lleva al concepto más importante en toxicología.

“Todas las sustancias químicas son tóxicas bajo ciertas condiciones de exposición”.

Lo importante, es conocer cuales son las condiciones de exposición con efectos tóxicos, para tomar medidas que limiten la exposición humana, y se pueda evitar la toxicidad.

Toxicidad, significa la producción de cualquier tipo de daño, permanente o temporal, a la estructura o funcionamiento de cualquier parte del cuerpo.

Los términos relacionados con las exposiciones químicas, incluyen los siguientes:

- **Ambiente.** Los químicos llegan a las personas a través de medios; por medio, se entiende a los vehículos que llevan los químicos, y que logran estar en contacto con el cuerpo. La dieta, aire, agua, suelo o polvo son los principales medios del ambiente, a través de los cuales las exposiciones químicas tienen lugar;
- **Trayectoria de exposición.** Con frecuencia, es de interés conocer la trayectoria de un químico viajando, para alcanzar el medio, que en última instancia crea la exposición; típicamente, toma la forma de una descripción del movimiento de una sustancia química, a través de varios medios ambientales. Algunas trayectorias son cortas y simples, pero la mayoría son complejas, por ejemplo, el plomo agregado a la gasolina (medio 1) se emite al aire (medio 2) cuando se quema la gasolina, algunos aerosoles de plomo se depositan en el suelo (medio 3) usado para cultivo de cereales. Algo de plomo se disuelve en agua (medio 4), y se mueve a través de las raíces de las plantas, de las cuales, acumulándose en los granos de cereal (medios 5), que se utilizan para alimentar ganado lechero, y algo del plomo se excreta en la leche (medio 6). La leche, es el medio que crea la exposición humana al plomo.

El conocimiento de la trayectoria de exposición, es una parte crítica del análisis necesario, para unir las piezas del patrón de exposición humana;

- **Rutas de exposición.** La ruta de exposición, se refiere a las vías en que se mueven las sustancias químicas, desde el medio de exposición hacia el interior del cuerpo; las tres principales rutas de las sustancias químicas en el ambiente son: la ingestión (ruta oral), inhalación, y contacto de piel o contacto dermal.
- **Dosis.** Para determinar si hay daños a humanos y en que extensión, por una exposición química, es necesario conocer la dosis creada por la exposición, por ejemplo, una aspirina típica que contiene 325 miligramos (mg) de medicina, si se toma 4 al día (1300 mg) por un adulto que 65 kg de peso del cuerpo (p.c.), la dosis es:

$$\frac{1300}{65} = 20 \text{ mg/kg p.c./día}$$

Para un niño de 20 kg. de peso de cuerpo (pc) la dosis será:

$$\frac{1300}{20} = 65 \text{ mg/kg p.c./día}$$

- **Concentraciones.** Es la cantidad de químicos en una cantidad dada del medio; el término técnico que describe esta relación es la concentración, que algunas veces también se le llama nivel. Las concentraciones de sustancias químicas, se expresan típicamente en unidades similares, de acuerdo al medio, en la siguiente forma:

Medio agua miligramos de sustancias químicas por litro de agua (mg/l)

Medio alimento miligramos de químicos por kg de alimento (mg/kg)

Medio aire miligramos de sustancia química por metro cúbico de aire
(mg/m³)

En el caso del agua, los miligramos por litro (mg/l) se acostumbra expresarlo en partes por millón (ppm), que son equivalentes.

- **Muestreo del ambiente.** Otra incertidumbre, en la comprensión de las concentraciones ambientales, surge por el problema del muestreo; en la práctica, mucho del muestreo ambiental se hace sin un plan bien pensado, en cuyo caso no se puede asegurar, el grado en el cual el todo está representado por la parte. Con la estadística, se pueden proyectar planes de muestreos, que si se siguen permiten conocer el grado de confianza, pero esto es todo lo que puede obtenerse.

Antes de considerar los efectos tóxicos de las sustancias químicas, es necesario conocer como estas entran, se mueven alrededor y en el interior, y salen del cuerpo humano.

Como se mencionó anteriormente, las sustancias químicas en el ambiente pueden entrar en el cuerpo humano a través de las siguientes tres vías:

- por la boca y ser llevados dentro del tracto gastrointestinal;
- inhalados por la nariz y boca, si están en forma de vapor, gases o junto con partículas muy finas de polvo, y en esta forma entrar a los conductos de aire, que llevan a los pulmones;
- por la piel, ya sea disueltas o no en algún medio

Primeramente, las sustancias químicas entran en íntimo contacto con los fluidos, tejidos y células, que componen los tres pasajes anteriores dentro del cuerpo, lo que puede resultar o no, en daños a los tejidos y células. Si ocurre algo adverso en los tejidos de estas vías de entrada, se le denomina toxicidad local.

En la mayoría de los casos, las sustancias químicas entran a la corriente sanguínea, después de que son absorbidas:

- a través de las paredes del tracto gastrointestinal;
- por los pulmones;
- a través de las capas que componen la piel.

Una vez en la corriente de sangre, las sustancias químicas pueden distribuirse en el cuerpo, y alcanzar los tejidos y células de los muchos órganos y sistemas del cuerpo, ocurriendo lo siguiente:

- en la mayoría de los casos sufren cambios moleculares, reacciones químicas en las células de los órganos del cuerpo, especialmente en el hígado;
- pueden ser metabolizadas. El metabolismo se lleva a cabo por enzimas (moléculas grandes de proteínas), que están presentes en las células.

Después las sustancias químicas y sus metabolitos (productos del metabolismo) se excretan del cuerpo, típicamente en:

- la orina
- con frecuencia en las heces y el aire exhalado
- algunas veces a través del sudor y la saliva

El proceso de absorción, distribución, metabolismo y excreción (ADME) determina:

- la naturaleza del daño tóxico producido por la sustancia química;
- la parte del cuerpo donde ocurre el daño;
- la severidad del daño;
- la probabilidad de que el daño pueda ser reversible.

También las sustancias en el medio ambiente, que son esenciales para la vida y salud del organismo (nutrientes, oxígeno, agua), están sujetas al proceso ADME, en la misma forma que las sustancias químicas tóxicas.

En la Fig. III-14, se muestra en forma esquemática las interrelaciones entre ciertos órganos y sistemas del cuerpo humano, que son esenciales para la comprensión del ADME; las flechas, muestran los pasos que siguen las sustancias químicas cuando entran al cuerpo, se mueven en él y finalmente se excretan.

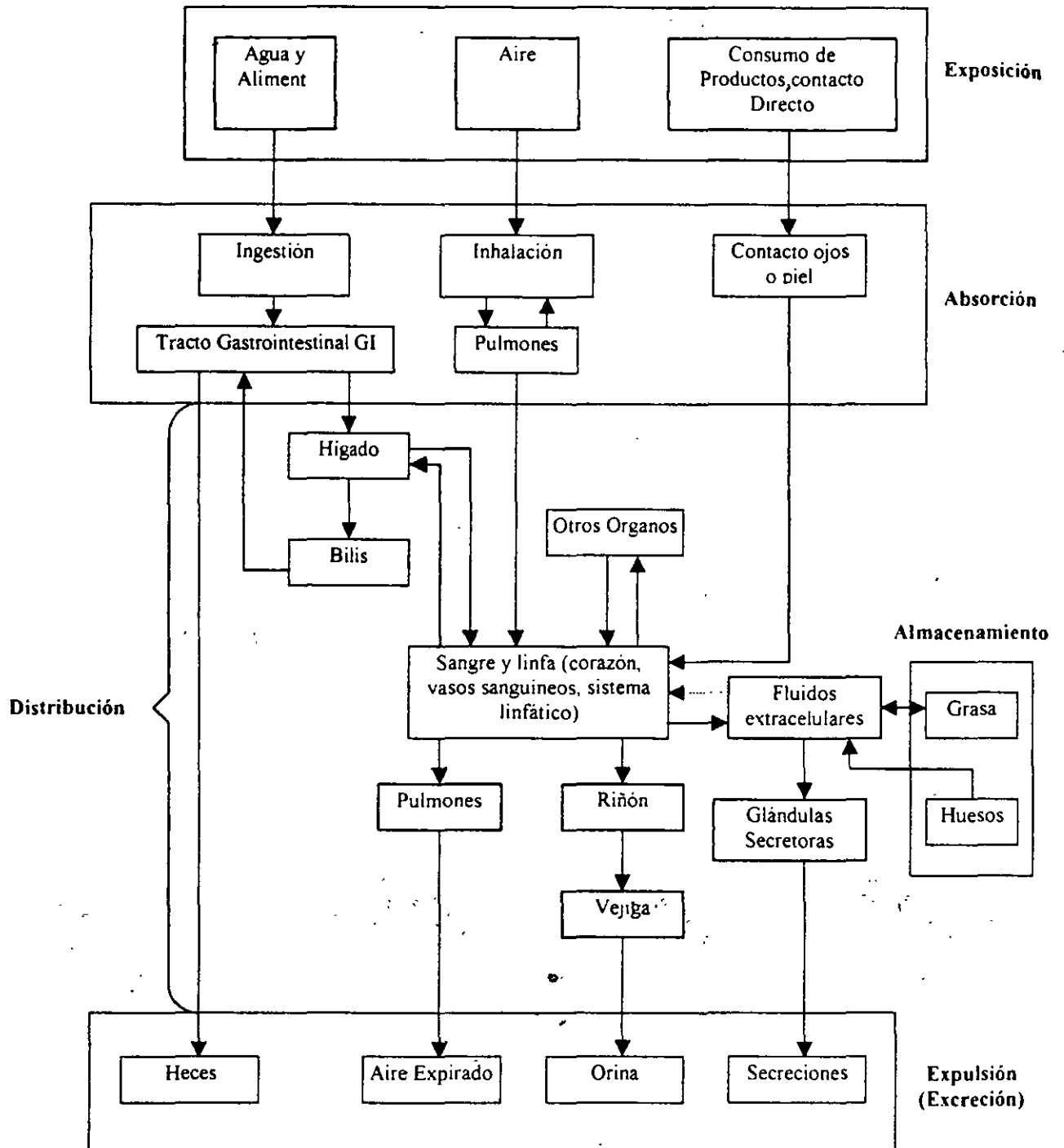


FIG. III-14.- FORMA EN QUE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS, ENTRAN, SE ABSORBEN, DISTRIBUYEN Y SE EXCRETAN DEL CUERPO HUMANO

También es necesario conocer, el tipo de daño que las sustancias químicas y sus metabolitos pueden producir, conforme se mueven en el cuerpo, y como la extensión del daño está influenciado por las circunstancias de exposición.

Para evaluar el riesgo de toxicidad que ocurre por una sustancia química específica, se requiere al menos de tres tipos de información:

- los tipos de toxicidad que las sustancias químicas pueden producir (sus valores y formas de daños que ocasionen);
- las condiciones de exposición (dosis y duración), bajo las cuales las toxicidades químicas pueden producirse.
- las condiciones (dosis, regulación y duración), bajo las cuales la población de gente cuyo riesgo está siendo evaluado, y podría estar expuesto a la sustancia química.

No es suficiente conocer uno o dos de ellos; no se pueden establecer conclusiones útiles acerca del riesgo, a menos que se comprendan las tres informaciones.

6. RIESGOS RADIOACTIVOS

6.1 Introducción

En ésta parte, se presenta una discusión de las bases generales de la interacción, de la radiación ionizante con la materia, y los efectos ambientales de los radionuclidos; también se resaltan:

- los desechos radioactivos como un contaminante;
- los impactos de la radiación ionizante en el ambiente natural y en la salud pública;
- resumen de las opciones disponibles, para tratar y estabilizar los desechos radioactivos.

6.1.1 La Radiación

De acuerdo con la dirección y deflexión en un campo magnético, las radiaciones de los minerales de uranio fueron clasificadas, por los Curie's y sus contemporáneos, en tres tipos:

- alfa (α)
- beta (β)
- gamma (γ)

En general, las emisiones de un núcleo radioactivo se caracterizan como radiaciones ionizantes, porque las colisiones entre éstas emisiones y un átomo o molécula, ioniza este átomo o molécula. Los rayos o partículas alfa, beta y gamma, pueden ser más caracterizados por su movimiento en un campo magnético o eléctrico, como se muestra en la Fig. III-15.

Los problemas significativos, asociados con la gestión de desechos radioactivos, requiere un entendimiento básico de las emisiones y emisores de radiaciones alfa, beta y gamma y el entendimiento del efecto de neutrones.

Las emisiones alfa y beta, son clasificadas típicamente como partículas, mientras que las emisiones gamma consisten de radiaciones electromagnéticas (ondas).

Las **radiaciones alfa**, son identificadas como físicamente idénticas a un núcleo de átomo de helio, despojado de sus electrones planetarios, permaneciendo con sólo 2 protones y 2 neutrones; son emitidas por núcleos de átomos radiactivos selectos, con una energía cinética entre 4 y 10 MeV ($1 \text{ eV} = 1.603 \times 10^{-12} \text{ erg}$, $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$). Una hoja de papel es suficiente protección contra estas partículas, que no atraviesan la piel humana.

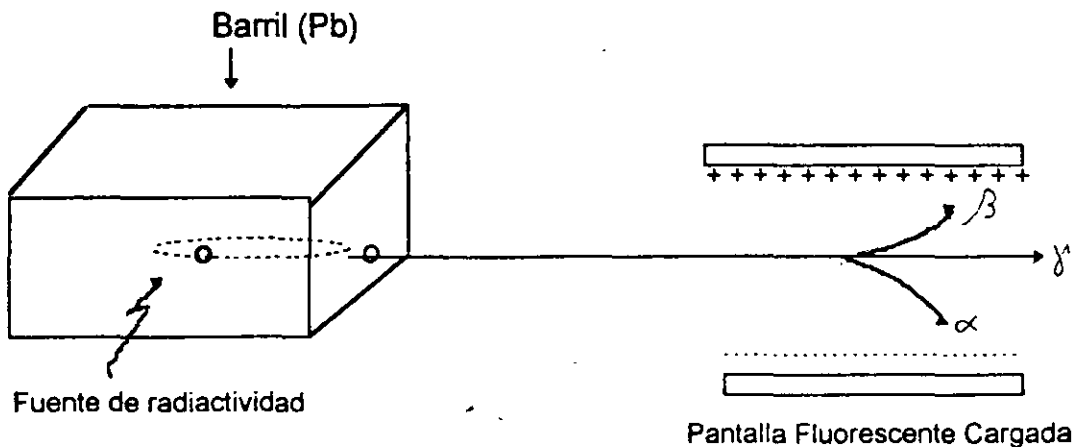


FIG III-15.- MEDICION CONTROLADA DE RADIACION ALFA (α), BETA (β) Y GAMMA (γ)

Las **radiaciones beta**, son electrones que también son emitidas, por el núcleo de un átomo radiactivo, a una velocidad cercana a la de la luz y con una energía entre 0.2 y 3.2 MeV. Estas partículas, pueden detenerse con una lámina delgada de metal, p.e., papel de aluminio.

Las **radiaciones gamma**, se identifican como invisibles, rayos electromagnéticos emitidos por núcleos de átomos radioactivos; éstos rayos, son parecidos a los rayos X médicos, en que están compuestos de fotones. Debido a su carga neutra, los fotones gamma colisionan aleatoriamente, con los átomos de los materiales por los que pasan. Estas radiaciones, son las más penetrantes y para detenerlas, se requieren gruesas paredes de concreto (50 cm), agua (4.0 m), plomo (5 cm), aluminio (21 cm).

Cuando se emite radiación ionizante de un núcleo, la naturaleza del núcleo cambia: se forma otro elemento y también hay un cambio en la masa.

Los rayos X son similares a los gamma, pero originados fuera del núcleo atómico.

Los neutrones, son partículas neutras componentes de los núcleos, emitidas con diversas energías; para detenerlos, se requiere una pared de concreto de 1.50 m, o bien 10 cm de agua.

6.1.2 Unidades para la Medición de la Radiación.

Se han desarrollado unidades estándar, para medir la radiación y su impacto en los materiales.

El daño a la piel humana, está directamente relacionado con la cantidad de energía depositada en la piel, por las emisiones alfa, beta y gamma; ésta energía, en la forma de ionización y excitación de moléculas, resulta en daños por calor a la piel o aún quemado por radiación. Por esta razón, muchas de las unidades usadas para medir la radiación, están relacionadas con unidades de energía.

Un curie (Ci), es una medida de la radioactividad total o fuerza de la fuente, y es igual a 3.7×10^{10} desintegraciones/seg. - la radioactividad del elemento Radio; el régimen de decaimiento se mide en curies.

Un rad (radiation absorbed dose), es la cantidad de radiación ionizante, que lleva a la absorción de 100 ergs/gramo de material absorbido.

El Roentgen, fue por muchos años una unidad estándar de exposición, correspondiente a una cantidad de rayos gamma, que depositan 87.7 ergs/gramo en aire a presión y temperatura estándar.

La dosis equivalente, medida en rem (Roentgen equivalent man). Es una unidad de medida de la absorción de energía en los tejidos, por la radiación ionizante; dirige la siguiente afirmación: todos los tipos de radiación ionizante, no producen efectos biológicos idénticos por una cantidad dada de energía, sobre una piel humana. El mrem, es la milésima parte del rem.

6.1.3 Medidores de Radiación.

Han sido desarrollados dispositivos para medir la dosis de radiación, régimen de dosificación o cantidad de material activo que está presente. Los cuatro métodos ampliamente usados en el campo, son los siguientes:

Contadores, son diseñados para marcar el movimiento de partículas sencillas, a través de un volumen definido.

Las cámaras de ionización, básicamente consisten en un par de electrodos cargados, que colectan iones formados dentro de sus respectivos campos eléctricos.

Las películas fotográficas, se oscurecen si se exponen a la radiación, y son indicadores útiles de la presencia de radioactividad.

Los detectores termoluminiscientes (DTL), son cristales como el NaI, que pueden ser excitados a niveles altos de energía electrónica, por la radiación ionizante.

6.2 Efectos sobre la salud

Cuando las partículas alfa y beta, y la radiación gamma, penetran en células vivas o cualquier otra materia, transfieren su energía a través de una serie de colisiones, con los átomos o núcleos del material que las recibe. Muchas moléculas son dañadas en el proceso, como rompimiento de enlaces químicos y pérdida de electrones (ionización).

Los efectos biológicos de estas penetraciones, pueden ser agrupados como somáticos y genéticos.

Los efectos somáticos, son los impactos sobre los individuos directamente expuestos a la radiación, e incluyen:

- daños al sistema circulatorio;
- carcinogénesis;
- disminución en la función orgánica, debido a la muerte de células.

Los efectos somáticos, ocurren debido a los daños de la radiación ionizante al material genético de las células, y pueden causar rompimiento de cromosomas. Los efectos genéticos, no son evidentes en el individuo recibiendo la radiación, pero son transferidos a los hijos y descendientes del individuo.

Las enfermedades por la radiación (rotura del sistema circulatorio, náuseas, pérdida de pelo) y la muerte resultante, son efectos agudos somáticos, que ocurren después de muy alta exposición, como por una bomba nuclear o una terapia intensiva de radiación.

El accidente en Chernobyl, de la planta de generación nuclear en la antigua URSS en 1986, dio como resultado cerca de 30 muertes de efectos agudos, durante los 2 meses después del evento; éstos individuos, recibieron radiación gamma en todo su cuerpo, estimada en una dosis de aproximadamente 400 rads.

Bajas dosis de radiación, pero arriba de 100 rads, pueden producir vómito, diarrea y náuseas en los humanos; la pérdida de pelo, por lo general se observa dentro de las 2 semanas después de que el individuo ha sido expuesto a 300 rads o más. La radiación ionizante, presenta un buen ejemplo de los efectos diferentes de dosis altas agudas y dosis bajas crónicas.

Los efectos en la salud de una dosis dada de radiación, dependen de un gran número de factores, por ejemplo:

- magnitud de la dosis absorbida;
- tipo de radiación;
- potencia de penetración de la radiación;
- sensibilidad de los órganos y células que la reciben;

- régimen al cual se envía la dosis;
- proporción del cuerpo humano/órgano/célula expuesta.

En general, los efectos en la salud humana por recibir diferentes dosis de radiación anual, son los siguientes:

- 25,000 mrem/año.- No hay efecto clínico; solo efectos aleatorios.
- 50,000 mrem/año.- Pequeños cambios en la composición sanguínea.
- 100,000 mrem/año.- Náuseas y fatiga.
- 200,000 mrem/año.- Los mismos efectos anteriores, pero más acentuados.
- 300,000 mrem/año.- Náuseas y vómitos.- 20% de muertes en un mes y recuperación del resto en 3 meses.
- 400,000 mrem/año.- 50% de muertes en un mes y recuperación del resto.
- 600,000 a 1'000,000 mrem/año.- Muerte segura.

6.3 Fuentes de desechos radioactivos

Hay un número de fuentes de desechos radioactivos:

- ciclo del combustible nuclear;
- fabricación y uso radiofarmacéuticas;
- investigación y aplicación biomédica;
- usos industriales.

El comportamiento de los radionuclidos, se determina por sus propiedades físicas y químicas; estos radionuclidos, pueden existir como gases, líquidos, sólidos y pueden ser solubles o insolubles en agua u otros solventes.

A partir de 1980, la NRC (Nuclear Regulatory Commission) de EUA, clasificó los desechos radioactivos en las siguientes categorías:

- minería del Uranio y colas de molinos;
- desechos transuránicos (TRU);
- material de subproductos;
- desechos de bajo nivel (DBN). Incluye los que no están en las otras cuatro categorías anteriores, y se han designado varias clases: A, B y C.

Los DBN, no son necesariamente menos radioactivos que los Desechos de Alto Nivel, y aún pueden tener actividad específica más alta (curies/gramo); la característica distintiva de los Desechos de Bajo Nivel, es que virtualmente no contienen emisores alfa.

6.3.1 Otras fuentes de desechos radioactivos

El incremento del amplio uso de radioisótopos en investigación, medicina e industria, ha creado una larga lista de fuentes potenciales de otros desechos radioactivos.

Las fuentes de desechos radioactivos, van desde un gran número de laboratorios, que usan pequeñas cantidades (pocos isótopos), a grandes laboratorios de investigación y médicos, en donde diferentes isótopos se producen, usan y desechan en grandes volúmenes.

Desde el punto de vista de la transportación por aire, todas las facilidades para manejo y disposición de desechos nucleares, caen dentro de dos categorías generales:

- las que tiene una descarga a la atmósfera planeada y predecible;
- las que cualquier descarga puede ser puramente accidental.

La transportación por agua, ocurre donde quiera que los radionuclidos en la superficie o bajo la superficie del suelo, erosionan o se filtran, o un curso de agua o donde quiera que ocurran precipitaciones de la atmósfera.

Los isótopos radioactivos, también pueden moverse desde el suelo, a la cadena de alimentación humana. Los mecanismos de nutrición de las plantas, virtualmente no tienen forma de filtrar un elemento que sea radioactivo.

La variedad de características químicas mostradas por los materiales radioactivos, permiten que sean transportados a través del medio ambiente, por un número de pasos diferentes, que hace el manejo de dichos desechos especialmente problemático.

6.3.2 Problemas principales

Los principales problemas de Riesgos por Radioactividad, se tienen en las Plantas Nucleoeléctricas (PNE).

El mayor Riesgo o peligro en una PNE, resulta de la formación de productos radioactivos durante la fisión de átomos.

Bajo condiciones normales de operación, las PNE solo liberan muy poca cantidad controlada de productos radioactivos, sin embargo, no deben dejarse de considerar los accidentes, que causan liberación de grandes cantidades de productos radioactivos, y que crean Riesgos significativos a la población vecina.

La liberación de grandes cantidades de productos radioactivos, puede ocurrir si se funde el núcleo del reactor, por lo tanto, la seguridad nuclear está dirigida totalmente a prevenir la ocurrencia de tales accidentes, mediante:

- La dotación de numerosos sistemas de seguridad a la PNE.
- La mitigación de sus efectos en caso de ocurrencia.

6.4 Las Plantas Nucleoeléctricas (PNE)

6.4.1 Principales características de operación de una PNE

El principio general de operación de una PNE, es el mismo que el de una Planta Termoeléctrica, y esta basado en los dos elementos siguientes:

- Una fuente de calor (en la PNE un reactor nuclear), para evaporar el agua.
- Una fuente de vapor (generador de vapor), para mover una turbina acoplada a un generador eléctrico de potencia.

La PNE está hecha esencialmente de lo siguiente:

- Un edificio del reactor, que comprende una estructura de concreto, llamada contenedor debido a su función de protección.
- Un edificio que contiene el equipo nuclear auxiliar.
- Un edificio para acomodar los medios para la generación de potencia eléctrica.

Dentro del Contenedor, se encuentra el reactor nuclear, que cuenta entre otras partes con lo siguiente:

- La vasija o recipiente del reactor, conteniendo el núcleo en donde tiene lugar la fisión de los átomos de Uranio-235, que liberan calor. El núcleo es enfriado con agua normal, que circula por el exterior del recipiente en circuitos.
- Los cambiadores de calor (generadores de vapor), en donde el sistema primario de agua, transfiere su calor al sistema secundario.

6.4.2 Seguridad de la PNE

La Seguridad de la PNE se logra por medio de la siguiente:

- Un mínimo de cubiertas, llamadas "barreras", que separan el combustible del público.
- Sistemas elementales, que deben operar en el evento de un mal funcionamiento.

Una PNE del tipo RAP (Reactor de Agua a Presión), está provista con una serie de cuatro barreras.

- La cubierta o camisa, que contiene las pastillas de combustible.
- Recipiente o vasija del reactor (acero de 15 a 20 cm. de espesor).
- El contenedor primario (concreto armado de 1.5 m de espesor aprox., forrado internamente con una placa de acero de 1 cm de espesor aprox.).
- Contenedor secundario o edificio del reactor (concreto armado de 1.2 a 1.5 m mantenido con ligera depresión).

Algunos de los sistemas elementales, que tienen funciones de seguridad "(safety-related-systems)", son los siguientes:

- Sistema de disparo del reactor, hecho de un grupo de varillas de control, diseñado para detener la reacción de fisión.
- Sistema de agua de alimentación auxiliar, que actúa en el evento de pérdida del sistema de agua de alimentación normal.
- Sistema de inyección de seguridad, que inyecta agua fría boratada en el sistema primario, cuando baja la presión en éste sistema.

6.4.3 La fusión del núcleo del reactor

La fusión del núcleo del reactor puede resultar, por ejemplo, por la prolongada ausencia de enfriamiento del núcleo.

El combustible nuclear continua liberando calor después de que se ha parado la reacción nuclear. Si éste calor no es removido por un medio de enfriamiento como agua, la temperatura del combustible se eleva hasta que se funde. Los productos radioactivos podrían ir al sistema primario de agua y al aire del edificio del reactor.

La forma en que éstos productos, por último se dispersan en el ambiente, depende mucho de las condiciones atmosféricas. Estos productos pueden tener los siguientes efectos:

- Muerte inmediata de individuos expuestos a dosis muy altas de radiación.
- Muerte por cáncer de habitantes expuestos a dosis altas de radiación.
- Desalojo de población de las áreas contaminadas

6.4.4 Evaluación Probabilística de Riesgo (EPR)

La primera EPR (Reporte Rasmussen) de una PNE, tuvo los siguientes resultados:

- La probabilidad de que se funda el núcleo de un reactor nuclear, fue estimada en alrededor de 5×10^{-5} /año, y sus consecuencias al ambiente, menores (menos de una muerte).
- El peligro de riesgo al ambiente y a la población es muy pequeño.

El reporte Rasmussen, fue evaluado en el llamado reporte Lewis, que criticó numerosos aspectos, especialmente encontró fallas con incertidumbres, en la evaluación que fue considerada subestimada.

La NRC (Nuclear Regulatory Commission) de EUA, rechazó posteriormente el reporte Rasmussen, aunque adoptó sus recomendaciones, concluyendo que hubo fuentes conservadoras y no-conservadoras en el estudio y no fue capaz de contestar a la pregunta ¿Fue el riesgo subestimado o sobrestimado? Entre éstas fuentes, pueden citarse las siguientes:

- Falla en tomar en cuenta la recuperación del error humano durante el accidente.
- Falla de exhaustividad del estudio de la secuencia del accidente.
- La forma de tratar las causas de falla comunes.
- La propagación de inconsistencias de incertidumbres en los cálculos.

6.4.5 La Guía para la EPR

La NRC, el DOE (Department of Energy) y el EPRI (Electric Power Research Institute), emitieron una Guía para la aplicación del método de la EPR, dirigido a:

- Describir el procedimiento, para las organizaciones que deseen realizar dichos análisis.
- Presentar los métodos disponibles, que fueron adaptados a la industria nuclear.

La Guía para la aplicación de métodos de la EPR, identifica tres niveles principales:

- 1er Nivel.- Análisis e identificación de las secuencias del accidente, dirigido a evaluar la probabilidad de fusión del núcleo.
- 2º Nivel.- Análisis del proceso físico de fusión del núcleo y los modos de falla del contenedor.
- 3er Nivel.- Análisis del transporte de productos radioactivos en el ambiente y sus consecuencias.

Un análisis que cubra solo los primeros dos niveles, se conoce como Evaluación Probabilística de Seguridad, EPS.

6.4.6 Metas de seguridad cuantificadas

Se han propuesto y usado numerosas metas de seguridad cuantificadas, para la tarea de decisiones, tanto en el diseño como en la operación de los sistemas industriales.

Estas metas se definen bajo las tres consideraciones siguientes:

- Elección de la meta basada en observaciones estadísticas.- Dada la estadística del accidente, se busca en el futuro un mejor récord; se llega a la meta ajustada, dividiendo el dato estadístico entre un coeficiente, que represente la ganancia en seguridad.
- Elección de la meta basada en razonamiento económico.- El riesgo se compara con la utilidad (con frecuencia evaluada en términos financieros), para el individuo o para la comunidad como un todo, pudiendo considerarse los pros y contras de cada actividad humana. Este tipo de consideración, se caracteriza por recomendaciones como: "tan bajo como sea razonablemente posible o lograble".
- Elección de la meta basada en el riesgo individual o colectivo aceptable.- Los niveles de riesgo aceptables, pueden determinarse estudiando los riesgos individuales o colectivos incurridos por la sociedad, a partir de los cuales se fija la meta de seguridad..

6.4.7 Objetivos de seguridad de PNE

La NRC, propuso objetivos de seguridad cualitativos y cuantitativos, para establecer las bases de regulaciones de seguridad que ayuden:

- Al público a entender y aceptar los riesgos.
- A tomar decisiones en el diseño y operación de PNE:

Los objetivos de seguridad cualitativos son los siguientes:

- El público en la vecindad de las instalaciones, debe estar adecuadamente protegido contra consecuencias potenciales.
- El riesgo colectivo a la vida y a la salud por la operación de una PNE, debe ser comparable o menor, a los riesgos por generación con técnicas alternas y factibles.

Los objetivos de seguridad cuantitativos son los siguientes:

- La probabilidad de muerte inmediata de un individuo en la vecindad del sitio, debida a accidentes de una PNE, no debe exceder de 1/1000 de las probabilidades de muerte inmediata acumulativa, por otros accidentes.

- La probabilidad de muerte inducida por cáncer en el individuo, que puede resultar de la operación de una PNE, no debe exceder de 1/1000 de la probabilidad de muerte inmediata acumulativa, imputable a cáncer inducido por otras causas.
- Los beneficios para la sociedad de una reducción adicional en la mortalidad, deben ser comparados con el ahorro radiológico y costo financiero, sobre la base de 1000 dólares ahorrados, por hombre-rem.
- La probabilidad de un accidente en una PNE, resultante en una fusión del núcleo, debe permanecer normalmente por abajo de 10^{-4} /reactor-año.

7. TRANSPORTE DE MATERIALES Y DESECHOS PELIGROSOS

El transporte de materiales y desechos peligrosos, tiene regulación y ordenamientos diferentes a los aplicados en lugares fijos, razón por la cual solamente se incluyen en este trabajo algunos conceptos generales.

Los desechos peligrosos se transportan en camiones, carros de ferrocarril y barcos; la transportación de desechos peligrosos, presenta los mismos peligros y está regulado en la misma forma, que la transportación de otros materiales peligrosos como la gasolina.

Hay cuatro elementos básicos, en la estrategia de control para el movimiento de los desechos peligrosos desde el generador:

- a) Transportista.- Lo mas importante sobre los transportistas de desechos peligrosos, incluye: entrenamiento del operador, cobertura en seguro y registro especial de los vehículos de transporte.
- b) Documentación del desecho peligroso.- Sirve para varios propósitos y organizaciones: autoridades (federales y estatales), generador y receptor del desecho.
- c) Etiquetado y rotulado.- Antes de que un desecho se transporte del sitio de generación, cada contenedor debe ser etiquetado, y rotulado el vehículo de transportación.
- d) Reportes de accidentes e incidentes.- En las regulaciones de transportación, "incidente" involucra daños al empaque del desecho, sin involucrar al vehículo; "accidente" involucra al vehículo que lleva el desecho así como a éste mismo.

8. FACTORES AMBIENTALES

Los riesgos por factores ambientales, son eventos relacionados con el ambiente interior o exterior de la facilidad, pero en cualquier caso, fuera del sistema elemental estudiado.

Los riesgos ambientales, representan las fuentes potenciales más comunes de fallas dependientes; los medios de protección contra estos tipos de fallas, son implementados durante los estudios de diseño de un componente o sistema.

El nivel de protección de un sistema o componente, debe ser de acuerdo a las condiciones en que el sistema realiza su misión, y de acuerdo a la importancia de su misión, para la seguridad de la unidad a la cual pertenece.

Los Riesgos por factores ambientales, son tan numerosos y diversificados, que deben ser subdivididos, p.e., en condiciones:

- Normales internas o externas.
- Naturales extremas.
- De accidente generados interna o externamente.

Los análisis sistemáticos de factores relacionados con afectaciones ambientales, sobre la confiabilidad de componentes, por lo general se realizan en dos fases:

- Selección de factores, con probable impacto sobre los componentes, y los valores umbral, arriba de los cuales este impacto empieza a observarse.
- Evaluación del rango de variaciones de los factores antes mencionados, bajo todas las condiciones de operación de la facilidad; el diseñador, es quien mejor define éstos parámetros, en las especificaciones técnicas. Si los umbrales antes mencionados pueden excederse, se deben tomar medidas fuertes de protección, contra el factor mencionado.

De acuerdo a sus causas genéricas, las causas de falla ordinarias pueden clasificarse en la siguiente forma.

- Ambiente normal, generado interna o externamente (polvo, suciedad, humedad, temperatura, vibración, atmósfera corrosiva, radiación ionizante...).
- Ambiente natural extremo.
 - Condiciones meteorológicas extremas (nieve, viento...)
 - Terremotos
 - Inundaciones

- Ambiente generador de accidentes internos:
 - Condiciones ambientales resultantes de un accidente
 - Chicoteo de tubería
 - Misil
 - Inundación local
 - Fuego
 - Explosión

- Ambiente generador de accidentes externos:
 - Caída de avión
 - Colapso de presa, inducido por inundación.
 - Explosión
 - Fuego

9. ERRORES DE DISEÑO.

Son errores hechos durante los estudios de diseño (principios de operación, componentes utilizados, definición de procedimientos de prueba y operación, etc.), del componente o sistema elemental, los cuales perjudican las funciones de estos.

Estas son las causas de falla más difíciles de identificar, puesto que están estrechamente relacionadas con las limitaciones del "saber-como" (know-how). Se refieren tanto a componentes como a sistemas elementales y pueden asumir varios aspectos, como se describen a continuación:

- a) Componente o sistema elemental mal adaptado a su misión. Debido a que la condición exacta de una misión específica, no fue suficientemente conocida, un componente o sistema elemental, puede ser incapaz de cumplir sus funciones satisfactoriamente.

Por lo general, este tipo de error se detecta durante las pruebas preoperacionales o periódicas.

Desafortunadamente, hay ejemplos en donde las condiciones exactas de la misión, no pueden ser simuladas durante las pruebas, a veces por la pérdida de dinero, de tiempo o porque las condiciones reales no pueden ser reproducidas. Los ejemplos más típicos, son los sistemas diseñados para limitar las consecuencias de accidente, que dañen severamente las facilidades industriales o el ambiente.

El accidente de pérdida de enfriamiento en una planta nuclear de potencia, pertenece a esa categoría de accidente, con una probabilidad de ocurrencia extremadamente baja, por los medios implementados para prevenir su ocurrencia. La simulación a plena escala de éste tipo de accidentes, esta fuera de discusión y se espera no experimentarlo nunca.

El único método disponible, para verificar si el sistema diseñado para satisfacer éste tipo de situación está bien adaptado a su misión, es simular las condiciones del accidente con un programa de computadora, el cual es mejorado alimentándolo con datos obtenidos durante pruebas, en ciertas fases de la secuencia del accidente.

- b) Configuración del sistema elemental, con causas de falla comunes potenciales. La configuración de un sistema elemental o de sus conexiones con otros sistemas, por ejemplo el sistema auxiliar vital, puede ser tal que la falla de un componente, puede inducir falla del sistema completo o de varios sistemas.

Este riesgo, puede ser cancelado por un nivel de redundancia aparentemente satisfactorio, y solo puede ser identificado después de una evaluación de confiabilidad detallada, esto es, un sistema elemental que cumple varias funciones, es con frecuencia el origen de dichas fallas.

- c) Pruebas periódicas inadecuadas o perjudiciales. Las pruebas periódicas, están esencialmente dirigidas a mantener la disponibilidad, de un sistema elemental o componente de respaldo (standby), en un nivel satisfactorio. Estas pruebas, solo se realizan porque el equipo puede deteriorarse mientras no trabaja, sin embargo, su diseño puede llevar a causas de falla comunes.

Por ejemplo, la prueba periódica de un sistema de fluido, durante la cual la posición o estado de las válvulas dentro del sistema, puede ser cambiada para el propósito de la prueba, puede ser perjudicial (error humano: falla en regresar a la válvula a su posición apropiada).

Una prueba periódica, puede ser también perjudicial, porque puede ser causa de desgaste de varios componentes idénticos simultáneamente.

- d) Componente o sistema elemental no operable fácilmente. Cuando el diseño de un sistema es tal, que no puede ser fácilmente operado o monitoreado por el operador, la probabilidad de errores de operación aumenta, por lo tanto, es un requisito el diseño simple de la configuración del sistema (sin demasiados componentes) y su fácil operación.

El diseño de un sistema cuya función es controlar un accidente, es decir, enfrentarse a un evento raro, es realmente un problema. El diseñador, puede elegir entre automatizar enteramente la operación del sistema, dejando solo una parte totalmente pasiva al operador, o automatizar parcialmente el sistema, con el operador realizando algunas acciones dentro de tiempos prescritos.

- e) Sistema elemental o componente difícil de mantener. Si el diseño de un sistema elemental es tal, que el acceso al mismo es difícil y las operaciones de etiquetado, desensamble y re-ensamble son problemáticas, la probabilidad de errores de operación se incrementan.

Por lo anterior, las condiciones de mantenimiento correctivo o preventivo, así como las condiciones de operación, deben ser estudiadas cuidadosamente, con el enfoque de minimizar la probabilidad de errores humanos, tanto como sea posible.

f) Inadecuada optimización de diseño, con relación a causas de falla comunes. Las medidas de protección contra causas de fallas, pueden resultar ya sea directamente o preparar las bases para otras fallas, por ejemplo:

- Las restricciones contra chicoteo, para limitar los movimientos de tubería en un sistema de fluidos, durante condiciones de accidente, pueden ir contra los niveles de libertad requeridos, en los movimientos de la tubería, durante las condiciones normales de operación.
- Colocando las líneas redundantes de un sistema relacionado con seguridad (safety-related) en bunkers separados, en una planta nuclear de potencia, se ha considerado la mejor garantía contra los peligros ambientales, sin embargo, este tipo de protección ha incrementado la vulnerabilidad del sistema al mal funcionamiento de la ventilación; este sistema de ventilación, se ha convertido en un sistema auxiliar vital, de los sistemas relacionados con la seguridad. Los bunkers, están también en conflicto con la facilidad de acceso.

El análisis crítico del diseño, debe ayudar a optimizar la protección contra causas de falla comunes, y a evitar dar a una protección más importancia que a otras, en detrimento a una protección que cree condiciones favorables, para una causa de falla común, sin el conocimiento del diseñador.

g) Omisión o equivocación en los estudios de diseño. El estudio del control de calidad por lo general es para, entre otras cosas, limitar la ocurrencia de éste tipo de errores.

Las causas de falla comunes, que no se toman suficientemente en cuenta, o que simplemente se olvidan en la fase de diseño, merecen especial atención. Estas fallas, pueden estar relacionadas a las condiciones de la misión del sistema, en el evento del accidente.

Por ejemplo, la resistencia sísmica de un sistema relacionado con la seguridad de un planta nuclear de potencia, o de uso de sus sistemas auxiliares vitales, debe estar provisto de ella en el diseño del sistema y de sus elementos soporte. Una posible omisión, solo puede ser detectada checando los cálculos, puesto que una simple prueba después no puede revelarla.

10. FABRICACION

Son errores durante la fabricación de componentes del sistema elemental. Con frecuencia, los errores de manufactura llevan a causas de falla comunes, que afecten varios componentes del mismo tipo. Se deben examinar con mucho detalle, dos tipos de errores de manufactura.

- Los errores que consisten en la falla en cumplir con especificaciones técnicas de manufactura.- Los controles de calidad de los productos manufacturados, deben organizarse de forma de minimizar la frecuencia de dichos errores; se deben incluir, no solo controles para checar que las especificaciones, relacionadas con los materiales y tolerancias dimensionales para los componentes se cumplen, sino también pruebas de los niveles funcionales de comportamiento requerido, en los bancos de prueba o en las fábricas.
- Errores tecnológicos.- Estos errores, pueden crear un punto débil en el diseño de un tipo dado de componente, que no detectados por pruebas de conformidad, solo pueden ser detectados durante pruebas de fábrica, en bancos de pruebas o en el sitio.

Sin embargo, un gran número de dichos errores pueden ser eliminados antes que se lance la producción, si los diagramas detallados de componentes se inspeccionan a tiempo, por especialistas en estos componentes. Esta inspección, ayuda a optimizar las pruebas de fábrica, en pruebas de banco o del sitio, con objeto de facilitar el descubrimiento de posibles puntos débiles en un componente.

Relacionado con componentes probados, que son comprados por sus buenos registros de operación, la atención debe enfocarse a los que parecen ser cambios menores, que pueden permanecer sin observar o que demandan mejoramiento en series previas, aunque no hay evidencia de prueba. Este tipo de mejoramiento, es una fuente usual de causa de falla común.

11. MONTAJE, ENSAMBLE

Son errores cometidos en el curso del ensamble del componente (en la fábrica, en el sitio), y durante las pruebas pre-operacionales realizadas en el componente y en el sistema elemental

Con frecuencia, los errores de ensamble llevan a causas de fallas comunes, que afectan varios componentes idénticos; estos errores pueden deberse a:

- no acatamiento a buenas prácticas de ingeniería;
- no acatamiento a reglas de limpieza;
- no acatamiento a especificaciones técnicas;
- defectos de soldadura en varios componentes.
- pruebas preoperacionales inadecuadas.

12. OPERACION

Son errores cometidos durante la operación de componentes y sistemas elementales, que previamente se encontraron adecuados para el servicio.

Como ejemplo, a continuación se da una lista de experiencias de operación de una planta de potencia:

- Errores cometidos durante operación (normal, condiciones de incidente y accidente):
 - Acciones erróneas debidas a fallas de aplicación o aplicadas no apropiadamente, procedimiento, datos mal interpretados o procesos mal entendidos.
 - Alarmas no relacionadas o alarmas mal interpretadas, como una falla del propio sistema de alarma.
 - Transmisión inadecuada de órdenes entre operadores.
 - Diagnósis equivocada durante incidentes o accidentes, etc.
- Errores cometidos durante inspecciones y pruebas:
 - Omisión de pruebas periódicas, o comportamiento incorrecto de pruebas periódicas.
 - Errores de calibración o ajustes.
 - Uso de procedimientos de pruebas periódicas obsoletas o incompletas.
 - Negligencia u omisión, resultando en que se deja al sistema en un estado diferente del estado especificado, para el final de las pruebas, etc.

- Errores de mantenimiento.
 - Falla en cumplir con procedimientos de mantenimiento.
 - Uso de procedimientos de mantenimiento obsoletos o incompletos.
 - Negligencia u omisión, resultante en que el sistema se deja en un estado diferente del estado en que debería estar, al final de las operaciones de mantenimiento.

13. ACTOS MAL INTENCIONADOS

Toda instalación de riesgo mayor, puede ser objeto de actos malintencionados o de sabotaje, por personal de la planta o por gente del exterior.

Al diseñar la instalación, se debe tener presente la necesidad de tomar medidas de protección contra dichos actos, incluyendo la vigilancia del sitio o emplazamiento.

Aún cuando la protección contra estos actos es difícil y nunca será perfecta, es muy importante considerarla desde la etapa de diseño.

IV. MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS (MRP)

1. DISPOSICIONES LEGALES

1.1 Definiciones

La LGEEPA establece las siguientes definiciones de materiales y residuos peligrosos (MRP).

Material peligroso. "Elementos, sustancias, compuestos, residuos o mezclas de ellos que, independientemente de su estado físico, represente un Riesgo para el ambiente, la salud o los recursos naturales, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas".

Residuo. "Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento, cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó".

Residuos peligrosos. "Todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico infecciosas, representen un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente".

La identificación de materiales y residuos peligrosos, se establece de acuerdo a la NOM-052-ECOL-93, y análisis CRETIB (corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable y biológico-infeccioso), como se muestra en la Fig. IV-1.

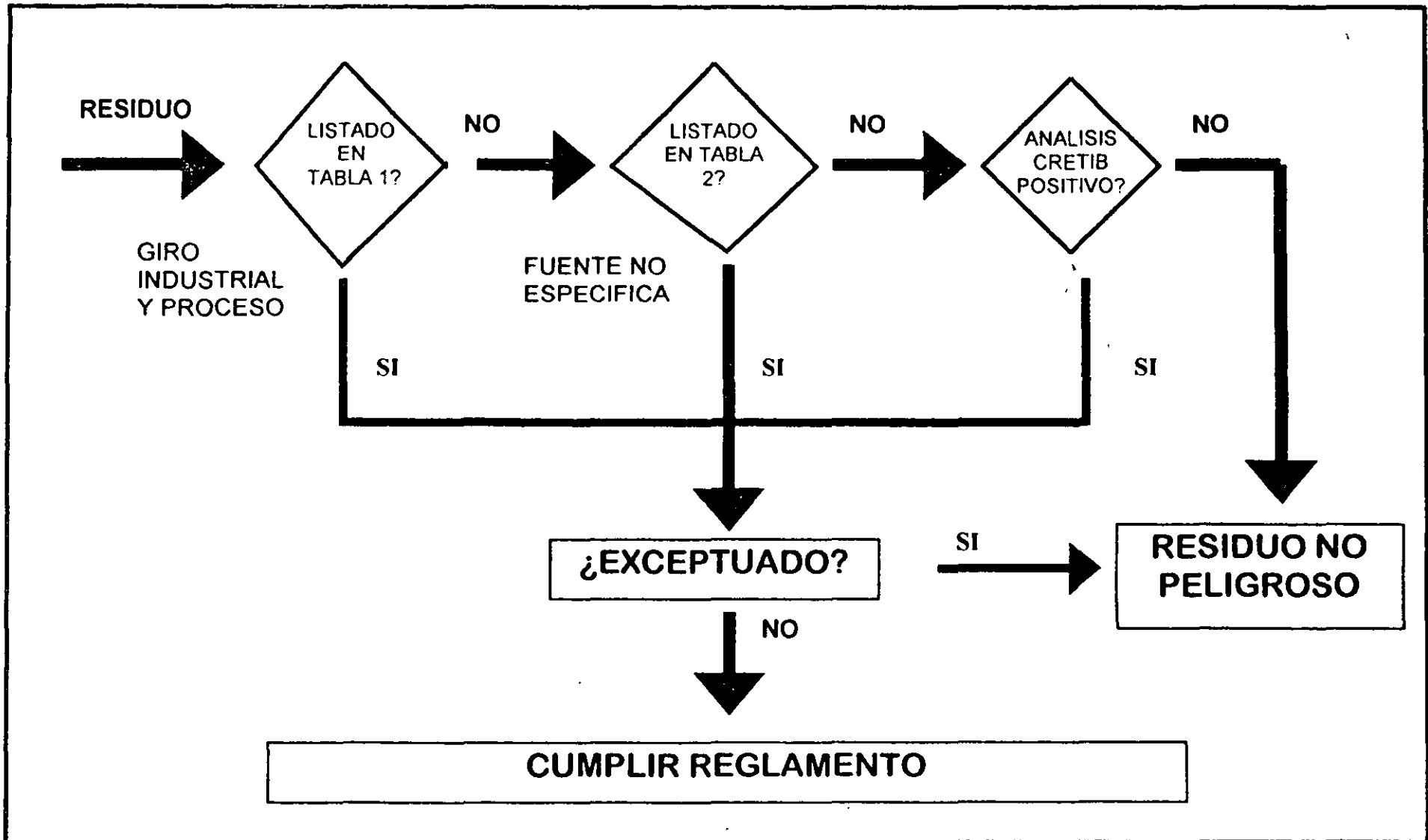
Las características de los materiales y residuos peligrosos, están en función del análisis CRETIB, que se muestran en la Tabla IV-1.

1.2 Reglamentación

El manejo de los MRP está regulado por lo siguiente:

- LGEEPA
- Reglamento de MRP
- NOM ecológicas emitidas por la SEMARNAP que controla y regula el manejo de las MRP.

FIG. IV-1.- IDENTIFICACION DE MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS
(NOM-052-ECOL-93)



**TABLA IV-1.- CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS
(NOM-052-ECOL-93)**

| | |
|------------------------------|--|
| Corrosivo: | En estado líquido su PH < 2 y > = 12.5 |
| Reactivo: | A 25° C y 1 Atm., se combina o polimeriza violentamente sin detonación. Forma gases, humos o vapores al contacto con el agua, en proporción residuo-agua 5:1, 5:3 y 5:5. |
| Explosivo: | Puede detonar a 25° C y 1 Kg./cm.2 de presión. Coeficiente de explosividad >= Dinitrobenceno. |
| Tóxico: | Cuando los lixiviados superan las concentraciones indicadas en el listado 1. |
| Inflamable: | Contiene + 24% de alcohol en volumen. Líquido con un punto de inflamación < 60° C No es líquido pero puede encenderse por fricción. |
| Biológico infeccioso: | Efectos nocivos en los seres vivos. |

La regulación del manejo de los materiales, y residuos peligrosos, incluye las siguientes actividades:

- Uso
- Recolección
- Almacenamiento
- Transporte
- Reuso
- Reciclaje
- Tratamiento
- Disposición final.

El reglamento y las NOM en materiales y residuos peligrosos establecen, entre otras cosas, lo siguiente:

- Criterios y listados para su clasificación.
- Identificación por su grado de peligrosidad, en función de sus características y volúmenes.
- Requisitos para etiquetado y envasado.
- Evaluación del riesgo.
- Obligación de informar sobre contingencias y accidentes, que puedan generarse por su manejo, especialmente de sustancias químicas.
- Mecanismos y procedimientos, para el manejo eficiente ambiental y económico, incluyendo su utilización en proceso distinto al generador.

La política de residuos peligrosos de la LGEEPA, busca principalmente lo siguiente:

- Proteger la salud pública y los ecosistemas, mediante la prevención de su generación.
- Fomentar la minimización, reciclaje y recuperación de materiales secundarios o de energía.
- Promoción de inversiones en infraestructura para su manejo y disposición.
- Integrar cadenas productivas, en donde los generadores se responsabilicen de su manejo adecuado.
- Generar nuevas ramas de actividad económica y oportunidades de empleo.
- Hacer mas eficiente la gestión administrativa y evitar la duplicidad de trámites.
- Hacer mas eficaces los controles sobre quienes prestan servicios de almacenamiento, transporte, tratamiento, etc.

La responsabilidad del manejo y disposición final de los residuos peligrosos (RP), es del generador de ellos; cuando se utilicen contratistas, éste será responsable de las operaciones. Así mismo, deberán avisar a la SEMARNAP sobre RP, quienes los:

- Generen
- Rehusen
- Reciclen

La autorización para confinamiento de RP, siempre que no estén en estado líquido, solo se concede cuando no sea técnica y económicamente factible su:

- Reuso
- Reciclamiento
- Destrucción (térmica, físico-química)

También se requiere autorización previa de la SEMARNAP en materia de RP para:

- Prestación de servicios a terceros para: recolección, almacenamiento, transporte, reuso, tratamiento, reciclaje, incineración y disposición final.
- Instalación y operación para: tratamiento o disposición final y reciclaje (incineración), para recuperación de energía.
- Instalación y operación por parte del generador fuera de su instalación, para sistemas de: reuso, reciclaje y disposición final.

La transportación a un predio distinto al de generación, debe hacerse de acuerdo con la NOM-SCT de Transporte terrestre de residuos peligrosos. Cuando es dentro del mismo predio, pero a un proceso distinto al de generación, el control interno es por la empresa responsable para:

- Uso
- Tratamiento
- Reciclado

Cuando por la generación, manejo y disposición final de RP se produzca contaminación del suelo, el responsable debe recuperar y restablecer las condiciones, para actividades en programas de desarrollo urbano o de orden ecológico.

1.3 Importación y Exportación (I&E) de RP

Las restricciones para I&E de RP, las establece el ejecutivo federal y la ley de Comercio Exterior.

La SEMARNAP, es la entidad para control y vigilancia ecológica de I&E de RP, considerando medidas de seguridad y la ley aduanera.

Se concede autorización de I&E de RP, cuando su uso este conforme a Leyes, Reglamentos, NOM y disposiciones vigentes, para:

- Tratamiento
- Reciclaje
- Reuso
- La exportación, solo con consentimiento expreso del país receptor.

No se concede autorización de I&E de RP, para los siguientes casos:

- Disposición final
- Simple depósito
- Almacenamiento
- Uso o fabricación no permitida en el país elaborador

No se concede autorización de tránsito de RP, en los siguientes casos:

- No satisfacción de especificación de uso o consumo, conforme a su elaboración.
- Uso o consumo prohibido o restringido en el país destinatario
- Venga de un país extranjero para un tercer país.

Se concede autorización de importación temporal de materia prima, incluyendo los regulados en el artículo 85 de la ley aduanera, bajo la condición de regresarse al país de origen, para lo siguiente:

- Producción
- Transformación
- Elaboración
- Reparación

La autorización se concede, siempre que se garantice: el cumplimiento de la LGEEPA y disposiciones aplicables, y la reparación de daños y perjuicios en el país y en el extranjero.

No se autoriza la exportación de RP en los siguientes casos:

- Se contemple reincorporación a territorio nacional.
- No exista consentimiento expreso del país receptor.
- El país destinatario exija reciprocidad.
- Implice incumplimiento de compromisos por parte de México.

Se produce revocación de autorización de I&E de RP en los siguientes casos:

- Por causas supervinientes, que constituyan mayor riesgo ecológico.
- No cumplan con los requisitos de guía ecológica de la SEMARNAP.
- Ya no posean los atributos o características de la autorización.
- La autorización se transfirió a persona distinta a la solicitante.
- La solicitud contenga datos falsos o que oculte información necesaria para la autorización.

2. PROGRAMA PARA MINIMIZACIÓN Y MANEJO DE RP

2.1 Objetivo

El gobierno federal tiene un programa para minimizar y manejar integralmente los RP, cuyo propósito central es: *“compatibilizar las estrategias de regulación y gestión, en materia de manejo de residuos industriales peligrosos, con criterios de eficiencia y competitividad industrial”*.

Los objetivos declarados de este programa son los siguientes:

- Promover la minimización en la generación de los residuos industriales peligrosos y en los riesgos inherentes a su manejo, incentivando cambios hacia procesos y tecnologías cada vez más limpias.
- Fomentar la recuperación de materiales e insumos secundarios, en un contexto de eficiencia económica y ambiental, así como de conservación de los recursos naturales.
- Asegurar el manejo adecuado de los residuos industriales peligrosos.
- Promover la valorización y el manejo de los residuos, como componente fundamental del sector ambiental de la economía.
- Inducir la integración de nuevas cadenas productivas, tanto para residuos con alto valor comercial en el mercado, como para materiales secundarios producto de tratamiento de aquellos.

Para ayudar al logro de estos objetivos se tienen los siguientes instrumentos:

- Regulación directa de materiales y residuos peligrosos y riesgo.
- Evaluación del impacto ambiental.
- Estudios de riesgo.
- Normatividad.
- Mecanismos de información y concertación y concurrencia.
- Económicos.
- Procedimientos de inspección y vigilancia.

Los instrumentos anteriores se utilizan para la aplicación de estrategias, que dan lugar a los siguientes proyectos y acciones:

- Minimización de residuos en empresas industriales.
- Fortalecimiento del marco jurídico y normativo.
- Atención a zonas, ramas industriales y corrientes críticas.
- Vigilancia eficiente.
- Modernización de la regulación directa.
- Desarrollo del sistema de información y rastreo de RP.
- Promoción de inversiones en servicios de infraestructura.

- Capacitación y comunicación social.
- Cooperación internacional.

2.2 Consecuencias de los RP

Las consecuencias o efectos que pueden tener los RP, incluyen los siguientes principalmente:

- Impactos ecológicos adversos en los ecosistemas.
- Impactos adversos en los recursos hidrológicos.
- Riesgos de salud ambiental tóxicos.
- Riesgos por accidentes o contingencias.

Normalmente los RP se generan en una serie de actividades, que se realizan en las siguientes operaciones con los materiales:

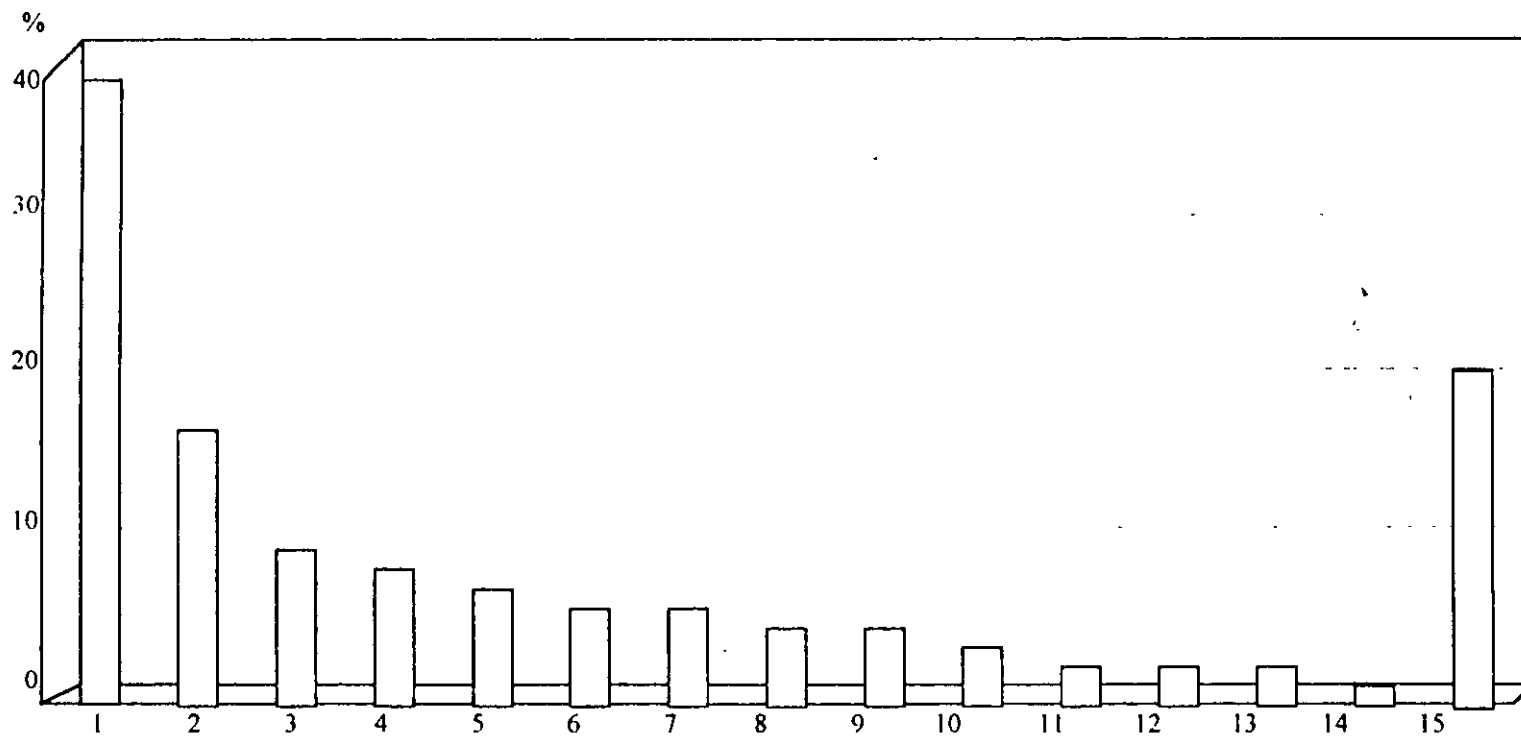
- Transformación
- Separación
- Purificación

En la Fig. IV-2, se muestra la cantidad relativa por tipo de residuo generada, y en la Fig. IV-3, la generación estimada de RP por rama industrial.

Las actividades que se han desarrollado para el control de RP, incluyen las siguientes:

- Confinamientos
- Reciclaje de solventes
- Reciclaje de aceites
- Reciclaje energético de residuos combustibles
- Exportación de aceites contaminados con BPC
- Reciclaje de residuos con elementos metálicos

FIG. IV-2.- GENERACION DE RESIDUOS PELIGROSOS



- 1. Solventes
- 2. Aceites y grasas
- 3. Pinturas y barnices
- 4. Soldadura
- 5. Resinas

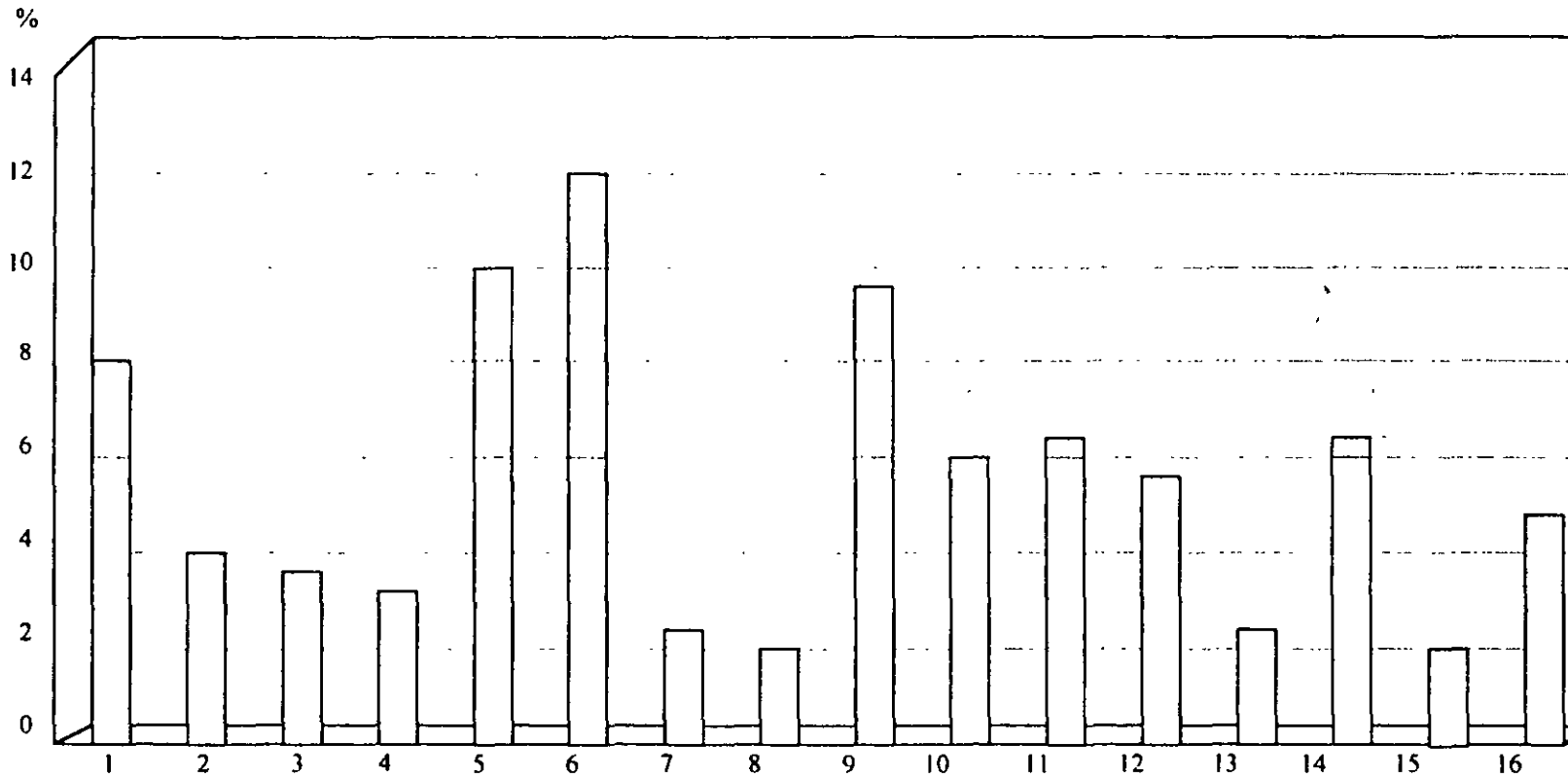
- 6. Acidos y bases
- 7. Derivados del petróleo
- 8. Metales pesados
- 9. Adhesivos
- 10. Freón

- 11. Lodos
- 12. Silicón
- 13. Tintas
- 14. Plásticos
- 15. Otros

Se estima, que solo el 12% de los RP generados en México se controlan en forma adecuada; la infraestructura instalada para su manejo, incluye lo siguiente (1997):

- 17 Empresas para el reciclaje de solventes usados.
- 9 Empresas para el manejo de aceites lubricantes usados.
- 6 Empresas de almacenamiento temporal.
- 2 Confinamientos controlados de RP de servicio público.
- 2 Confinamientos de RP de servicio privado.
- 3 Incineradores de RP de servicio privado.
- 5 Empresas para el reciclado de metales.
- 22 Empresas de tratamiento in situ de RP.
- 71 Empresas para recolección y transporte de RP.
 - 3 Empresas para la formulación de combustible alternativo.
 - 3 Empresas cementeras para la recuperación de energía alternativa a partir de RP.
 - 2 Empresas de reuso de tambores metálicos.
 - 4 Empresas de rehabilitación de sitios contaminados por RP.
 - 1 Empresa de tratamiento de aceites contaminados con BPC.

FIG. IV-3.- CRECIMIENTO PROYECTADO 1994-2000 DE GIROS PRIORITARIOS



- 1. Productos de plástico
- 2. Química básica
- 3. Refinación de petróleo
- 4. Petroquímica
- 5. Maquinaria y equipo

- 6. Automotriz
- 7. Textil
- 8. Editoriales e imprentas
- 9. Equipo electrónico
- 10. Productos metálicos

- 11. Productos químicos
- 12. Cemento
- 13. Hierro y acero
- 14. Mat. de arcilla para construcción
- 15. Metales no ferrosos
- 16. Bebidas

3. PRIORIDADES DE ATENCION

Para establecer las prioridades de atención, se deben considerar los siguientes conceptos:

- Ramas industriales
- Tipos de RP
- Regiones vulnerables

3.1 Ramas Industriales

Las principales ramas industriales responsables de la generación de RP, son las siguientes:

- Extracción y/o beneficio de minerales de hierro
- Extracción y/o beneficio de minerales preciosos
- Textiles
- Curtido y acabado de cuero
- Fabricación de productos petroquímicos básicos orgánicos
- Fabricación de productos petroquímicos básicos inorgánicos
- Fabricación de colorantes o pigmentos
- Fabricación de fertilizantes
- Refinación de petróleo
- Galvanoplastia en piezas metálicas
- Perforación de pozos de petróleo y de gas
- Fabricación y/o ensamble de equipos eléctricos y electrónicos
- Plantas nucleoelectricas
- Enriquecimiento de uranio
- Plantas termoeléctricas
- Minas de carbón

3.2 Tipo de Residuos

Adicionalmente a las características CRETIB de los RP señaladas anteriormente, se deben tomar en cuenta las consideraciones de riesgo como:

- Toxicidad
- Persistencia
- Bioacumulación
- Contingencias
- Movilidad ambiental (se define por el estado físico de los residuos, que inducen o inhiben su capacidad de movilización)

Los estados físicos que pueden significar las mayores capacidades de movilidad ambiental, son los siguientes:

- Lodos
- Aguas de procesos
- Líquidos en general
- Sólidos solubles
- Envases de plaguicidas

En función de las anteriores consideraciones de riesgo y estado físico, pueden definirse los tipos de residuos prioritarios, que son.

- Organoclorados (PCB, hexaclorados, plaguicidas, disolventes)
- Metales pesados (mercurio, cromo, cadmio, plomo)
- Bases con pH extremo (álcalis e hidróxidos)
- Ácidos con pH extremo (sulfúrico, clorhídrico, nítrico)
- Otros orgánicos (aromáticos, combustibles)

3.3 Regiones Vulnerables

Debido a que los conceptos anteriores de ramas industriales y tipos de residuos, no se distribuyen uniformemente en el territorio, se establecen los conceptos regionales prioritarios siguientes:

- Concentración industrial.
- Acuerdos internacionales y efectos transfronterizos
- Alta exposición de la población
- Ecosistemas frágiles

4. MANEJO Y TRATAMIENTO DE RP

4.1 Manejo Técnico

Antes de diseñar los mecanismos de tratamiento de los RP, se deben realizar una serie de actividades y un orden de prioridades, a efecto de obtener resultados satisfactorios; estas actividades incluyen las siguientes:

- Análisis de todos los métodos posibles de reducción de la cantidad de residuos generados.
- Estimular el intercambio de residuos sin proceso previo.
- Potenciar el reciclado de sustancias como metales, plásticos, etc.
- Establecer una lista de métodos a utilizar, de acuerdo a las condiciones específicas de la planta y al tipo de RP generados.
- Análisis de flujos de RP producidos.
- Establecer los tratamientos químicos y biológicos, para neutralización y detoxificación.
- Desecar los efluentes de residuos líquidos.
- Eliminar los residuos que sean combustibles, con incineradores apropiados.
- Solidificar residuos para estabilización y reducción de lixiviados.
- Disponer de terrenos diseñados específicamente para almacenar RP después de tratarlos adecuadamente.
- Disponer de infraestructura con los recursos mínimos necesarios, que incluyen: compromiso de máximos responsables y recursos económicos y técnicos.
- Realización de una auditoría, para plantear las estrategias de minimización de generación de residuos; ésta auditoría incluye:
 - La identificación de todos los flujos de residuos generados.
 - La determinación de las fuentes de donde proceden.
- Establecer un orden de prioridades, para aplicar el programa de minimización de residuos, que incluye el uso de una tecnología eficiente y sistemas para el cálculo de volúmenes de residuos.
- Implantación de soluciones oportunas para controlar la fuente de descargas, más que su tratamiento, que incluyen, p.e.:
 - Cambios en la materia prima, como su purificación previa
 - Sustitución de materiales tóxicos
 - Dilución
- Modificaciones en la tecnología (equipamiento, distribución de tuberías, automatización).
- Uso eficiente de agua y energía.
- Mejoras del proceso productivo, que puede afectar la plantilla de personal.
- Reciclado (p.e., destilación para recuperar disolventes)

4.2 Tratamiento de los RP

4.2.1 Tratamientos Químicos

El tratamiento químico de los residuos industriales, tiene por objeto la detoxificación de éstos, y es empleado bien como un único proceso de tratamiento, o bien como un proceso para reducir la toxicidad de un agente específico previo a su transporte, incineración y disposición.

Existen varios métodos químicos para el tratamiento de los residuos industriales, cada uno de los cuales está basado en interacciones específicas, entre el agente químico empleado para el tratamiento y las sustancias tóxicas que transporta.

El método por el que se produce la detoxificación no es la desaparición del agente nocivo, sino una transformación de éste en otro ambientalmente más aceptable.

Se pueden agrupar los tratamientos químicos de residuos industriales en cuatro grandes métodos, atendiendo al tipo de reacción que se lleva a cabo en cada caso:

- Oxidación
- Reducción
- Precipitación
- Neutralización

Una reacción de oxidación es, en su definición más básica, el aporte de electrones, a menudo acompañados de una adición de oxígeno, cedidos por una sustancia llamada oxidante a otra que se oxida. El método de oxidación se ha mostrado muy eficaz en muchos casos, como a la hora de tratar cianuros, empleando cloro como agente oxidante.

Para llevar a cabo la oxidación de compuestos orgánicos, se emplea la oxidación con aire húmedo. A elevada presión y temperatura, se hace burbujear aire a través de una fase líquida, que contiene la materia orgánica en solución o en suspensión. La eficacia de destrucción de los compuestos orgánicos obtenidos por este método es muy elevada, y puede ser mejorada empleando determinadas sales como catalizadores de la reacción.

La reacción de reducción es un proceso opuesto a la oxidación, en cuanto a que la sustancia reducida cede electrones al compuesto reductor. Su empleo en el tratamiento de residuos industriales, no es tan elevado como el de las reacciones de oxidación.

Las reacciones de precipitación, se utilizan a menudo para retirar elementos disueltos, haciéndolos precipitar en forma sólida de diversas maneras, buscando siempre la reducción de su producto de solubilidad. Una de las formas más comunes para lograr hacer descender el producto de solubilidad, es alcalinizar la solución, elevando el pH a valores entre 9 y 12, dependiendo del elemento que se quiera retirar. La principal aplicación de este método, es la separación de metales que se encuentren en solución en las descargas. La precipitación, también se logra mediante la adición de un ion, con el cual el metal forma un compuesto insoluble, como sucede en la extracción de aluminio en forma de cloruro de aluminio.

Finalmente, las reacciones de neutralización tienen como objetivo, variar el pH de una solución, hasta llegar a valores que sean satisfactorios para cada caso. Cuando se tiene una solución demasiado básica o alcalina, se le añaden sustancias ácidas como el ácido sulfúrico, el nítrico o el clorhídrico, en cantidad suficiente para obtener el pH adecuado. En el caso contrario, en que se tenga una solución ácida en exceso, el tratamiento se debe llevar a cabo con sustancias básicas, tales como el hidróxido sódico o el cálcico.

4.2.2 Tratamientos Físico-Químicos

Son procesos que no alteran químicamente las sustancias, sino que aíslan los productos peligrosos, separándolos del resto de componentes del residuo industrial, para facilitar su posterior tratamiento.

Se indican a continuación los procesos de separación más comúnmente empleados en la industria:

a) Osmosis inversa

Si se pone a cada lado de una membrana semipermeable, dos disolventes con distintas concentraciones, se produce un paso neto de moléculas de disolvente de la solución menos concentrada a la más concentrada, siendo la presión osmótica la fuerza que se ha vencido en el proceso.

Si en un lado de la membrana se tiene una solución concentrada y se aplica sobre ella una presión superior a la presión osmótica correspondiente, el proceso de la ósmosis se invierte, pasando al otro lado de la membrana moléculas de disolvente y quedando el soluto mucho más concentrado que originalmente.

b) Destilación

Es una técnica que permite la separación de sustancias líquidas miscibles entre sí, debido a su diferente volatilidad.

Si se tiene una mezcla de dos sustancias volátiles A y B, de las cuales A es más volátil, la fase de vapor en equilibrio con la mezcla es mucho más rica en la sustancia A que en la B, y si se condensa esa fase de vapor, se obtiene una nueva mezcla mucho más rica en A que la anterior. Sucesivas condensaciones de la fase vapor, permiten llegar a una muestra prácticamente pura en el compuesto A.

La destilación fraccionada, es un tipo de destilación que se lleva a cabo en una columna de fraccionamiento, en la que se producen multitud de equilibrios evaporación-condensación, lo que permite separar mucho más eficazmente los componentes en función de su volatilidad.

Otro tipo de destilación es el stripping o lavado con aire. Esta técnica, consiste en hacer pasar una corriente de aire junto a la mezcla de componentes, a través de una torre, de manera que los componentes volátiles de la mezcla, pasan a la corriente de aire. Esto se utiliza en la eliminación de componentes volátiles contaminantes, que se encuentran en multitud de descargas industriales. Cuando los componentes que se desea retirar tienen una baja volatilidad, en lugar de aire se emplea vapor, pues esto provoca una reducción de la solubilidad y por tanto favorece la separación de dichos componentes.

c) Adsorción por carbón

El carbón es un compuesto muy adsorbente; por ello, se utiliza para retirar sustancias contaminantes presentes en corriente gaseosas. Estas sustancias, quedan fijadas en la superficie del carbón al pasar por él la corriente de gas, saliendo éste último purificado del proceso. La gel de sílice y la alúmina, son igualmente materiales muy adsorbentes.

d) Intercambio iónico

Es una técnica, mediante la cual se pueden recoger iones presentes en descargas residuales. Para ello, se hace pasar la descarga por unas resinas específicas para cada caso, en cuya superficie se produce el intercambio iónico entre iones de la resina e iones de la solución con igual carga. Se emplea esta técnica especialmente para el retiro de iones metálicos en soluciones de chapado.

e) Electrodialisis

Es un proceso de separación de iones en solución por medio de un campo eléctrico. Entre el cátodo y el ánodo, se establecen una serie de membranas permeables selectivas, para cationes y aniones. Cuando se conecta el circuito, cada catión va hacia el cátodo y cada anión hacia el ánodo, retirándose el disolvente libre de iones.

f) Extracción con disolventes

Cuando se quiere retirar un compuesto soluble de una mezcla de compuestos no solubles, lo que se hace es aplicar a todo el conjunto un disolvente, de forma que el compuesto que es soluble en él, puede ser retirado junto con el disolvente.

Para finalizar el proceso, el compuesto debe ser separado del disolvente, por cualquiera de los métodos adecuados en cada caso.

4.2.3 Tratamientos Biológicos

La Naturaleza, cuenta con sus propios sistemas para la biodegradación de materiales de desecho. El problema, aparece cuando el hombre introduce en estos ciclos sustancias artificiales, fabricadas por él a partir de materias primas naturales. En muchas ocasiones, este tipo de sustancias no son tan fácilmente biodegradables, ya que los microorganismos no cuentan con los mecanismos capaces de ello.

Entre todas estas sustancias, constituyen un elevado porcentaje los productos no biodegradables. Sin embargo, si este tipo de sustancias sufre una deshalogenación previa, para lo cual sí existen microorganismos, el problema se reduce considerablemente.

Esta deshalogenación se lleva a cabo, en un proceso de reducción anaerobia. La reducción, como tal, implica una transferencia de electrones. Aparte de tener que diseñar químicamente el proceso de reducción, y como éste cualquier otro tipo de degradación biológica, es preciso tener en cuenta una serie de factores externos, para que las condiciones en que se produzca la reacción, sean las mejores desde los puntos de vista químico y biológico. Estos factores son muy numerosos y sus valores óptimos dependen de cada caso concreto. Los más significativos son la temperatura, el pH, la disponibilidad de una serie de sustancias necesarias para la actividad bacteriana, como el oxígeno libre, o presente en otras moléculas (NO^-3 , SO_2^-4 , etc.), la no existencia de biocidas, el grado de salinidad, la existencia o ausencia de luz solar, etc.

Antes de poder utilizar un proceso biológico a nivel industrial, es necesaria una larga investigación, de forma que se puedan tener bajo control todas las etapas del proceso y se sepa como variar las condiciones externas de manera adecuada, para conseguir en cada momento un rendimiento óptimo.

Los procesos biológicos existentes para el tratamiento de residuos orgánicos, son fundamentalmente los siguientes:

- Fermentación biológica
- Lodos activados
- Tratamientos bacterianos

4.2.4 Incineración

La incineración, es básicamente una oxidación llevada a cabo a muy altas temperaturas, en la cual se emplean como combustibles los residuos industriales. Estos últimos son destruidos en el proceso.

Los productos fundamentales de la combustión, son dióxido de carbono, agua y cenizas. Además de éstos, y dependiendo de la naturaleza específica del combustible, pueden aparecer muchos otros compuestos.

Si el combustible es un compuesto azufrado, en la combustión se producirá dióxido de azufre, problema que se debe controlar por tratarse de un gas contaminante.

De la misma manera, se presentan problemas cuando son usados como combustible productos halogenados, puesto que en su combustión se producirán los ácidos de los halógenos correspondientes, con el peligro que ello puede suponer, si la emisión no es tratada convenientemente. En este caso, adquieren especial importancia los compuestos clorados, pues son muy comunes y en su combustión se desprende ácido clorhídrico.

Otro producto de la combustión presente en las emisiones gaseosas son las partículas en suspensión, cuya presencia debe tenerse en cuenta y deben ser tratadas en caso de peligrosidad.

Finalmente, como fruto de la combustión quedan las cenizas, que contienen además metales que no son volatilizados.

A todos estos productos hay que añadir otros, que pueden aparecer como resultado de una combustión incompleta. Para evitar esto, es conveniente introducir en el incinerador, durante el proceso aire en exceso.

Existen dos tipos básicos de incinerador: el de inyección líquida y el de horno giratorio.

En los incineradores de inyección líquida, la descarga residual líquida es inyectada a gran presión en la cámara de incineración. Al inyectar la descarga, esta es atomizada y se volatiliza, oxidándose. Las temperaturas a las que trabajan estos incineradores, van de 800° a 1000°C.

Los incineradores de horno giratorio pueden consumir residuos sólidos o líquidos. La incineración se lleva a cabo en un horno giratorio refractado, en que los residuos sólidos son depositados y los líquidos inyectados.

A la salida de los hornos debe instalarse un sistema para el control de los gases emitidos. Este sistema puede basarse en lo siguiente: en primer lugar, unos quemadores se encargan de la combustión de productos que no han sido

incinerados; a continuación, unas pantallas de agua retiran del gas emitido posibles partículas en suspensión y un precipitador electrostático, para separar las partículas más pequeñas.

Para poder instalar un incinerador de sustancias peligrosas, es necesario cumplir una serie de requisitos fundamentales:

- En primer lugar, es necesario asegurar una eficaz destrucción de los componentes orgánicos peligrosos que van a ser incinerados, con una eficacia mínima del 99.9%. De esta manera, se asegura que estos compuestos no van a ser emitidos a la atmósfera y puedan poner en riesgo el ambiente.
- En segundo lugar, se debe tener un control estricto de la cantidad de ácidos halogenados, especialmente del ácido clorhídrico, emitidos a la atmósfera.
- Un tercer factor a tener en cuenta, es la emisión de partículas en suspensión a la atmósfera.
- Finalmente, la legislación vigente y el factor social, son condiciones básicas para que sea permitida y aceptada la instalación.

4.2.5 Inertización

La inertización es un conjunto de técnicas, que tienen por objeto anular el poder contaminante de un residuo, mediante su transformación, o mediante su incorporación a un material inactivo.

Las técnicas son muy diversas, y dependen básicamente del producto a tratar.

Por ejemplo, para tratar PCB de aceites usados, se puede hacer reaccionar sodio metal con átomos de cloro del PCB y de otros componentes del aceite, a más de 150°C. Se generan cloruro sódico y polímeros no clorados. Si se efectúa la reacción con exceso de sodio, se genera hidróxido sódico e hidrógeno. El aceite así tratado contendrá concentraciones ínfimas de PCB.

En otros casos, se vitrifica el material de forma que mediante una serie de procesos, el producto problema, tratado previamente, al final es sometido a calor, mezclado con otros compuestos, obteniéndose masas amorfas vitrificadas que pueden ser llevadas a vertederos.

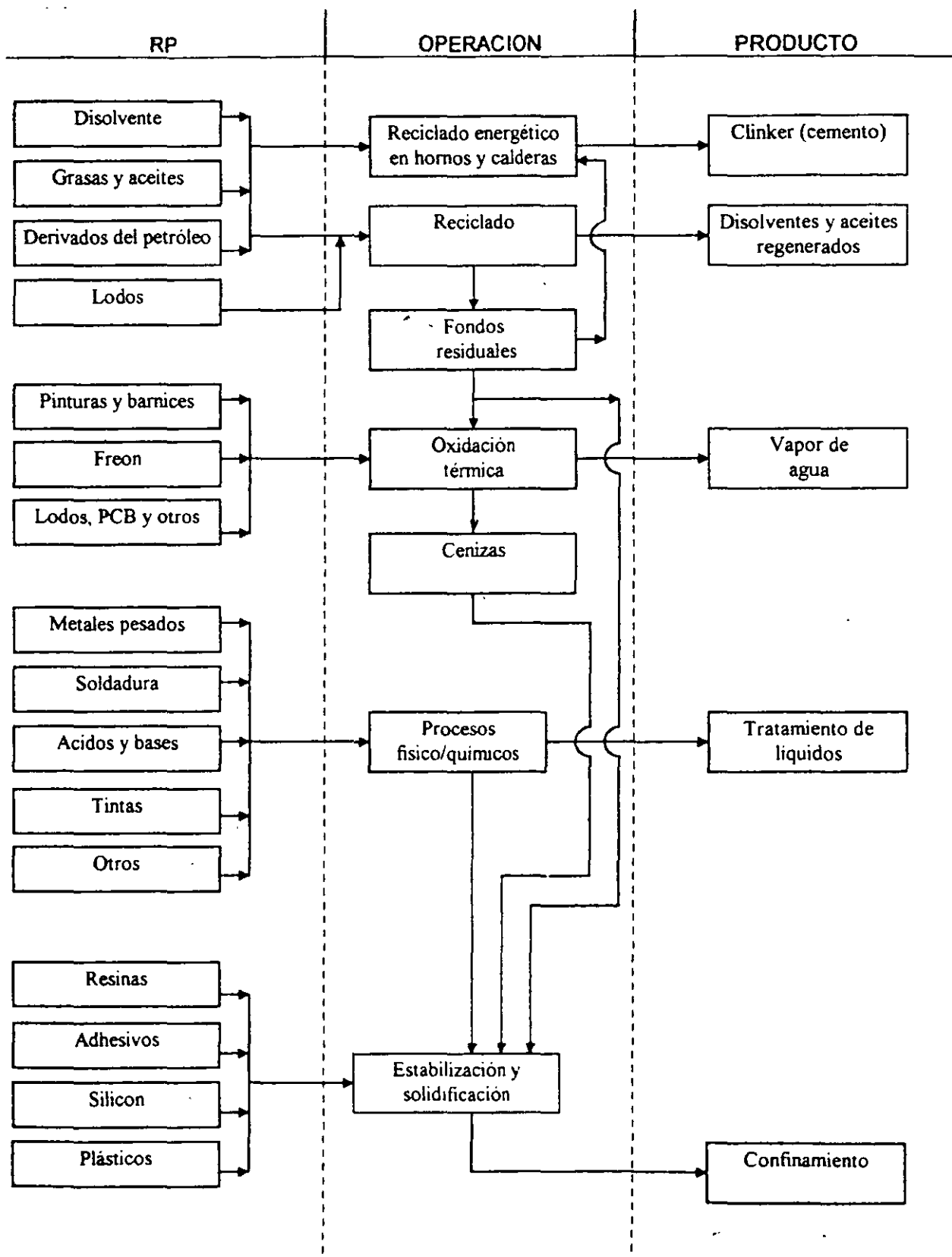
Hay situaciones, en que la inertización es el resultado de una serie de procesos de obtención de productos, que en sus diferentes fases van generando residuos, que al final son reciclados y aprovechados parcialmente, quedando una parte cuya única vía de salida es su inertización, en cuyo caso se procede a instalar sistemas de este tipo.

En la inertización cada día cobran más fuerza los métodos físico-químicos, como la descomposición pirolítica, etc.

Los sistemas físico-químicos (pirólisis en lecho granular, etc.) tienen ventajas, como la de no transformar extremadamente, como ocurre con las combustiones. Además, los sistemas como el de lecho granular tienen grandes superficies de contacto para transmisión del calor, homogenizan el producto final y confieren gran estabilidad en el control del proceso, frente a fallas de suministros de energía, etc.

En la Fig. IV-4, se muestra un flujograma de los procesos de tratamiento de RP.

FIG. IV-4.- FLUJOGRAMA DE PROCESOS DE TRATAMIENTO DE RP



5. CLASIFICACION DE MRP

Caracterización

Para poder manejar con seguridad una substancia hay que conocerla previamente, para saber que tipo de ropa emplear para no afectar la salud de los que van a manipular el material, asimismo a cuanto del compuesto se puede estar expuesto, con que reacciona y bajo que condiciones, es decir, las propiedades fisicoquímicas del mismo.

Esta información, la puede proporcionar el fabricante o proveedor, a través de una hoja de seguridad de materiales, de identificación por número, por un rombo o un rectángulo, con las características de peligrosidad a la salud, inflamabilidad, reactividad, reacción con el agua, corrosivo, o la indumentaria adecuada.

Identificación

Lo que identifica a un material en un contenedor en su etiqueta, puede ser un número en un rombo, un rombo dividido en cuatro rombos de diferentes colores, o solamente un rombo con una imagen y una leyenda. Los etiquetados más comunes son:

- NFPA (National Fire Protection Association = Asociación Nacional de Protección Contra Incendio).
- MISH (Material Identification Safety Hazardous).
- DOT (Department of Transport = Departamento de Transporte).
- CANUTEC de Cánada. (Centro Canadiense de Emergencias en el transporte).
- ONU (Organización de Naciones Unidas).

En general las fuentes de información disponibles son: Guías de respuesta a emergencias (D.O.T, CANUTEC, SETIQ), Hojas de Transporte, Hojas de Seguridad HSM, MSDS, NFPA, Carteles y etiquetas de Identificación (SCT, SS, STPS, SECOFI), Colores de Recipientes.

Sistema de Clasificación ONU

Es un sistema de identificación, que tiene concordancias con el Departamento de Transporte de los E.U. y CANUTEC de Canadá. Estos sistemas, concuerdan con la clasificación, que se hace según el riesgo y son:

- Explosivos
- Gases
- Líquidos Inflamables
- Sólidos Inflamables
- Oxidantes
- Venenosos
- Radiactivos
- Corrosivos
- Otros Peligros no clasificados

El sistema emplea las siguientes tres clasificaciones:

- NU.- Significa Naciones Unidas.
- CAS.- Es otro código de una organización, que tiene registros de muchos productos químicos y que es muy útil en emergencias.
- CAT.- Muy importante para el personal de la planta, porque le señala el número de catálogo donde puede encontrar información de la sustancia.

El sistema de identificación de la O.N.U. concuerda además con los otros sistemas, por la clasificación y por los colores de los rombos dada la clase y difiere de los otros sistemas, por el número visible que lleva en el interior del rombo.

El número, define el compuesto de que se trata y a la vez en las guías de respuesta a emergencias, enuncia los procedimientos operativos ante casos de emergencia.

NFPA 704M. Este sistema de clasificación de materiales, se debe a la agencia nacional de protección contra incendio de los E. U. y los cataloga según el comportamiento.

Dentro de un rombo, dividido a su vez por otros cuatro rombos de colores, se identifica el riesgo representado también por un color en especial.

- Riesgo a la Salud
- Riesgo de Fuego
- Riesgo por Reactividad
- Riesgo Especial: Oxidante, Alcalino, No Usar Agua.

El comportamiento va de 1 al 4, es decir desde normal, estable o sin riesgo hasta peligroso, inestable y fatal.

HMIS. Este tipo de clasificación de materiales al igual que el de NFPA 704M, asigna un número del tipo de riesgo del 1 al 4 y su clasificación es común, en lo que refiere al riesgo a la salud, fuego y reactividad.

Difiere en la última clasificación referida a E.P.P. o Equipo de Protección Personal, como A = Lentes, B = Casco, C = Lentes y Guantes., D = Careta, . . . , etc.

D.O.T. El Departamento de Transporte de los E.U., clasifica a los materiales igual que la O.N.U., sólo que en lugar de un número en el centro del rombo, pone una indicación como oxidante, venenoso, etc.

Equipo para muestreo y caracterización de residuos peligrosos. Cualquier material peligroso o sustancia contenida en centros de trabajo, que no tenga una identificación, constituye en sí un material o residuo, que por su naturaleza desconocida, representa un peligro inmediato a la salud.

A menudo se apilan o se mezclan residuos sin conocer si son o no compatibles, lo que dificulta saber de qué se componen.

Cuando se tiene apilado una cierta cantidad de residuos y se tiene evidencia de que penetró el suelo, o si existió un derrame o si continuamente se almacenan a suelo raso residuos o materiales, se necesita conocer cuanto penetró.

Cuando se necesita saber si un residuo es o no peligroso, o conocer si está o no contaminado un lugar, se necesita tomar muestras y la toma de la misma, varía dependiendo del estado físico del material.

Muestreo de sólidos. Para muestrear en forma puntual un sólido, se debe considerar como y en donde se encuentra, si está a granel, o si es parte de un terreno.

Cuando está a granel, la toma puede ser directa con una pala o palustre; pueden emplearse también los muestreadores de grano, si es parte de un lecho con palas mecánicas o con muestreadores de sedimentos.

Muestreo de líquidos. Para muestrear en forma puntual un líquido, se debe considerar como y en donde se encuentra, si está en recipiente, una pipa, o un tanque.

Se utilizan desde tubos de vidrio, botellas pesadas, tubos telescópicos, etc. dependiendo del lugar donde este situado.

Técnicas de muestreo. Para tomar muestras, que representen la situación real de un lote o un terreno, se debe considerar el criterio del muestreo donde y a que profundidad se toman las muestras.

Si el caso es de un terreno contaminado, se realiza un cuadrículado para determinar en forma sistemática la toma de muestra, o también la toma de muestras a discreción, de acuerdo a la forma de la pluma contaminante; si el caso es de líquidos y semilíquidos en tambores, se pueden utilizar los tubos de vidrio.

Equipo de protección. Las personas dedicadas al muestreo de residuos peligrosos, siempre están expuestas a daños a su salud y por lo mismo se recomienda para todo el personal expuesto, verificar el nivel de protección que le corresponde de acuerdo al riesgo asociado.

Los niveles van desde el overol simple, hasta el equipo encapsulado con respiración autónoma.

Reglamento para el transporte de MRP. El reglamento, establece las directrices para el transporte de materiales y residuos peligrosos, en el se define, clasifica, especifica y sancionan las actividades relacionadas con el transporte seguro de materiales y sustancias y residuos peligrosos, así como la documentación necesaria que deben cubrir los transportistas.

El reglamento se apoya en las normas para especificar concretamente a lo que deben sujetarse los transportistas, como por ejemplo: un transportista debe tener a la mano las hojas de seguridad del material que transporte, además debe tener la debida capacitación y permiso para el transporte de materiales y residuos peligrosos, las hojas de recepción y entrega de materiales, el equipo básico necesario y los procedimientos o guías para enfrentar los casos de emergencia.

El medio de transporte, deberá contar con la debida señalización y sistemas de seguridad, para la carga y descarga del material, deberá estar sujeto a revisiones periódicas del estado físico de la unidad.

Organismos relacionados con el manejo de MRP. Las instituciones relacionadas con el manejo de materiales y residuos peligrosos, son aquellas que ven por la prevención, la disposición, los efectos sobre la salud, el transporte seguro y situaciones de emergencia.

Las instituciones que se abocan a la prevención de accidentes, enfermedades profesionales por exposición a materiales peligrosos dentro de las empresas, son la Secretaria del Trabajo en coordinación con la Secretaria de Salud y el Sistema Nacional de Protección Civil.

Las instituciones abocadas en la prevención y acciones ante emergencias con materiales y residuos peligrosos durante la transportación, son la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, Sistema Nacional de Protección Civil en coordinación con los cuerpos de seguridad y rescate, y dependiendo de la emergencia, en coordinación con la Secretaria de la Defensa Nacional.

Los organismos que regulan el control de RP son la SEMARNAP, a través del Instituto Nacional de Ecología que regula y controla, y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente que vigila y sanciona.

6. BASES PARA CONTROL DE RP

6.1 Principios

Para el control de los RP, se deben tomar en cuenta los principios siguientes:

- Promover la minimización de la cantidad de RP y los riesgos inherentes a su manejo y disposición final, básicamente incentivando cambios hacia procesos y tecnologías más limpios.
- Fomentar la recuperación de material secundario, principalmente para su reciclaje o su disposición final controlada, cuando tal reciclaje no sea posible o económicamente viable.
- Asegurar una adecuada internalización de los costos ambientales, en la generación y manejo de residuos.
- Favorecer la participación y coordinación estrecha, entre la autoridad regulatoria y las empresas involucradas en el manejo y disposición de RP, y en general la participación de la sociedad, dentro de modalidades flexibles y creativas, que aseguren la corresponsabilidad necesaria.

En la Fig. IV-5, se muestran los costos de control de RP; las prioridades de las soluciones deben ser las que tengan el menor costo social.

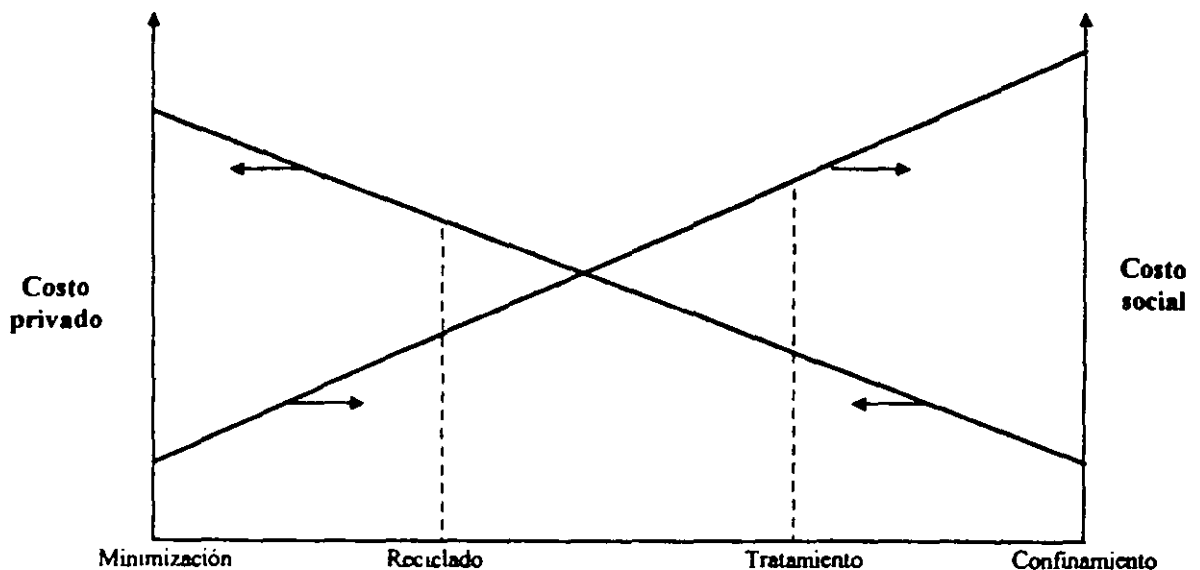


FIG. IV-5.- COSTOS E IMPORTANCIA DE SOLUCIONES A CONTROL DE RP

6.2 Convenios internacionales

También se deben considerar, para el control de los RP los convenios internacionales de México, que están sustentados en principios e intereses nacionales y vinculados a compromisos con:

- El estado de derecho
- La democracia
- El desarrollo social
- El crecimiento económico
- La cultura

En lo relativo al manejo y disposición de los residuos peligrosos, los compromisos internacionales del país son los siguientes:

- El convenio de Basilea sobre Movimiento Transfronterizo de Residuos Peligrosos.
- La normatividad ambiental y la autorregulación, según las normas ISO-9000 e ISO-14000.
- La Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, y en especial los Contenidos en la Agenda 21.
- Lineamientos derivados del Tratado de Libre Comercio con Estados Unidos y Canadá (TLC), a través de la Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte (CCAAN).
- Comisiones de Comercio, Medio Ambiente y de Políticas Económicas de la OCDE, con relación a:
 - Prevención y control de la contaminación ambiental en la frontera norte, mediante la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF) y el Programa Ambiental Frontera XXI.
 - Seguimiento y control del movimiento transfronterizo de residuos peligrosos, conforme a lo establecido en el Convenio de la Paz, firmado con los Estados Unidos.
 - El programa de Cooperación Ambiental México-Canadá.
- Comisiones de desarrollo sustentable y de biodiversidad de las Naciones Unidas.
- Programas del PNUMA y de HABITAT de la ONU.
- El Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD.
- La Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial ONUDI.
- Convenio de la Paz y Programa Frontera XXI.

V. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE RIESGOS

Las definiciones de análisis establecidas en los diccionarios, esencialmente se refieren al examen de un complejo, sus elementos y sus relaciones, así como conocer los principios o elementos de que está formado un todo.

También se estableció anteriormente, que el propósito del Análisis de Riesgos es la identificación de los posibles resultados de decisiones.

Tanto en las definiciones de diccionarios, como en el propósito del análisis de Riesgos, no se consideran los cálculos de cuantificación, porque éstos cálculos se establecen en los estudios de evaluación de Riesgos.

De conformidad con lo anterior, en éste Capítulo se consideran los métodos de análisis siguientes:

1. Análisis Preliminar de Riesgos (APR)
2. Listas de Verificación (Check-List)
3. Que pasa si....?(What if....)
4. Hazop
5. Análisis de modos de falla y efectos (AMFE)

1. ANÁLISIS PRELIMINAR DE RIESGO (APR)

El análisis preliminar de riesgo (o peligro), se originó en EUA a principios de los 1960's, en el marco de los análisis de seguridad de misiles a propulsión con combustible líquido, posteriormente, fue formalizado por la industria aeronáutica, especialmente por la Boeing Co. En la actualidad, se ha extendido a muchos otros campos como las industrias nuclear, aeronáutica, química, etc. Los propósitos del método APR son los siguientes:

- identificar los riesgos de una instalación industrial, así como también sus causas, por ejemplo, entidades riesgosas, situaciones peligrosas, accidentes potenciales;
- evaluar la severidad de las consecuencias de situaciones peligrosas y potencial de accidentes.

Posteriormente, es necesario determinar todos los medios y vías posibles de corregir, controlar o eliminar las situaciones peligrosas y accidentes potenciales, que fueron identificados previamente.

El método de APR puede ser dirigido hacia los aspectos de seguridad de una planta, y se recomienda iniciarlo en la etapa temprana de diseño, explotando todos los datos disponibles. Este análisis, debe ser checado y actualizado periódicamente durante la vida de la planta.

Se debe hacer uso de la experiencia y juicios, para identificar riesgos y referirse a listas guías obtenidas de cada campo preciso, que regularmente aumentan cada día.

El método APR, debe considerarse preliminar de otros estudios complementarios de confiabilidad; por lo general, cuando se detecta un peligro mayor o cuando se necesita ahondar más profundo en este problema, se recurre a otros métodos de análisis predictivo de confiabilidad.

El análisis preliminar, puede también ser usado para definir entidades que tienen que ser analizadas en detalle o eventos indeseables, cuyas causas tienen que ser detectadas a través de un análisis de árbol de fallas.

El "análisis preliminar de riesgo", incluye una estimación precisa o gruesa de la probable ocurrencia de situaciones peligrosas y accidentes potenciales; este tipo de análisis, se vuelve indispensable si se desean adoptar medidas preventivas contra los accidentes potenciales más probables.

En la industria aeronáutica, los riesgos y sus causas están caracterizados por los siguientes conceptos:

- entidades peligrosas;
- situaciones peligrosas;
- accidentes potenciales.

Una entidad peligrosa (combustible), debe reunirse o juntarse con ciertos eventos o condiciones (electricidad estática), para llevar a una situación peligrosa; esta situación, también necesita estar asociada con otro evento o condición, para volverse un accidente potencial.

Los resultados del APR se presentan en la forma de una tabla con columnas, según Tabla V-1, la cual no es diferente al análisis de modos de falla y efectos, AMFE. Para el APR, se usa una lista-guía de entidades y situaciones peligrosas, como se muestra en la Tabla V-2.

TABLA V-1.- ANÁLISIS PRELIMINAR DE RIESGO

| 1 Sistema o Función | 2 Fase | 3 Entidades Peligrosas | 4 Eventos causando una situación peligrosa | 5 Situación Peligrosa | 6 Eventos que llevan a accidente potencial | 7 Accidente Potencial | 8 Efectos o consecuencias | 9 Clasificación en orden de severidad | 10 Medidas Preventivas | 11 Implantación de medidas Preventivas |
|---------------------------|-----------|------------------------------|--|-----------------------------|--|-----------------------------|------------------------------------|--|------------------------------|---|
| | | | | | | | | | | |

TABLA V-2.- LISTA DE CHEQUEO (CHECKLIST) DE ENTIDADES Y SITUACIONES PELIGROSAS

| ENTIDADES PELIGROSAS | SITUACIONES PELIGROSAS |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Combustibles • Propulsores • Iniciadores • Cargas explosivas • Capacitores eléctricos cargados • Baterías • Recipientes a presión • Dispositivos de resorte cargado • Sistemas de suspensión • Generadores eléctricos y de gas • Objetos que caen • Objetos catapulteados • Dispositivos de calentamiento • Bombas • Ventiladores, sopladores • Maquinaria rotatoria • Dispositivos de actuación • Dispositivos nucleares • Reactores • Fuentes de energía | <ul style="list-style-type: none"> • Aceleración • Contaminación • Corrosión • Disociación química • Electricidad (choque, activación inadvertida, falla de la fuente de potencia, etc.) • Explosión • Fuego • Calor y temperatura (alta temperatura, baja temperatura, variaciones de temperatura) • Fugas • Humedad (alta humedad, baja humedad) • Oxidación • Presión (alta presión, baja presión, cambios rápidos de presión) • Radiación (térmica, electromagnética, etc.) • Shock mecánico • Vibración, ruido. |

Con relación a la Tabla V-1, las columnas corresponden a las siguientes nociones:

- **Función o sistema.**- Es la identificación del objeto estudiado.
- **Fase.**- Identificación de las fases o los modos de utilización del sistema, o de las funciones durante las cuales ciertas entidades ,pueden ser una fuente de riesgo. (arranque, funcionamiento, paro, etc.).
- **Entidades peligrosas.**- Identificación de las entidades del sistema o de la cual, un peligro intrínseco puede ser asociado.
- **Eventos causantes de una situación peligrosa.**- Identificación de condiciones, eventos indeseables, fallas o errores, que pueden transformar una entidad peligrosa en una situación peligrosa.
- **Situación peligrosa.**- Identificación de situaciones peligrosas, resultantes de la interacción de una entidad peligrosa y el sistema como un todo, después de la ocurrencia de un evento descrito previamente.
- **Eventos que llevan a un accidente potencial.**- Identificación de las condiciones de eventos indeseables, fallas o errores, que pueden transformar una situación peligrosa en un accidente.
- **Accidente potencial.**- Identificación de accidentes potenciales, que pueden resultar de situaciones peligrosas, después de la ocurrencia de un evento previamente descrito.
- **Efectos o consecuencias.**- Identificación de los efectos o consecuencias de accidentes potenciales cuando ocurren.
- **Clasificación en orden de severidad.**- Evaluación de la severidad de los efectos o consecuencias, de acuerdo a la siguiente clasificación:
 - i. Menor
 - ii. Significativo
 - iii. Crítico
 - iv. Catastrófico
- **Implantación de medidas preventivas.**- Recolección de información relacionada con las medidas preventivas propuestas, verificando que sean eficientes y se incorporen al sistema.

En la industria química, el APR normalmente toma en cuenta los riesgos inherentes en:

- Los diferentes productos usados (materia prima, bienes acabados y semiacabados, desechos) y sus propiedades intrínsecas (corrosión, combustión, toxicidad, etc.).
- Procesos usados (reacciones químicas y diversas operaciones) o aún en el equipo (recipientes a presión, reactores químicos).

2. LISTAS DE VERIFICACIÓN (CHECK LIST)

Es un método de análisis de Riesgos de comparación de materiales y equipos, con datos y códigos establecidos por la experiencia.- Las características principales de éste método son las siguientes:

- Compara contra la experiencia.
- Identifica Riesgos obvios en grandes áreas en el menor tiempo posible.
- Alcance limitado.

En el flujograma de la Fig. V-1, se muestran las actividades del método de listas de verificación (check list); estas listas, son específicas para cada tipo de proceso o instalación, aunque pueden utilizarse las mismas listas en instalaciones similares con procesos similares. Existen listas para las siguientes áreas de ingeniería.

- Diseño
- Construcción
- Operación, producción
- Mantenimiento
- Seguridad
- Transporte
- Etc.

Para la elaboración y definición de las listas de verificación, deben considerarse las características de lo siguiente:

- Tipo de proceso
- Materiales a manejar
- Tipo de operación (manual, automática)
- Arreglos de la planta
- Sitio o ubicación
- Sistemas de protección
- Etc.

Aún cuando puede elaborarse una lista de verificación general para toda la planta, esto no se recomienda por lo compleja de su estructura y aplicación, recomendándose hacerlas por campo de aplicación (auditorías, riesgos, diseño, operación, puesta en servicio, etc.)

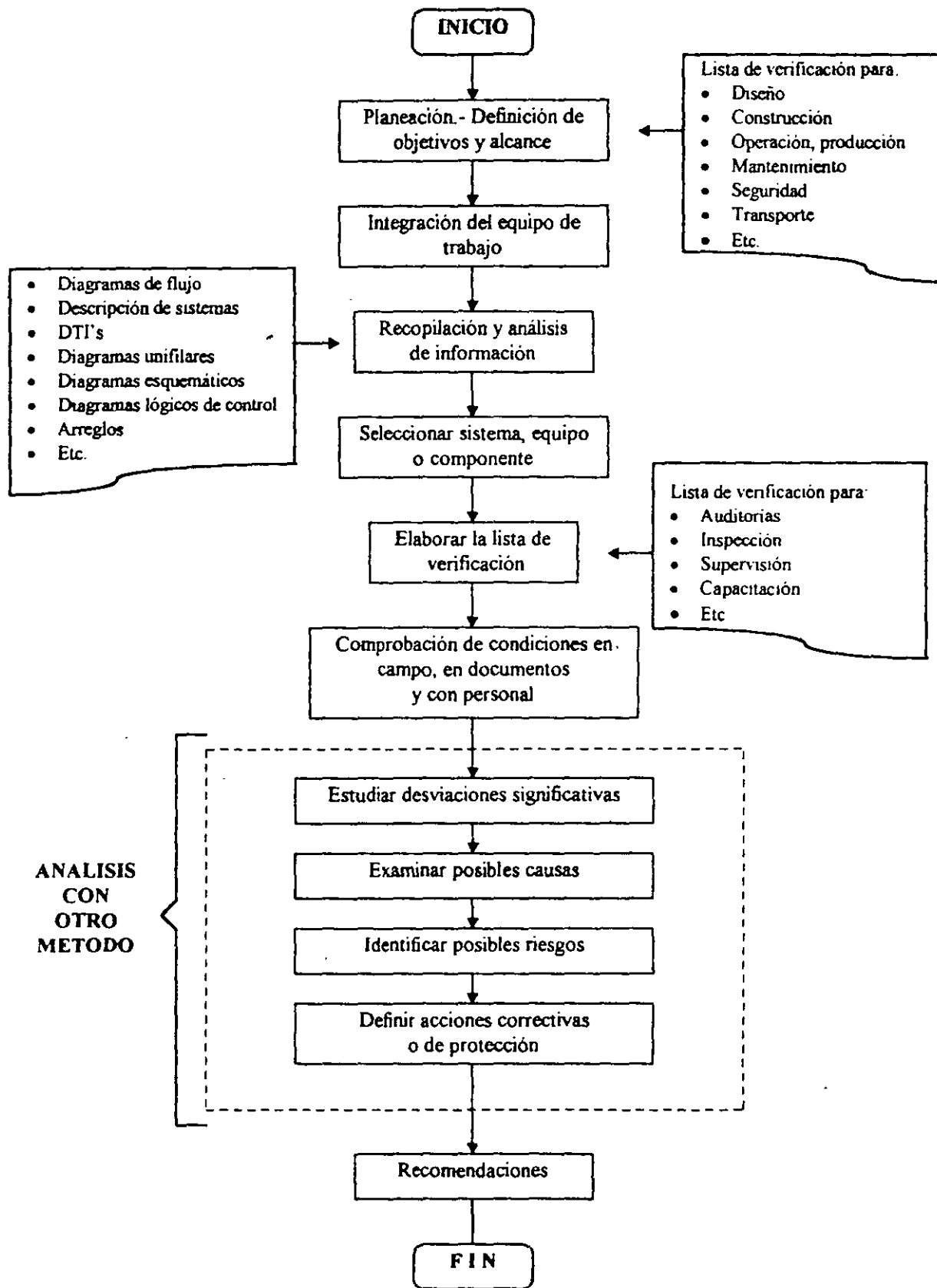


FIG. V-1.- FLUJOGRAMA DEL METODO "LISTA DE VERIFICACION (CHECK LIST)"

El empleo de éste método para el análisis de Riesgos, puede dar mejores resultados cuando se emplea como apoyo a lo siguiente:

- Auditorías a proyectos. El momento adecuado para su aplicación, es cuando el diseño se ha concluido y antes de que sea revisado a través de la metodología HAZOP, ya sea la Ingeniería Básica o de Detalle, con el fin de verificar que los conceptos importantes han sido contemplados. Es factible su aplicación en la revisión previa al arranque, aunque probablemente existan condiciones difíciles de modificar, por el grado de avance de la construcción.
- Auditorías a plantas en operación. Antes de aplicar cualquier método de identificación de riesgos, es muy recomendable realizar una inspección de las instalaciones, aplicando listas de verificación para verificar desviaciones contra los estándares de diseño, construcción y operación, a fin de eliminarlas, como parte de la premisa de cumplir con bases previamente aceptadas.

En ambos casos, la aplicación de las listas debe ser realizada por un grupo multidisciplinario, a fin de enriquecer con conocimientos y experiencia los resultados.

Secuencia de aplicación de las listas de verificación.

La ejecución del análisis de riesgos mediante listas de verificación, consta de las siguientes etapas:

- A. Definición de objetivos y alcance.
- B. Selección del grupo de trabajo.
- C. Preparación previa del análisis.
- D. Ejecución del análisis.
- E. Registro de resultados.

A. Definición de objetivos y alcance.

Debido a que se puede contar con una gran cantidad de listas de verificación, es importante definir el objetivo y alcance de lo que se va a realizar, para así evitar pérdida de tiempo, confusión de lo que se revisa, emisión de recomendaciones de equipos o procesos de otras áreas.

Es recomendable que el alcance y objetivos se orienten a cubrir una sola lista de verificación, por ejemplo: almacenamiento, sistema contra incendios, etc.

B. Selección del grupo de trabajo.

Aún cuando la aplicación de las listas de verificación puede ser realizada por las disciplinas en forma individual, lo cual es recomendable, en ciertas etapas los diversos resultados serán mas significativos cuando se aplican por un grupo multidisciplinario, ya que podrán ser conjuntados los diferentes puntos de vista, lo que permitirá identificar la mayor parte de los riesgos.

El grupo puede estar integrado por:

- Ingeniería.
- Seguridad.
- Procesos.
- Mantenimiento.
- Producción.

C. Preparación previa del análisis.

El responsable de la coordinación del análisis, juega un papel muy importante en la facilitación del trabajo y es el encargado de conjuntar los elementos de apoyo que se requieran para ello. Sus actividades son:

- Tener claramente definidos los objetivos y alcance del trabajo.
- Preparar las listas de verificación a utilizar y contar con un ejemplar de ellas para cada uno de los miembros del equipo.
- Contar con el plano de distribución de la planta, con las áreas especificadas a revisar.
- Información relativa a los procesos, instalaciones, equipos y operaciones de la planta o unidad a revisar (Diagramas de flujo, DTI's, Descripción del proceso, Procedimientos de operación y seguridad, Planos de clasificación eléctrica, etc.).
- Planeación de las secciones de trabajo, contemplando: lugar, fecha y hora, así como quienes participaran en el análisis.
- Recopilación de recomendaciones y resultados del análisis, así como seguimiento para su cumplimiento.

D. Ejecución del análisis.

El procedimiento general para su aplicación es:

- a) Selección del área de la planta a revisar.
- b) Selección de una lista de verificación.
- c) Revisar el análisis (en campo y en escritorio).

- d) Revisar el resultado.
- e) Registrar las desviaciones.
- f) Repetir b - e para todas las listas de verificación.
- g) Repetir de a - f para todos los equipos e instalaciones del área.
- h) Resumir todas las desviaciones identificadas.

E. Registro de resultados.

En los puntos e y h del procedimiento, se analiza el riesgo de todas las desviaciones identificadas, con las cuales se genera un plan de acción para su cumplimiento.

En la Tabla V-3, se muestra un ejemplo de lista de verificación para checar la seguridad de un proceso.

TABLA V-3.- LISTA DE VERIFICACION (CHECK LIST)

PLANTA O INSTALACION _____ SISTEMA _____ EQUIPO _____
 COMPONENTE _____ VERIFICACION DE (Seguridad, etc.) FECHA _____

Hoja 1 de 7

| AREA O PARTE | NUM | PARTE, ACTIVIDAD | CUMPLE O SE TIENE? | | | OBSERVACIONES |
|--|-----|---|--------------------|----|----|---------------|
| | | | SI | NO | NA | |
| M A T E R I A L E S | 1. | Hay materiales de proceso que son inestables y espontáneamente inflamables? a) Se hicieron evaluaciones sobre la sensibilidad a los impactos? b) Se han hecho evaluaciones sobre la posibilidad de reacciones y descomposiciones incontrolables? c) Se manejan materiales pirofóricos? | | | | |
| | 2. | Hay datos disponibles sobre la cantidad y el índice de generación de calor, durante la descomposición de cualquier material que está en proceso? | | | | |
| | 3. | Hay las precauciones necesarias para los materiales inflamables, incluye almacenamiento y los sistemas de tubería? | | | | |
| | 4. | Hay peligros de polvos inflamables? | | | | |
| | 5. | Hay materiales altamente tóxicos? | | | | |
| | 6. | Se aseguró que los materiales de construcción (fabricación) son compatibles con los materiales de los procesos químicos con que están relacionados? | | | | |
| | 7. | El control de mantenimiento es el necesario, para asegurarse que los reemplazos de materiales no producirán corrosión excesiva, ni compuestos peligrosos con los reactivos? | | | | |
| | 8. | Se han producido cambios en la composición de las materias primas y ha producido cambios esto sobre el proceso? | | | | |
| | 9. | Se asegura un control eficiente sobre la identificación y la calidad de la materia prima? | | | | |
| | 10. | Pueden surgir riesgos por la falta de suministro de una materia prima o de más de una? | | | | |
| | 11. | Hay seguridad de que pueda lograrse un suministro adecuado de materia prima? | | | | |
| | 12. | Pueden presentarse riesgos por la falta de gas para la purga, el mantenimiento o para inertizar? Es seguro el suministro de gas? | | | | |
| | 13. | Hay las precauciones necesarias para lograr la estabilidad de todos los materiales que están almacenados? | | | | |
| | 14. | Hay agentes extintores compatibles con los materiales de proceso? | | | | |
| | 15. | a) Se cuenta con un suministro confiable de gas inerte para purgar, inhibir o desactivar?(Referencia NFPA No. 69) b) Qué medidas existen para rectificar el barrido mediante la purga en paro y arranque? | | | | |

| AREA O PARTE | NUM | PARTE, ACTIVIDAD | CUMPLE O SE TIENE? | | | OBSERVACIONES |
|--|---|--|-----------------------|----|----|---------------|
| | | | SI | NO | NA | |
| R E A C C I O N E S | 1. | a) Se definen las reacciones potencialmente peligrosas? | | | | |
| | | b) Se aíslan? | | | | |
| | | c) Son prevenidas? | | | | |
| | 2. | a) Las variables del proceso se podrían aproximar, o se aproximan a las condiciones límites para crear un peligro? | | | | |
| | | b) Se proporcionan las medidas de seguridad para controlar tales variables? | | | | |
| | 3. | Hay reacciones indeseables y peligrosas, que pueden producirse debido a un flujo o a una condición de proceso anormal o a una contaminación? | | | | |
| | 4. | Hay mezclas combustibles que pueden producirse dentro de los equipos? | | | | |
| | 5. | Se toman precauciones para los procesos que se realizan dentro o cerca de los límites de inflamabilidad? | | | | |
| | 6. | a) Hay márgenes de seguridad en el proceso de todos los productos reactivos intermedios? | | | | |
| | | b) Se podrían producir consecuencias por la pérdida de ingredientes o una proporción incorrecta de reactivos? | | | | |
| | 7. | Hay datos sobre la velocidad de la reacción disponibles, ante posibles reacciones normales o anormales? | | | | |
| | 8. | Se conoce la cantidad de calor que debe eliminarse de las posibles reacciones exotérmicas normales o anormales? | | | | |
| | 9. | Se sabe acerca de la química de los procesos, incluyendo las reacciones deseables e indeseables?(Ver NFPA No 491 M, Manual de las Reacciones Químicas peligrosas") | | | | |
| | 10. | Hay materias extrañas que pueden contaminar el proceso y crear peligros? | | | | |
| | 11. | Se han tomado medidas de seguridad para la eliminación rápida de reactivos si esto fuese necesario debido a una emergencia de la planta? | | | | |
| | 12. | Se han tomado precauciones para controlar una reacción en cadena (o fuera de cauce), que se avecina o para detener una que ya haya empezado? | | | | |
| | 13. | Qué reacción peligrosa puede presentarse como resultado de la falla mecánica de un equipo (bomba, agitador, etc)? | | | | |
| 14. | Hay condiciones peligrosas del proceso que pueden resultar de la obstrucción gradual o repentina de un equipo, incluyendo líneas? | | | | | |
| 15. | Existen medidas para la remoción o prevención de obstrucciones? | | | | | |
| 16. | Hay materias primas o materiales del proceso que pueden ser afectados debido a condiciones extremas del tiempo? | | | | | |
| 17. | Se han hecho cambios en el proceso desde que se hizo la última revisión de seguridad? | | | | | |

| AREA O PARTE | NUM | PARTE, ACTIVIDAD | CUMPLE O SE TIENE? | | | OBSERVACIONES |
|---|-----|---|-----------------------|----|----|---------------|
| | | | SI | NO | NA | |
| E Q U I P O S | 1. | Fueron adecuadas las medidas del equipo asegurado en vista de los cambios en el proceso realizados desde la última revisión de seguridad? | | | | |
| | 2. | Hay procedimientos para asegurar un nivel adecuado de líquido en los obturadores de los líquidos? | | | | |
| | 3. | Hay riesgos potenciales de incendios externos que podrían crear condiciones peligrosas en el proceso interno? | | | | |
| | 4. | Se tiene un mecanismo supresor de explosiones para detener una explosión después de que se ha iniciado? | | | | |
| | 5. | Se necesitan arreflamas y dispositivos para contener detonaciones? | | | | |
| | 6. | Se protegen contra los derrames los equipos que trabajan con fuegos abiertos en sectores restringidos? | | | | |
| | 7. | Se mantiene el control de seguridad en las zonas de almacenamiento? | | | | |
| | 8. | Puede usarse un material más durable en caso de que haya equipos de vidrios o de otro material frágil? Si no es así, Está adecuadamente protegido el material frágil para reducir peligros de ruptura? Qué peligro podría producir una ruptura? Hay medidas para manejar esta situación? | | | | |
| | 9. | Se usan visores o mirillas de vidrio en los reactores sólo en caso de que sean absolutamente necesarios? | | | | |
| | 10. | Hay válvulas e interruptores de emergencia que no pueden alcanzarse con facilidad? | | | | |
| | 11. | Se verificó el régimen de presión especialmente de los equipos que trabajan bajo presión? | | | | |
| | 12. | Hay peligros que puedan producir las fallas de los agitadores? | | | | |
| | 13. | Puede ocurrir taponamiento en las tuberías y cuáles serían los peligros? | | | | |
| | 14. | Se toman precauciones para drenar totalmente los equipos a fin de que los trabajos de mantenimiento puedan efectuarse con seguridad? | | | | |
| | 15. | Están diversificados los sistemas de ventilación y de ser así puede esto crear algún peligro? | | | | |
| | 16. | Se estableció que la ventilación es adecuada? | | | | |
| | 17. | Se tomaron medidas para disipar la electricidad estática a fin de evitar chispas? | | | | |
| | 18. | Hay necesidad de instalar resguardos o barreras de concreto, para aislar a los equipos altamente susceptibles y proteger las instalaciones adyacentes contra la desorganización de las operaciones? | | | | |
| | 19. | Se han tomado medidas para aliviar las fuerzas explosivas dentro de los edificios, equipos o en zonas operativas? | | | | |
| | 20. | Cumplen los equipos de presión con los requerimientos locales y nacionales? | | | | |

| AREA O PARTE | NUM | PARTE, ACTIVIDAD | CUMPLE O SE TIENE? | | | OBSERVACIONES |
|---|-----|---|-----------------------|----|----|---------------|
| | | | SI | NO | NA | |
| | 21. | Están registrados todos los equipos de acuerdo a los requerimientos locales y nacionales? | | | | |
| | 22 | Fueron inspeccionados visualmente, calibrados, radiografiados, probados de una manera hidrostática, etc , los equipos? | | | | |
| | 23. | Se ha revisado completamente el historial de todos los equipos? | | | | |
| I N S T R U M E N T A C I O N | 1. | Se presentarían peligros si todas las fuentes de fuerza motriz que hacen funcionar los instrumentos fallaran casi simultáneamente? | | | | |
| | 2. | Hay margen de seguridad suficiente para toda la operación; si todos los instrumentos fallasen simultáneamente? | | | | |
| | 3. | Se han tomado medidas para la seguridad del proceso, cuando un instrumento que funciona tanto en la seguridad como en el control del proceso, es retirado de servicio a fin de efectuarle tareas de mantenimiento? Se toman medidas cuando tal instrumento pase por un periodo de inactividad por calibración o cuando, por otra razón, la lectura del instrumento no está disponible? Se hacen previsiones para mantener la seguridad operacional? | | | | |
| | 4. | Se minimizó el tiempo que tardan en reaccionar los instrumentos que son directa o indirectamente significativos para la seguridad del proceso? Se encuentran todos los instrumentos que son directa o indirectamente significativos o mecanismos de control apoyados por un instrumento independiente o por un método de control que funciona de una manera totalmente distinta? Están estos dos métodos de control de un proceso crítico apoyados por un tercer dispositivo final de paro? | | | | |
| | 5. | Se han considerado integralmente la función de seguridad de los instrumentos, con la función de los mecanismos de control del proceso en el diseño de la planta? | | | | |
| | 6. | Hay efectos adversos para condiciones extremas de humedad y temperatura atmosférica sobre los instrumentos? | | | | |
| | 7 | a) Hay manómetros, medidores y registradores que no pueden leerse fácilmente? b) Se están efectuando modificaciones para solucionar este problema? | | | | |
| | 8. | Está el sistema totalmente exento de visores de vidrio, de niveles de vidrio lectura directa o de otros dispositivos que al romperse puedan permitir el escape de los materiales del sistema? | | | | |
| | 9 | a) Se está haciendo algo efectivo para verificar que los sellos de los instrumentos están correctamente instalados? b) Están los instrumentos conectados a tierra? c) Están debidamente diseñados para el ambiente? | | | | |

| AREA O PARTE | NUM | PARTE, ACTIVIDAD | CUMPLE O SE TIENE? | | | OBSERVACIONES |
|---|-----|--|--------------------|----|----|---------------|
| | | | SI | NO | NA | |
| | 10. | a) Se han establecido procedimientos para probar el funcionamiento de los instrumentos? b) Tienen una frecuencia establecida? | | | | |
| | 11. | Se programan pruebas periódicas para controlar el buen funcionamiento de los instrumentos? | | | | |
| | 12. | Están protegidas las reacciones altamente exotérmicas por un sistema de instrumentos dobles e independientes, que incluye alarmas y dispositivos de paro? | | | | |
| O P E R A C I O N E S | 1. | Se revisan y actualizan los procedimientos escritos de operación? | | | | |
| | 2. | Se entrena el personal nuevo y se mantiene actualizado al personal experimentado sobre los procedimientos operativos, especialmente para las puestas en marcha y paros de plantas, así como para casos de imprevistos y emergencias? | | | | |
| | 3. | Se efectuaron modificaciones en la planta desde la última revisión de seguridad del proceso? | | | | |
| | 4. | Existen necesidades especiales de limpieza antes de la puesta en marcha y cómo se les controla? | | | | |
| | 5. | Hay válvulas e interruptores de emergencia que no pueden alcanzarse fácilmente? Existen medidas para solucionar estas situaciones? | | | | |
| | 6. | Se necesitan medidas de seguridad para cargar líquidos en los tanques o para descargarlos de ellos? Se han tomado las medidas necesarias para evitar la generación de electricidad estática? | | | | |
| | 7. | Introducen peligros en el proceso los procedimientos rutinarios de mantenimiento? Se revisan los procedimientos para eliminar estos peligros? | | | | |
| | 8. | Se ha efectuado evaluación sobre los peligros de los materiales que van a las alcantarillas o drenajes, durante las operaciones normales y anormales? | | | | |
| | 9. | Son confiables los suministros de gas inerte y con cuánta facilidad estos pueden interrumpirse hacia las unidades individuales? | | | | |
| | 10. | Se han reducido márgenes de seguridad debido a revisiones del diseño o la construcción en un esfuerzo por eliminar "cuellos de botella" en las operaciones, reducir costos, aumentar la capacidad o mejorar la calidad? | | | | |
| | 11. | Contiene medidas el manual de operaciones para las puestas en marcha, paros, imprevistos y emergencias? | | | | |
| | 12. | La evaluación económica ha influenciado en la elección entre un proceso discontinuo y uno continuo? | | | | |

| AREA O PARTE | NUM | PARTE, ACTIVIDAD | CUMPLE O SE TIENE? | | | OBSERVACIONES |
|--|---|---|-----------------------|----|----|---------------|
| | | | SI | NO | NA | |
| MAL FUN- CIONA- MIENTO | 1. | Podría crear riesgos la pérdida de una alimentación y la pérdida simultánea de dos o varias alimentaciones? | | | | |
| | 2. | Podría causar riesgos la pérdida de un servicio auxiliar (agua, vapor, aire, gas inerte) y la pérdida simultánea de dos o más de estos servicios? | | | | |
| | 3. | Sería el incidente probable más grave, por ejemplo, la peor combinación imaginable de trastornos razonables que podrían ocurrir? | | | | |
| | 4. | Hay riesgos de derrames y qué peligros pueden derivarse de ellos? | | | | |
| DISPO- SITI- VOS PARA ALIVIO DE PRESIO- NES | 1. | Existen arrestallamas en la descarga de las válvulas de alivio o de los discos de ruptura de recipientes presurizados? Normalmente NO deben ser instalados en la descarga de estos dispositivos. | | | | |
| | 2. | a) Existen medidas para retirar, inspeccionar y reemplazar las válvulas de seguridad y los discos de ruptura? | | | | |
| | | b) Existe un procedimiento programado? | | | | |
| | 3. | a) Hay necesidad de instalar mecanismos de alivio para emergencias como son: líneas de venteo o respiraderos, válvulas de seguridad, discos de ruptura y sellos de líquidos? | | | | |
| | | b) Sobre qué base se establecen las medidas? | | | | |
| | 4. | Se establecen las medidas con respecto a la capacidad y al diseño del tanque donde se usan los discos de ruptura para evitar daños por explosiones? | | | | |
| | 5. | Se está haciendo algo efectivo para asegurarse de que la medida es adecuada, con respecto a la dinámica del alivio donde los discos de ruptura tienen líneas de entrega hacia el disco y desde este? Qué se hace para evitar "latigazos" en el extremo de la línea? | | | | |
| | 6. | Están las descargas de los venteos, válvulas de seguridad, discos de ruptura y chimeneas ubicadas de forma tal que no constituyen un peligro para los equipos y el personal? | | | | |
| | 7. | El equipo u operación a presión está propensa a desarrollar presiones internas por imprevistos del proceso y no está protegido por un dispositivo de alivio y cuál es el motivo? | | | | |
| 8. | Están las tuberías de descarga y las válvulas de seguridad apoyadas independientemente? Las tuberías deben ser lo más cortas posibles y tener el menor cambio posible de dirección, soportadas adecuadamente para prevenir el doblamiento y los latigazos en los destogues de alivio. | | | | | |
| 9. | Se han instalado conexiones de drenaje para la tubería de descarga de las válvulas de seguridad donde podría acumularse condensado? | | | | | |

| AREA O PARTE | NUM | PARTE, ACTIVIDAD | CUMPLE O SE TIENE? | | | OBSERVACIONES |
|--|-----|--|-----------------------|----|----|---------------|
| | | | SI | NO | NA | |
| | 10. | Se han instalado válvulas de seguridad en la descarga de las bombas de desplazamiento positivo; entre los compresores de desplazamiento positivo y las válvulas de bloqueo; entre las bridas de escape de las turbinas de contra-presión y las válvulas de bloqueo, y en cualquier equipo en donde el líquido pueda estar detenido o estancado y calentado posteriormente? | | | | |
| | 11 | Donde los discos de ruptura están en serie con las válvulas de seguridad. Para evitar la corrosión de la válvula o fugas de materiales tóxicos deberá instalarse discos de ruptura después del recipiente y el monitor de la sección de la tubería que está entre el disco y la válvula de seguridad; además deberá existir un manómetro y una línea de purga. Hay algún disco de ruptura instalado en la descarga de la válvula de seguridad? | | | | |
| UBICA- CIÓN Y DISTRI- BUCION GENE- RAI | 1. | Están los equipos adecuadamente espaciados y ubicados de manera tal que permitan un mantenimiento anticipado durante las operaciones sin peligro para el proceso? | | | | |
| | 2. | Podría haber daños para la comunidad en caso que ocurra un derrame imprevisible? | | | | |
| | 3 | Hay riesgos para las zonas vecinas debido a los materiales que se derraman en las alcantarillas y drenajes? | | | | |
| | 4 | Existen riegos públicos por la generación de nieblas, humos y ruidos? Y Cómo han sido controlados y reducidos? | | | | |
| MIRILLAS DE VIDRIO | 1. | Son necesarias minillas de vidrio en equipo de proceso (sujetos a condiciones peligrosas)? Ejemplo: condiciones inflamables, tóxicas, de alta presión, temperaturas extremas, etc. | | | | |

3. QUE PASA SI? (WHAT IF)

Este método de análisis de Riesgos, utiliza el principio de revisión de las partes del proceso por un equipo experto multidisciplinario. Las principales características de éste método son las siguientes:

- Análisis cualitativo de fallas obvias de un sistema.
- Estructura y alcance limitado.

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

Con este método, se supone que ocurre una falla sin considerar qué fue lo que la causó.

Se buscan fallas tales como las siguientes.:

¿Qué pasa si hay una

- pérdida de servicios (agua de enfriamiento, agua de proceso, vapor, aire de instrumentos o de proceso)?
- pérdida de energía eléctrica?
- pérdida de electricidad de emergencia?
- pérdida del sistema de cómputo de control del proceso?
- descarga de una válvula de relevo o un disco de ruptura? (¿capacidad suficiente? ¿calibración? ¿dónde descargará?)
- reacción de descomposición o polimerización incontrolada?
- pérdida del sistema de agua contra incendio?
- explosión o un incendio interno?
- ¿qué pasaría si el operador falla al efectuar una operación crítica?

Contestando estas u otras preguntas clave, se tendrá una evaluación de los efectos de fallas de equipo, errores en procedimientos, desastres naturales, etc; los resultados dependerán de la experiencia y de la capacidad imaginativa del grupo de análisis.

Los aspectos relacionados con el proceso, que normalmente se cuestionan son principalmente los siguientes:

- Materiales
- Condiciones del proceso
- Equipos
- Servicios

- Instrumentación
- Control del proceso
- Instalaciones y equipos vecinos
- Etc.

Para el uso apropiado de la técnica, cada parte de la operación debe ser evaluada por los miembros del grupo de trabajo, quienes harán la pregunta ¿qué pasa si . . . ? a cada operación o etapa del proceso, para determinar los efectos de fallas en los equipos o errores de operación en el proceso.

La metodología puede ser utilizada para revisar un proceso completo o partes de él, dependiendo de su complejidad. El grupo de especialistas con experiencia y conocimientos en varios aspectos, examinan intensivamente el proceso para identificar posibles riesgos de exposición del personal o la propiedad. El grupo de trabajo, enfatiza en factores detectables a través de observación visual, tales como limitaciones de las reacciones químicas, efectos de impurezas, cambios en el proceso, efectividad de los dispositivos de prevención y control de incendios y explosiones, materiales de construcción, procedimientos de operación, etc.

El procedimiento, incluye las siguientes etapas, como se muestra en el flujograma de la Fig. V-2.

- Definición de objetivos y alcance
- Selección del grupo de trabajo
- Preparación previa del análisis
- Ejecución del análisis
- Seguimiento
- Registro de resultados

Definición de objetivos y alcance

Los objetivos y alcance del análisis deben ser explícitos, tanto como sea posible. Algunos ejemplos son revisar o verificar:

- Ingeniería básica
- Ingeniería de detalle
- Plan de arranque
- La operación normal de una planta
- Operaciones de arranque y paro
- Trabajos de mantenimiento mayor
- Procedimientos de operación

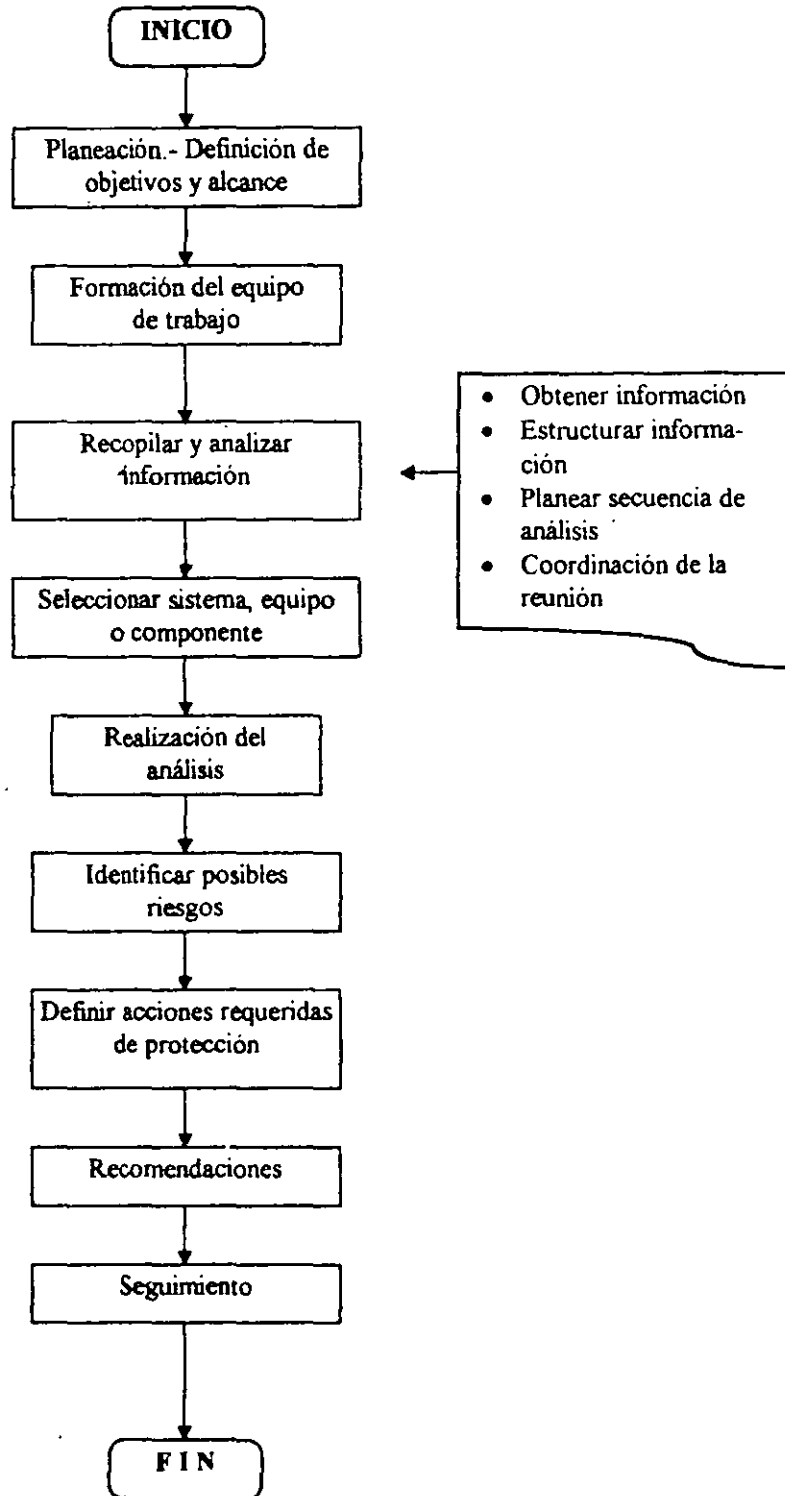


FIG. V-2.- FLUJOGRAMA DEL METODO "QUE PASA SI... (WHAT IF...)"

En ocasiones, dependiendo de la complejidad del proceso, es conveniente definir el tipo de riesgos que se pretende identificar, por ejemplo:

- Al ambiente
- A la salud de los trabajadores
- A la integridad física de los trabajadores
- A las instalaciones y equipo
- A la comunidad
- A la calidad del producto

Los límites físicos de la planta a ser analizada deben definirse y cuando existan interacciones con los vecinos, se deben incluir en el análisis. Deben contemplarse las premisas económicas que prevalecen en el momento del análisis, por los posibles efectos en la toma de decisiones.

Los objetivos y alcances generales para un análisis, son normalmente establecidos por la persona responsable del proyecto o la planta.

Selección del grupo de trabajo.

Los análisis de riesgos utilizando la metodología ¿qué pasa si ? , son normalmente ejecutados por grupos multidisciplinarios, pero bajo ciertas circunstancias y como una aplicación preliminar, puede ser aplicada por disciplinas en forma individual, aunque esto hace que el resultado tenga poca confiabilidad al no identificarse todos los posibles riesgos.

La mezcla de disciplinas puede variar dependiendo del tipo de proyecto o planta, siendo el equipo base el siguiente:

- Ingeniería
- Mantenimiento
- Producción
- Procesos
- Seguridad e Higiene

En ocasiones se requiere incluir, sobre todo en proyectos, disciplinas tales como:

- Eléctrica
- Instrumentación
- Ingeniería Civil
- Ingeniería en Seguridad
- Higiene Industrial
- Ingeniería Ambiental
- Etc.

Dentro del grupo de trabajo debe de existir una persona que coordine la revisión, verificando que la metodología sea aplicada apropiadamente.

El coordinador del grupo de trabajo tiene algunas funciones a cubrir durante el análisis:

- Asesorar en la definición de los objetivos y alcance.
- Ayudar en la selección del grupo.
- Coordinar la recopilación de información previa.
- Moderar las discusiones.

Preparación previa del análisis

El trabajo de preparación dependé del tamaño y complejidad de la planta o proyecto y consiste en cuatro etapas:

- Obtención de información
- Estructuración de la información
- Planeación de la secuencia del análisis
- Coordinación de la reunión

Información.- Esta normalmente consta de la descripción del proceso, diagramas de flujo, balance de materia y energía, diagramas de tuberías e instrumentación, diagramas de arreglos de la instalación, manual de operación. El tipo de información puede variar dependiendo de la etapa del proyecto, en el caso de nuevos diseños.

La información deberá estar actualizada y reflejar fielmente las condiciones reales del diseño.

Estructuración de la información.- Una vez recopilada, se deberá hacer llegar una copia a cada uno de los miembros del grupo de trabajo, con la suficiente anticipación para que la reunión sea ágil y productiva.

Planeación de la secuencia de análisis. El coordinador del grupo de trabajo, debe establecer una agenda que permita cumplir con el objetivo y los alcances de la reunión. La secuencia normalmente lleva el orden normal del proceso.

Coordinación de la reunión. El coordinador debe seleccionar el lugar de trabajo, auxiliares para la reunión (rotafolio, proyectores, etc.) y dependiendo del proyecto o condiciones de la planta, debe incluir, como parte de la reunión, la visita a las instalaciones.

Las sesiones de trabajo deben efectuarse en un lugar bien iluminado y ventilado, con instalaciones adecuadas para revisar planos, explicar diagramas y comodidades que permitan un trabajo agradable, libre de ruido y distracciones.

Ejecución del análisis

Una vez explicado el objetivo y alcance de la reunión y la agenda preparada previamente, el coordinador explica la secuencia de análisis, selecciona una parte del proceso y define la primera etapa a revisar. Consecutivamente se le pide al grupo hacer la pregunta ¿qué pasa si ?, a los conceptos que cada especialista considere pertinente.

Se da la palabra a uno de los miembros y se solicita que exponga su cuestionamiento, entonces el grupo discute las posibles respuestas y propone soluciones para los riesgos detectados.

Inicio

- a) Seleccionar una parte del proceso
- b) Explicar la intención de la parte seleccionada
- c) Seleccionar una etapa u operación del proceso
- d) Explicar la intención de la etapa u operación
- e) Aplicar la pregunta ¿qué pasa si ?
- f) Dar las respuestas posibles (consecuencias)
- g) Evaluar si las consecuencias son un riesgo
- h) Proponer las acciones para eliminar o reducir el riesgo
- i) Marcar la etapa u operación analizada
- j) Repetir c-i para todas las etapas u operaciones de la parte del proceso seleccionado
- k) Repetir a-j para todo el proceso

Seguimiento

Normalmente existirán acciones pendientes de evaluar, puntos de desacuerdo por concluir o información que recopilar. Se debe elaborar una lista de los pendientes, indicando los responsables y fechas compromiso para su ejecución. Transcurrido el tiempo necesario se lleva a cabo una sesión de revisión, en la cual se evalúa el plan de acción propuesto para reducir o eliminar los riesgos identificados.

Las acciones propuestas, generalmente son cambios o modificaciones de cuatro tipos:

- En el proceso (recipientes, materiales, instrumentación, etc.).
- En los procedimientos de operación.
- En las condiciones del proceso (temperatura, presión).
- En el diseño físico.

Cuando las acciones han sido definidas, es muy útil separarlas en dos grupos:

- Las que eliminan las causas del riesgo
- Las que reducen sus consecuencias

Registro de resultados

Una actividad importante del grupo de trabajo, es el registro de los resultados del análisis, para lo cual es recomendable integrar un expediente conteniendo:

- Una copia de los diagramas y descripción del o los procesos.
- Una copia de las hojas de registro de las preguntas, respuestas (consecuencias) y acciones propuestas, como se muestra en la Tabla V-4.

TABLA V-4.- QUE PASA SI (WHAT IF)?

PLANTA O INSTALACION _____ SISTEMA _____ EQUIPO _____
COMPONENTE _____ PROPOSITO _____ FECHA _____

Hoja __ de __

| NUM | QUE PASA SI ? | CONSECUENCIAS | PROTECCION ACTUAL | RECOMENDACIONES |
|-----|-------------------------|---------------|-------------------|-----------------|
| | | | | |

4. ANÁLISIS TIPO HAZOP (Hazard and Operability Study)

La técnica HAZOP fue desarrollada inicialmente por la Imperial Chemical Industries ICI, al principio de los años de 1970's.

El HAZOP se aplica con más frecuencia a los sistemas térmico-hidráulicos, y consiste en el llenado de una tabla; esta tabla contiene un número de "palabras guía" para ayudar al análisis. El significado de las palabras guía se muestra en la Tabla V-5.

A cada nueva etapa del estudio y con la ayuda de estas palabras guía, las causas posibles de fallas y sus efectos (o consecuencias), se listan para un primer examen de los parámetros significativos de las facilidades y sus posibles variaciones. Se identifican las causas de las variaciones, para las fallas esperadas de los componentes, y entonces se consideran los efectos de las causas de fallas.

Si en un primer análisis se ve que una falla es muy importante por su probabilidad de ocurrencia o sus efectos, se especifican y proveen las medidas necesarias para bajar su probabilidad y/o abatir sus efectos.

El método HAZOP, puede ser considerado como una adaptación específica del AMFE a los sistemas térmico-hidráulicos, pero también como una técnica del tipo causa-consecuencias.

Las palabras guía usadas como referencia, son algo similares a las pérdidas de función de subsistemas o sistemas; un análisis, primeramente deductivo, se realiza para inventariar todos los probables modos de fallas de componentes que tienen efectos correspondientes a las palabras guía. Posteriormente, se aplica un análisis estrictamente inductivo a estos componentes, para identificar todos los efectos de sus modos de falla.

Esta técnica, tiene la ventaja de señalar rápidamente los componentes cuyos efectos de modos de falla pueden ser corregidos; a diferencia del AMFE, ésta técnica no requiere de un estudio sistemático de los modos de falla de cada componente y de sus efectos. El análisis del sistema parece ser simple, sin embargo, el uso de este método aumenta un número de problemas, por ejemplo, es difícil asignar a cada palabra guía una porción bien delineada del sistema y de las causas de falla, y pueden producir errores en el análisis.

En la Fig. V-3, se muestra el flujograma del método de análisis HAZOP.

TABLA V-5.- PALABRAS GUIA O PALABRAS CLAVE DEL METODO HAZOP

| PALABRAS GUIA | SIGNIFICADO | OBSERVACIONES |
|----------------------|-----------------------------------|--|
| NO, NADA | Completa negación al intento. | No ocurre ninguna parte del intento del diseño (no flujo, no energía) |
| MAS, MAYOR | Aumento cuantitativo. | Se refiere al aumento de cualquier parámetro físico, tanto a cantidades y propiedades (flujo, temperatura, presión) como a actividades (calentamiento, reacción, enfriamiento) |
| MENOS, MENOR | Disminución cuantitativa. | Decremento de cualquier parámetro físico. Se refiere tanto a propiedades y cantidades (flujo, temperatura, presión) como a actividades (calentamiento, reacción, enfriamiento) |
| ADEMAS DE | Aumento cualitativo. | Se realiza todo el intento del diseño junto con una actividad adicional (impurezas, fases adicionales, reacción secundaria) |
| PARTE DE | Disminución cualitativa. | Solo se realizan algunas partes del intento del diseño (flujo correcto con baja presión) |
| INVERSO | Opuesto a la lógica del intento. | Se aplica tanto a propiedades como a actividades (calentamiento en lugar de enfriamiento, adición de catalizador en lugar de inhibidor) |
| DISTINTO, EN VEZ DE | Completa sustitución del intento. | Nada del intento original ocurre, aunque si algo diferente (material diferente, equipo distinto, operación diferente) |

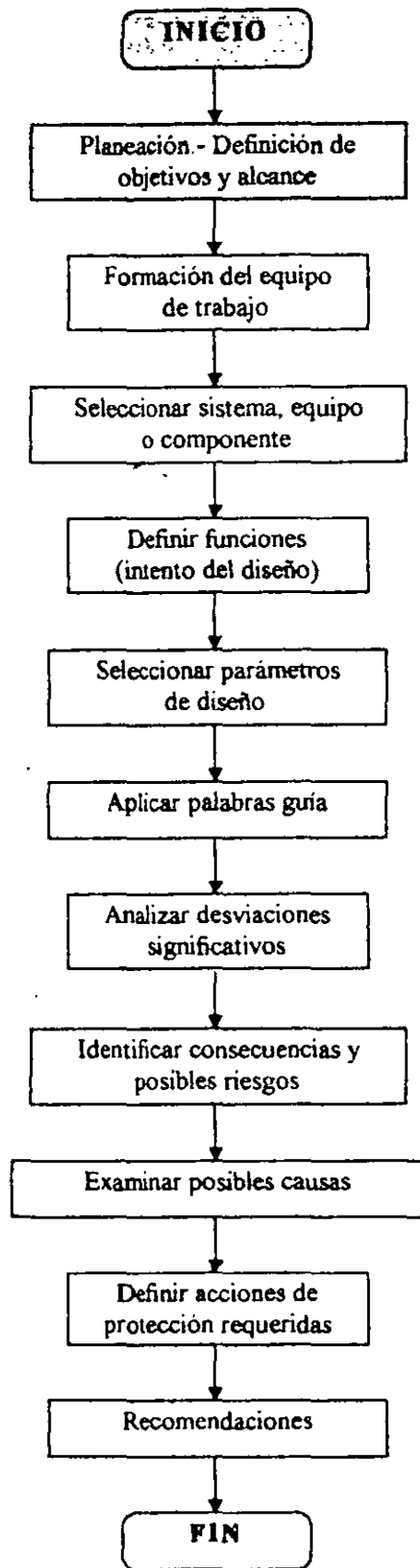


FIG. V-3.- FLUJOGRAMA DEL METODO HAZOP

En el método HAZOP, se parte de una desviación al intento del diseño, que lleva aun modo de falla y se analizan sus posibles efectos, repercusiones o consecuencias.

Se puede definir al "intento del diseño", como el propósito por el cual se realiza el diseño para que cumpla su función dentro de ciertos parámetros.

El modo de falla de un componente, se define como el efecto por el cual se observa una falla.

El método HAZOP, cuestiona en forma metódica y sistemática la operación correcta (con diseño correcto), y que riesgos se tienen cuando no se cumple el intento del diseño.

A cada una de las partes de un sistema o planta se le aplican las "palabras guía", para evaluar el intento del diseño y determinar que podría pasar si no se cumple (el intento del diseño) o se cumple parcialmente, así como las consecuencias.

Las palabras guía actúan como estímulo para cuestionar los parámetros de diseño mas relevantes, como:

- Materiales
- Flujo (cantidad y dirección)
- Condiciones de operación (presión, temperatura, tiempo)
- Otros.

Para ayudar a considerar y registrar las principales desviaciones, se puede utilizar una matriz de aplicación de las palabras guía, como se muestra en la Tabla V-6.

Si no se tiene una causa objetiva posible y probable, que origine desviaciones al intento del diseño al aplicar las palabras guía, entonces la desviación no puede ocurrir.

Durante la aplicación de las palabras guía, no se deben tomar en cuenta los dispositivos y protecciones existentes que pueden evitar la causa de la desviación; el método considera la existencia de la desviación, aún si no fallan las protecciones

Principios Básicos de la Metodología

Esta metodología, funciona a través de utilizar la imaginación de los miembros de un grupo multidisciplinario, para visualizar las rutas en que una planta puede operar en forma indeseable. Es lo suficientemente flexible para aplicarse a todo tipo de plantas, procesos, equipos, etc.

TABLA V-6.- MATRIZ DE APLICACIÓN DE “PALABRAS GUIA”

| PALABRA GUIA PARAMETRO | NO NADA | MAS, MAYOR | MENOS MENOR | ADEMAS DE | PARTE DE | INVERSO | DISTINTO, EN VEZ DE |
|-----------------------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|---------------------|----------------|--------------------------------|
| Presión | | | | | | | |
| Temperatura | | | | | | | |
| Flujo | | | | | | | |
| Tiempo | | | | | | | |
| Densidad | | | | | | | |
| Velocidad | | | | | | | |
| | | | | | | | |

La metodología, puede ser aplicada en el diseño final de una planta o en algunos diseños intermedios, al realizar trabajos de mantenimiento mayor o reparaciones complejas y en operaciones de paro, arranque o condiciones normales de operación.

Debido a que el proceso de aplicación de la metodología es complejo y altamente estructurado, es recomendable su aplicación en forma selectiva, considerando actividades como:

- Manejo de materiales peligrosos
- Ubicación de la planta en zonas de asentamientos humanos
- Posibles efectos a industrias vecinas
- Posibles afectaciones a mantos acuíferos y vías de agua

Esencialmente, el procedimiento de análisis consiste en revisar la descripción completa de los procesos, cuestionando sistemáticamente cada una de sus partes, para descubrir como las desviaciones del intento del diseño pueden ocurrir, e identificar cuales de estas pueden dar por resultado un riesgo.

Cada parte del diseño se somete a una serie de preguntas formuladas en base a las "palabras guía", las cuales son utilizadas para garantizar que todos los caminos posibles, para que ocurra una desviación del intento del diseño, son explorado: Esto, normalmente genera una serie de desviaciones teóricas y cada desviación es considerada para identificar sus causas, posibles consecuencias y las acciones a seguir para su eliminación o reducción.

El propósito del análisis es identificar todas las posibles desviaciones con respecto al intento del diseño y todos los riesgos asociados a estas desviaciones, así como el proponer las alternativas viables para eliminarlos o reducirlos.

El éxito de la metodología depende de:

- La exactitud de los diagramas y datos utilizados como base del estudio.
- La habilidad técnica y perspicacia del grupo.
- La habilidad del grupo en el uso de la metodología, como una ayuda a su imaginación en la visualización de desviaciones, sus causas y consecuencias.
- La habilidad del grupo para mantener el sentido de proporción, no minimizando o exagerado la severidad de las consecuencias de los riesgos identificados.

Procedimiento para el Análisis

Los principios descritos son puestos en práctica a través de un procedimiento que consiste en las siguientes etapas:

- Definición de objetivos y alcance
- Selección del grupo de trabajo
- Preparación previa del análisis
- Ejecución del análisis
- Seguimiento
- Registro de resultados

Definición de Objetivos y Alcance

Los objetivos y alcance de una análisis deben ser explícitos tanto como sea posible, por ejemplo:

- Revisar un diseño
- Decidir cuándo y dónde construir una planta
- Obtener una lista de verificación para seleccionar un proveedor
- Verificar procedimientos de operación
- Mejorar las condiciones de seguridad de plantas existentes

Es necesario definir el tipo de riesgos que se pretenden identificar, por ejemplo:

- Al personal que trabaja en la planta
- A la planta y equipo
- A la calidad del producto
- A la comunidad
- Al ambiente

Los límites físicos de la planta a ser analizada deben definirse y cuando existen interacciones con los vecinos, todos deberán incluirse en el análisis. Deben ser contempladas las condiciones económicas que prevalecen en el momento del análisis por los posibles efectos en la toma de decisiones.

Selección del Grupo de Trabajo

Los estudios de los riesgos y operación son normalmente ejecutados por grupos multidisciplinarios. Dentro de estos grupos existen dos tipos de participantes: los que realizan la contribución técnica y los que asesoran y establecen las reglas de funcionamiento del grupo.

Personal técnico. El análisis requiere de la participación de personal con conocimientos y experiencia en ciertas áreas, algunas de ellas relacionadas con el diseño y otras con la operación de la planta. La metodología genera una gran cantidad de preguntas que requieren la participación de personal, con un grado alto de conocimientos y experiencia en:

- Ingeniería
- Mantenimiento
- Producción
- Procesos
- Seguridad e Higiene
- Riesgos

La mezcla de disciplinas puede variar dependiendo del tipo del proyecto o planta. Algunas ocasiones se requiere de la inclusión de disciplinas tales como:

- Ingeniería Eléctrica
- Instrumentación
- Ingeniería Civil
- Ingeniería en Seguridad
- Higiene Industrial
- Ingeniería Ambiental
- Etc.

El grupo no debe ser muy grande y el número ideal de personas está entre 3 y 6.

Personal de Soporte. Debido a que las sesiones de análisis son altamente estructurada y muy sistemáticas, es necesario tener a alguien que modere las discusiones. Esta persona se conoce como el "Líder del Grupo".

El líder del grupo tiene algunas funciones a cubrir durante el análisis:

- Asesorar en la definición de los objetivos y el alcance del análisis.
- Ayudar en la selección del grupo y su entrenamiento.
- Coordinar la recopilación de información previa y verificar que se cuente con toda la necesaria para el análisis.
- Moderar las discusiones dentro de lo establecido por la metodología.

Es importante que los miembros del grupo tengan una actitud positiva y constructiva, dado que los resultados dependen de su inventiva e imaginación.

Preparación Previa del Análisis

El trabajo de preparación depende del tamaño y complejidad de la planta y consiste de cuatro etapas:

- Obtención de información
- Estructuración de la información
- Planeación de la secuencia del análisis
- Coordinación de las reuniones

Información. Esta normalmente consta de diagramas de flujo, balance de materia y energía, diagramas de tubería e instrumentación, diagramas de distribución de la planta (lay out), cinética química de las reacciones involucradas, descripción detallada del proceso, manual de procedimientos de operación, especificaciones y características fisicoquímicas de los materiales utilizados y producidos, hojas de especificación equipos y programas de mantenimiento preventivo. Esta información debe estar actualizada.

Una vez que la información se ha recopilado y estructurado, el líder del grupo está en la posibilidad de realizar la planeación de la secuencia del análisis. La primera etapa será estimar las horas hombre que se requerirán, lo cual se puede lograr de varias maneras. Una regla general es que cada parte a ser estudiada (línea, recipiente, etc), toma aproximadamente 15 minutos del tiempo del grupo. Una forma de estimar el tiempo es considerando el número de líneas y de recipientes.

Ejecución del Análisis

Las sesiones de análisis son altamente estructuradas, con el líder del grupo controlando la discusión, para el seguimiento de su plan predeterminado. Si la ejecución está basada en diagramas de tubería e instrumentación, el líder del equipo selecciona el primer recipiente y pide al grupo que describa su función. Selecciona una línea u otro elemento del diseño y solicita al grupo establecer la intención de la parte seleccionada. Esta secuencia se sigue en forma similar en un estudio basado en los procedimientos de operación.

El líder del grupo aplica la primera palabra clave y la discusión del grupo se inicia. Algunas veces es necesario, particularmente cuando se trata de un grupo inexperto, para el líder del grupo orientar la discusión haciendo preguntas tal como ¿Puede no haber flujo? o ¿Qué puede ocurrir si no hay flujo?. El grupo no sólo deberá proporcionar las respuestas técnicas, si no que debe orientarse hacia la creatividad y hasta todas las posibles desviaciones y riesgos.

Una vez que los riesgos son identificados, el líder del grupo debe asegurarse que sean claramente comprendidos por el grupo. Todos los problemas detectados durante el análisis deben ser resueltos, pero pueden subsistir algunos problemas

por falta de información o necesidad de profundizar en la puesta de alternativas de solución. Existen dos posiciones extremas:

- Una solución es definida para cada riesgo detectado, antes de pasar a la identificación del riesgo siguiente.
- No proponer soluciones hasta que todos los riesgos han sido identificados.

Seguimiento

Normalmente existirán acciones pendientes de evaluar, puntos de desacuerdo por concluir o información que recopilar. Se deberá elaborar una lista de ello, indicando los responsables de su ejecución y fechas de cumplimiento. Transcurrido el tiempo necesario, se llevará a cabo una sesión de "Evaluación de las Recomendaciones a Seguir", en la cual se revisarán puntos pendientes y se revisarán las acciones que se tomaran, para eliminar o minimizar los riesgos identificados.

Las acciones propuestas generalmente son de cuatro tipos:

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

Cuando las acciones han sido definidas, es muy útil separarlas en dos grupos:

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

Existirán acciones que no requieren de una evaluación detallada, dado que el riesgo es claro y las acciones son obvias en su corrección, pero suele ocurrir que para ciertos riesgos existen diferentes alternativas (unas más caras que otras, reducen más el riesgo, etc.) que será necesario evaluar su costo beneficio. Para ayudar en la toma de decisiones, se recomienda evaluar el riesgo, así como su modificación con las alternativas propuestas, mediante metodologías como:

- Arbol de fallas
- Indice Dow
- Indice Mond
- AMFEC

El uso de estas metodologías debe ser selectivo y sólo en caso estrictamente necesario, debido a su complejidad y el tiempo que se requiere para su aplicación.

Registro de Resultados

Una actividad importante del grupo de trabajo es registrar los resultados del análisis. Una forma útil es la generación del "Expediente HAZOP", que contiene:

- Una copia de los diagramas de tuberías e instrumentación, utilizados por el grupo durante el análisis.
- Una copia de todas las hojas de trabajo, preguntas, recomendaciones, rediseños, etc., generadas durante las sesiones de trabajo.

La hoja de trabajo se muestra en la Tabla V-7 y en la Fig. V-4 la secuencia detallada de la metodología HAZOP.

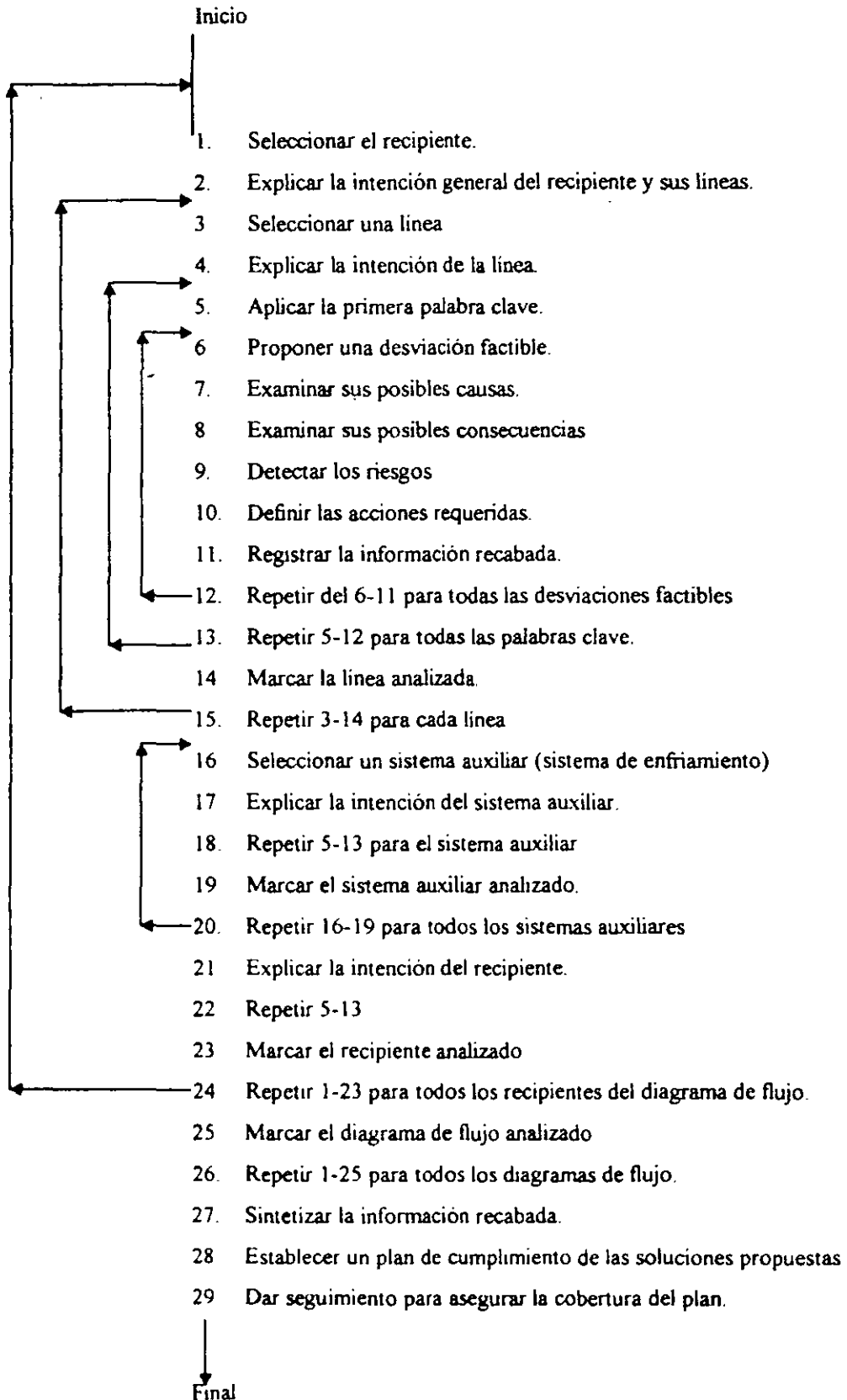
TABLA V-7.- METODO DE ANALISIS HAZOP

PLANTA O PROYECTO _____ SISTEMA _____
EQUIPO _____ PARTE _____ COMPONENTE _____
FUNCION _____ DIAGRAMA O PLANO _____

FECHA _____
HOJA ____ DE ____

| PALABRA CLAVE | DESVIACION | CONSECUENCIAS | CAUSA PROBABLE | ACCION O PROTECCION REQUERIDA | RECOMENDACIONES |
|------------------|------------|---------------|-------------------|-------------------------------------|-----------------|
| | | | | | |

FIG. V-4.- SECUENCIA DETALLADA DE LA METODOLOGIA HAZOP



5. ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y EFECTOS (AMFE)

El análisis de modos de falla y efectos AMFE es un método de análisis inductivo, usado para estudiar sistemáticamente las probables causas y efectos de fallas que afectan los componentes de un sistema.

En general, el AMFE se utiliza para.

- evaluar los efectos de cada modo de falla de los componentes de un sistema, en las varias funciones de dicho sistema;
- identificar los modos de falla significativos que afectan la disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad o seguridad del sistema.

El método de análisis de modos de falla y efectos, AMFE, se utilizó por primera vez en los años de 1960's en el campo aeronáutico para analizar la seguridad de los aviones. En la actualidad, se usa en los siguientes sectores industriales:

- está prescrito por autoridades regulatorias de EUA y Francia, para estudios de seguridad de aviones (airbus, concorde, módulo lunar);
- desde el accidente de Three Mile Island, se recomendó para plantas nucleares de potencia en EUA;
- estándares militares de EUA;
- IEEE (Instituto of Electrical and Electronic Engineers);
- La IEC publicó un estándar internacional de éste método;
- plantas químicas;
- industria aeronáutica, investigación espacial, ingeniería nuclear;
- industria automotriz.

En el comportamiento de un AMFE se distinguen las siguientes cuatro etapas principales (Fig. V-5).

1. Definición del sistema, sus funciones y componentes.
2. Identificación de los modos de falla de los componentes y sus causas.
3. Estudio de los efectos de los modos de falla.
4. Conclusiones y recomendaciones.

A continuación se hace una discusión de éstas cuatro etapas.

5.1 Definición del Sistema, sus funciones y Componentes.

Los puntos que se incluyen en ésta etapa del AMFE son los siguientes:

- definición precisa del sistema,
- las principales funciones del sistema;

Realización de un AMFE
para un estado bien definido
del sistema

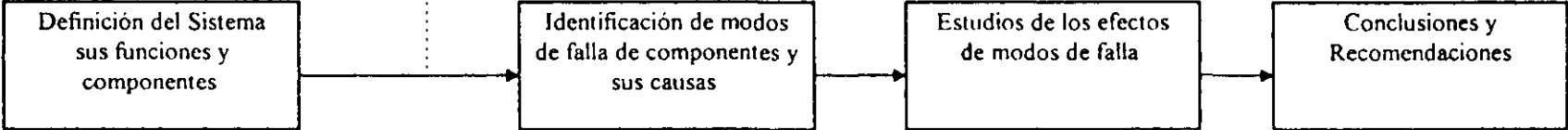


FIG. V-5.- ETAPAS EN LA REALIZACIÓN DE UN AMFE

- las limitaciones funcionales del sistema como un todo, así como las de sus componentes;
- especificaciones relacionadas a la operación del sistema y sus componentes, así como especificaciones concernientes al ambiente en que el sistema y sus componentes están colocados.

Es esencial que se inventarién y caractericen apropiadamente los varios estados del sistema como:

- standby
- operación
- back-up
- probándose
- en mantenimiento.

En sistemas redundantes, el inventario y caracterización puede ser muy numeroso; por está razón, usualmente un AMFE únicamente se lleva a cabo para un estado bien definido del sistema.

La realización de un AMFE para cada estado del sistema puede ser muy pesado, por lo tanto, el estado de operación del sistema debe seleccionarse muy cuidadosamente para un AMFE. Para ayudar a seleccionar éste estado, es útil realizar previamente un análisis preliminar de riesgos o peligros APR.

Se debe definir el nivel de desagregado del sistema, de acuerdo a los componentes para los cuales se tenga suficiente información disponible.

5.2 Identificación de los Modos de Falla de Componentes y sus Efectos.

Se define el modo de falla de un componente como el efecto por el cual se observa una falla.

Los modos de falla de cada componente del sistema se inventarian para el estado de operación estudiado de este sistema, como se muestra en la Fig. V-6.

El inventario de los modos de falla debe ser tan exhaustivo como sea posible, puesto que los análisis subsecuentes están esencialmente basados en dicho inventario

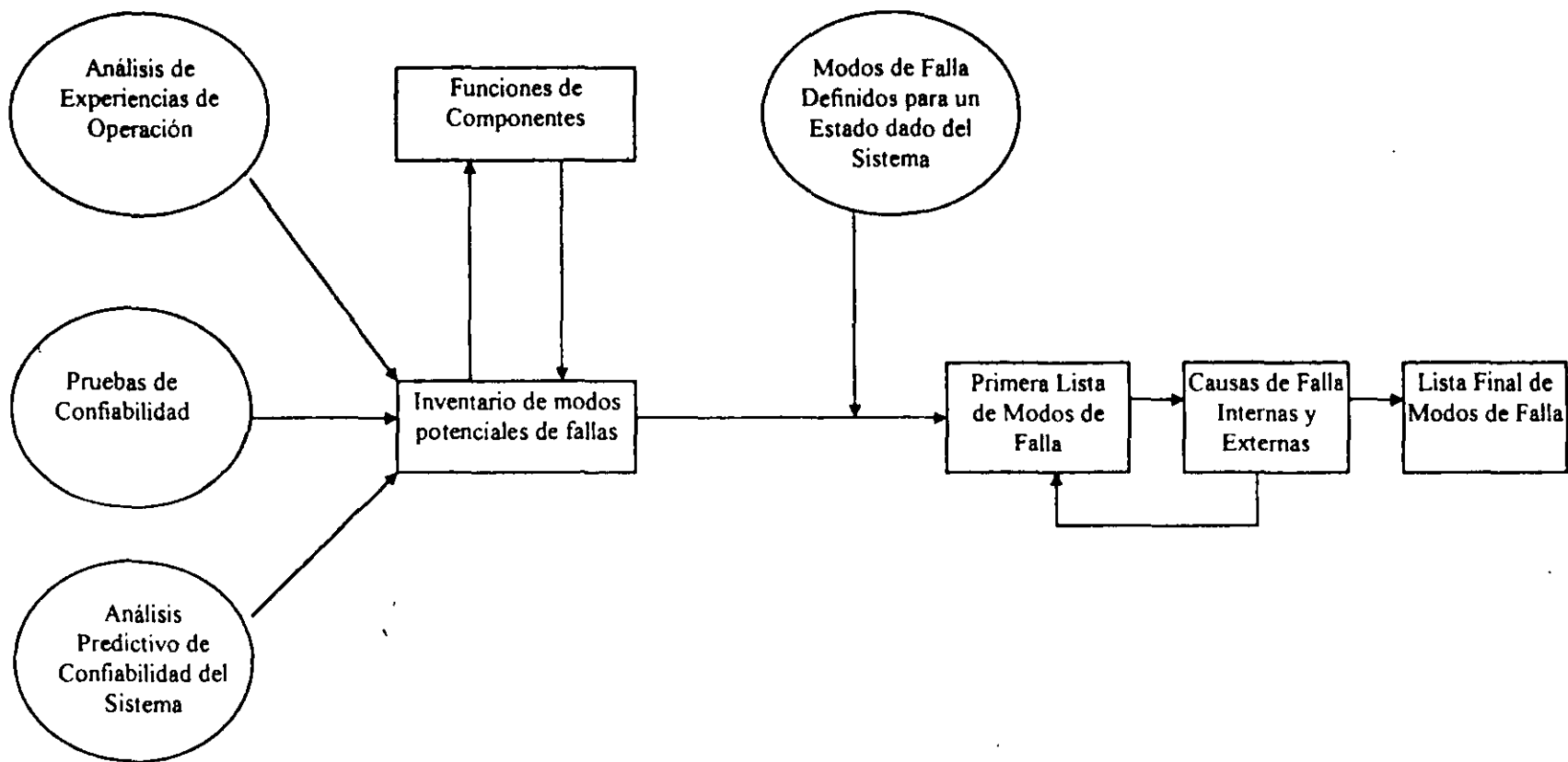


FIG. V-6.- IDENTIFICACIÓN DE MODOS DE FALLA DE COMPONENTES Y SUS CAUSAS.

En la primera parte se identifican los modos de falla potenciales, y simultáneamente deben identificarse las causas posibles de cada modo de falla. No siempre es fácil distinguir entre "modos de falla" y "causas de falla" de componentes, y esta es a veces una de las primeras dificultades encontradas en el análisis; para facilitar esta distinción se puede establecer que:

- Los modos de falla, son los efectos de causas de falla sobre las funciones del componente. Los modos de falla, son definidos con respecto a los efectos sobre el componente o sus funciones.

Es importante señalar, que es extremadamente difícil inventariar todas las causas posibles de un modo de falla; son definidos con respecto a los efectos sobre el componente o sus funciones.

Sólo a través de un análisis muy detallado, basado en otros métodos de análisis convencionales (análisis de árbol de fallas), podrían modelarse las causas, relacionando al componente como un sistema y a sus constituyentes como componentes.

Para identificar los modos de falla, se pueden usar como una guía las siguientes consideraciones:

- si el componente ya ha sido utilizado, se pueden usar tanto los datos de operación como las pruebas a que ha sido sometido;
- si es componente de nuevo diseño se pueden tomar referencias de diseños y funciones de otros componentes similares, o eventualmente usar un análisis de confiabilidad.

Para facilitar su inventario, a continuación se da una clasificación de los principales modos de falla usados;

- prematura (o inadvertida) operación;
- falla a operar a un tiempo prescrito;
- falla a cesar su operación a un tiempo prescrito;
- falla durante la operación.

De acuerdo con lo anterior, se deben considerar al menos cuatro modos de falla posibles; adicionalmente, se puede utilizar la lista de modos de falla genéricos mostrados en la Tabla V-8.

Los modos de falla se definen para un estado de operación dado del componente y del sistema; en caso de considerarse otro estado de operación, la lista previa de modos de falla se debe modificar, por ejemplo, en un sistema que comprende una válvula abierta, puede volverse un modo de falla para otro estado del sistema.

Para una bomba impulsada por motor, los modos de falla normalmente considerados son los siguientes:

- falla a arrancar;
- falla a parar;
- régimen de flujo de la bomba abajo del régimen de flujo requerido (falla durante la operación);
- presión de descarga de la bomba abajo de la presión requerida (falla durante operación);
- arranque inadvertido;
- fuga externa.

Los modos de falla deben adaptarse a cada estudio particular; para ciertos tipos de componentes, se deben considerar modos de falla adicionales (por ejemplo, misiles generados internamente), o bien, algunos tienen que omitirse.

TABLA V-8.- MODOS DE FALLA GENÉRICOS.

- | | |
|--|--|
| 1.- Falla estructural (ruptura) | 28.- Pérdida de entrada |
| 2.- Amarre o atoramiento físico | 29.- Pérdida de salida |
| 3.- Vibración | 30.- Acortamiento (eléctrico) |
| 4.- Fallas a permanecer (en posición) | 31.- Abierto (eléctrico) |
| 5.- Fallas a abrir | 32.- Fugas (eléctricas) |
| 6.- Fallas a cerrar | 33.- Otras condiciones únicas de falla, aplicables a las características del sistema, requerimientos y restricciones operacionales. |
| 7.- Falla abierta | |
| 8.- Falla cerrada | |
| 9.- Fuga interna | |
| 10.- Fuga externa | |
| 11.- Fallas fuera de tolerancia (alta) | |
| 12.- Fallas fuera de tolerancia (baja) | |
| 13.- Operación inadvertida | |
| 14.- Operación intermitente | |
| 15.- Operación errática | |
| 16.- Indicación errónea | |
| 17.- Flujo restringido | |
| 18.- Actuación falsa | |
| 19.- Fallas a parar | |
| 20.- Fallas a arrancar | |
| 21.- Fallas a cambiar | |
| 22.- Operación prematura | |
| 23.- Operación retrasada | |
| 24.- Entrada errónea (incrementada) | |
| 25.- Entrada errónea (decrementada) | |
| 26.- Salida errónea (incrementada) | |
| 27.- Salida errónea (decrementada) | |

El ejemplo de la bomba impulsada por motor, se puede también usar para especificar causas internas y externas, como se muestra en la Tabla V-9, siguiente:

TABLA V-9.- CAUSAS INTERNAS Y EXTERNAS

| MODOS DE FALLA | CAUSAS INTERNAS | CAUSAS EXTERNAS |
|--|-----------------------------------|--|
| Falla a arrancar | . atoramiento mecánico | . pérdida de suministro eléctrico . error humano (ejem: apriete excesivo del empaque) |
| Flujo de bomba abajo del flujo requerido | . falla mecánica . vibraciones | . pérdida de suministro eléctrico . cavitación . caída significativa de presión, flujo arriba. |

En el ejemplo anterior, la definición de causa de falla, debe ser consistente con el tipo de parte de componentes involucrado, es decir, el componente se desagrega en partes como, partes mecánicas, partes eléctricas (motor), suministro de energía eléctrica, etc.

Se deben modelar etapa por etapa los componentes y sus relaciones funcionales con su ambiente, por ejemplo, el suministro de energía eléctrica.

Algunas veces deben analizarse algunas causas externas, por ejemplo, puede ser interesante ver más dentro de la causas la cavitación de una bomba, que a la larga puede resultar en falla de la bomba durante la operación.

Finalmente, las causas de falla pueden encontrarse que sean los modos de falla; tomando de nuevo la bomba y considerando su vibración, problema que ha sido clasificado como causa interna. Las vibraciones anormales de ciertas partes mecánicas de la bomba, producen su falla durante la operación, de forma que es equivalente a otras fallas mecánicas, como una rotura repentina del motor. También estas vibraciones anormales, pueden tener efectos significativos en la tubería y componente flujo abajo de la bomba; en éste caso, vibraciones anormales de la bomba pueden considerarse como un modo de falla.

Algunas veces las causas de fallas resultan de fallas de otros componentes; la causa externa de modo de falla de un componente M, puede originar el modo de falla de otro componente M₁ y este hecho, puede escapar al análisis durante el estudio del primer componente. Por otra parte, por el estudio de los efectos de los modos de falla M₁ de éste otro componente, el análisis puede encontrar otras causas externas del modo de falla M.

Los modos y causas de falla, solamente pueden ser definidos en el marco de trabajo de un análisis interactivo, incluyendo un estudio de los efectos.

El concepto del método de fallas combinadas conjuntas MFCC, ayuda a definir los modos de fallas y sus causas más eficientemente; de hecho, los modos de falla, son fallas reunidas globales del componente, siendo las causas internas y externas respectivamente, fallas reunidas internas y externas (y/o son combinaciones) del componente analizado como un grupo de partes. En la Fig. V-7, se muestran estas nociones y sus definiciones en el marco del MFCC.

En los ejemplos anteriores las "vibraciones" de la bomba son causas de fallas internas cuyos efectos significativos difieren de los efectos de las fallas que afectan las partes mecánicas de la bomba, por lo tanto, las "vibraciones" de la bomba no deben ser agrupadas con otras fallas y son de hecho una falla global conjunta, que en éste contexto es un modo de falla del componente.

5.3 Estudio de los efectos de los modos de falla del componente.

Los efectos de cada modo de falla sobre las funciones del sistema, así como en cada uno de los componentes, se estudian y evalúan; estos efectos son descritos tan completamente como es posible, considerando que sólo hay un modo de falla y todos los otros componentes están operando o en estado operable.

El estudio de los efectos, se hace más fácil considerando las variables importantes del sistema y sus variaciones; algunas veces, puede ser necesario modelar el fenómeno físico o especificar que efecto ocurrirá bajo condiciones dadas.

Esta fase ayuda a definir mejor o redefinir las causas de un modo de falla; un modo de falla de componente puede causar otro, con lo que se identifican las fallas secundarias.

No debe perderse la visión de estudiar los objetivos y deben considerarse los efectos del sistema, o por el contrario, los efectos sobre los sistemas vecinos interactuando con el sistema estudiado; no siempre es fácil elegir de antemano donde parar el estudio de los efectos.

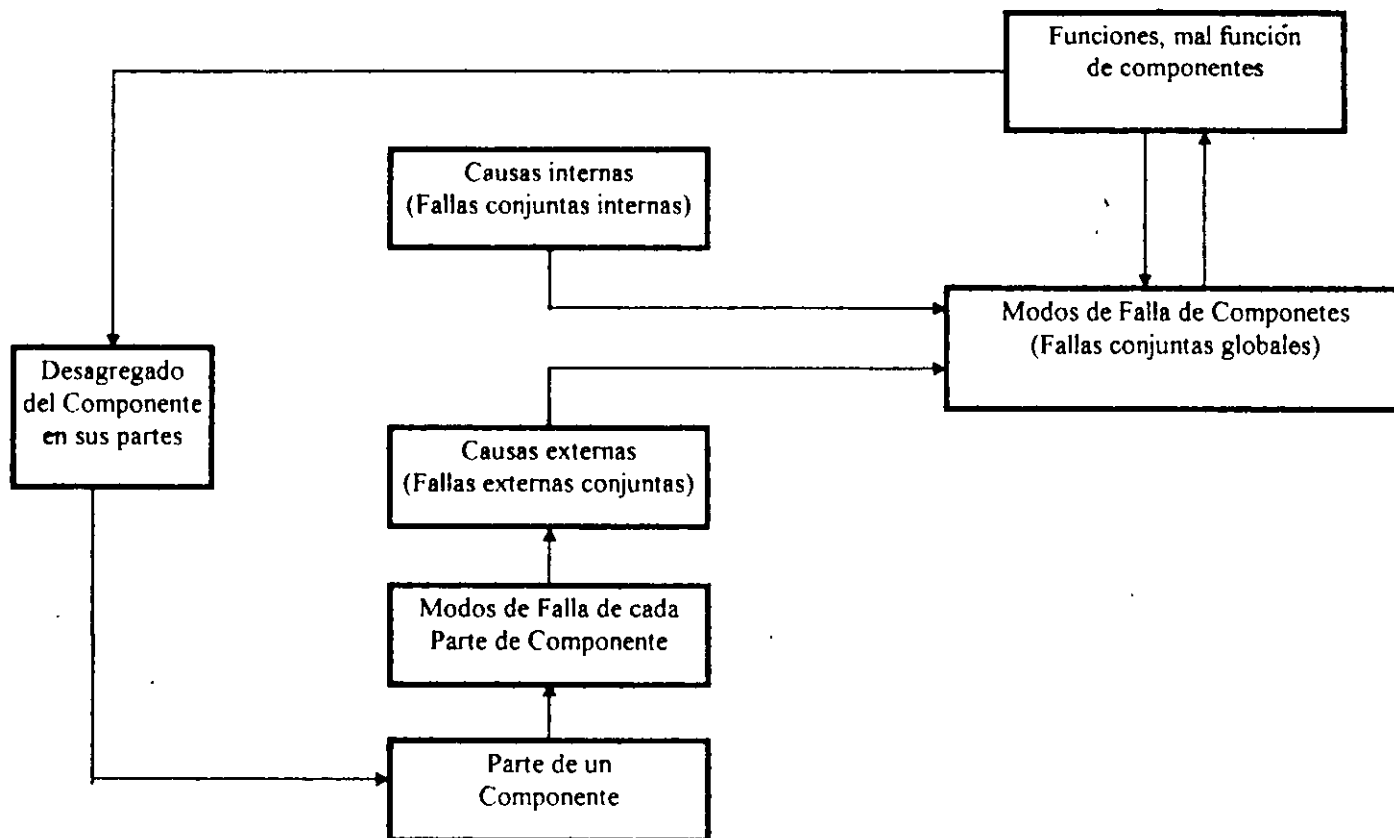


FIG. V-7. IDENTIFICACIÓN DE MODOS DE FALLA DE COMPONENTES.

En la realización de un AMFE de un sistema elemental, interactuando estrechamente con otro sistema elemental, es necesario mencionar los efectos sobre el otro sistema elemental; los efectos sobre el sistema estudiado, pueden ser diferenciados de los otros efectos sobre los sistemas externos o vecinos. Esta distinción, hace más fácil usar un método suplementario al AMFE, como el método de fallas combinadas conjuntas MFCC, en caso necesario.

Por otra parte, es importante mencionar los efectos de los modos de falla, que resultan de la existencia de sistemas de alarma y control; esto ayuda a identificar los modos de falla detectables.

5.4 Conclusiones y Recomendaciones.

Llegando a esta parte, se está capacitado para sacar conclusiones a la luz de los objetivos del estudio, y proponer recomendaciones relevantes. Este método, proporciona los siguientes resultados:

- asegurar que todos los modos de falla concebibles y sus efectos sobre la operación del sistema, han sido tomados en cuenta en la etapa del diseño.
- la identificación de fallas sencillas. El AMFE, se usó esencialmente para el propósito de evaluar la confiabilidad del módulo lunar, y en el campo nuclear, donde los sistemas se diseñan para alcanzar el criterio de falla sencilla (sus funciones no deben ser afectadas por la falla de un componente); el AMFE se usa para asegurarse que éste criterio de diseño sea satisfecho;
- un inventario de los modos de falla, de acuerdo a la extensión de sus efectos sobre las funciones del sistema;
- la identificación de fallas secundarias y la redundancia requerida;
- el diseño de los medios de detección (alarmas, pruebas periódicas, etc.), para los modos de falla. La adecuación de estos medios puede ser valorado,
- idear procedimientos de mantenimiento correspondientes a cada modo de falla, con lo que se estudia la mantenibilidad del sistema.

5.5 Presentación del Análisis y sus Resultados.

El análisis y sus resultados, por lo general se presentan en Tablas, como la mostrada en la Tabla V-10. Los del sistema o proyecto, así como los documentos de referencia para el análisis, se incluyen en la parte izquierda de la Tabla; las columnas incluidas son las siguientes.

- Identificación de componentes (código, nombre, tipo, localización).- En esta columna, se deben colocar todos los datos necesarios para identificar y localizar el componente estudiado en el sistema analizado.
- Funciones, estados.- Se deben listar todas las funciones del componente y sus varios estados de operación, estando separados los estados de operación del componente, de los estados de operación del sistema. Para claridad, es útil anotar aquí el estado de operación del sistema examinado en el AMFE.
- Modos de falla.- Estos, están inventariados para cada componente y para todos los estados de operación del componente y el sistema.
- Causas potenciales de fallas (causas internas, externas) - Las causas potenciales de cada modo de falla listado en la columna precedente, están aquí definidas. Es recomendable agrupar las causas internas del componente en una parte, y en otra las causas externas del componente o posiblemente del sistema.

La identificación de las causas potenciales de fallas no pueden, al menos en esta primera etapa, ser exhaustivas; ciertas causas de fallas (externas), son por ejemplo, los modos de falla de otros componentes y por lo tanto son identificados posteriormente en el análisis.

- Efectos sobre el sistema.- Los efectos de cada modo de falla sobre el sistema y sus componentes, interactuando estrechamente con el sistema estudiado, son especificados. Esta distinción, tiene su mérito cuando los AMFE's de varios sistemas interactuando, se realizan al mismo tiempo, o cuando este análisis puede usarse para propósitos de el MFCC.
- Medios de detección.- Todos los medios (sistemas, procedimientos, etc.), disponibles para identificar los modos de falla estudiados se listan, y pueden ser por ejemplo, alarma, pruebas periódicas, inspecciones, etc.
- Frecuencia de inspección y pruebas.- Se registran los regímenes a los cuales se inspeccionan y prueban los componentes estudiados.

| PROYECTO | | | | ANALISIS DE MODOS DE FALLA Y EFECTOS | | | | |
|---|--------------------|----------------|--|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------|--------------------------------------|-------------|
| SISTEMA | | | | DOCUMENTOS DE REFERENCIA | | | | |
| Identificación del Componente (código, nombre, tipo localización) | Funciones, estados | Modos de falla | Causas posibles de falla (causas internas, externas) | Efectos sobre el sistema | Efectos sobre sistemas externos | Medios de detección | Frecuencia de inspecciones y pruebas | Comentarios |
| | | | | | | | | |

TABLA V-10.- AMFE

- **Comentarios.**- La última columna, contiene las advertencias y observaciones, clasificando los otros puntos de la tabla; esta columna, también puede ser usada para mencionar problemas no-usuales, efectos particulares, análisis (si hay) de fallas dobles y fallas con causas comunes. También en ésta columna se pueden incluir comentarios, que se consideren esenciales para entender el análisis.

En la Tabla V-11, se muestra el inicio de un AMFE realizado en una válvula del sistema de seguridad de una planta nuclear.

Aplicación del AMFE

El AMFE se usa en el análisis tanto de componentes (p.e. válvulas), como sistemas de seguridad en plantas industriales; se recomienda iniciarlo tan pronto como las particularidades del sistema estudiado están disponibles. El AMFE puede realizarse en la varias etapas del diseño, la fabricación o la operación de componentes o sistemas.

Los resultados de AMFE, proveen un primer modelo de los modos de falla y de sus efectos sobre el sistema estudiado; es necesario conciliar los conocimientos generales y los específicos, para lo cual es necesario usar formas estandarizadas para todos los análisis.

La información requerida para llenar las Tablas del AMFE, que ayudan a integrar este método y tener una visión global con todo incluido de los problemas, puede incumbir a:

- la confiabilidad;
- disponibilidad;
- seguridad;
- mantenibilidad;
- dispositivos de detección;
- uso de procedimientos de investigación de incidentes o accidentes;
- otros.

Con frecuencia el AMFE necesita demasiado trabajo, a veces tedioso; se requieren de 2 a 3 meses de trabajo de un ingeniero, para analizar de 100 a 200 modos de falla que afectan circuitos térmicos-hidráulicos, aunque éste tiempo incluye el necesario para interiorizarse con el sistema, sin embargo, este análisis garantiza un buen conocimiento del sistema, que facilita la fase siguiente del trabajo de análisis, que consiste en el estudio de combinación de fallas.

| IDENTIFICACIÓN DEL COMPONENTE (IDENTIFICACIÓN, CÓDIGO, NOMBRE, TIPO, LOCALIZACIÓN) | FUNCIONES, ESTADOS | MODOS DE FALLA | CAUSAS POSIBLES DE FALLA (CAUSAS INTERNAS, EXTERNAS) | EFECTOS SOBRE EL SISTEMA | MEDIOS DE DETECCIÓN | ACCIÓN DEL OPERADOR | COMENTARIOS |
|---|---|---|---|---|--|---|---|
| <p>Código de identificación: 017 VCF</p> <p>Nombre: Válvula reguladora del flujo de agua de alimentación al generador de vapor, de la bomba impulsada por el motor</p> <p>Tipo: Válvula reguladora</p> <p>Localización S F 0318</p> | <p>Función: Regulación del flujo de agua de alimentación producido por b a a</p> <p>Estado: Válvula normalmente abierta</p> | <p>1 Válvula atascada completamente abierta</p> | <ul style="list-style-type: none"> • defecto mecánico interno • defecto del sistema de aire de control • pérdida de aire del control al motor • pérdida de potencia de control (125 v, canal B) | <ul style="list-style-type: none"> • el régimen de flujo suministrado al G de V no puede ser controlado desde la sala de control • en caso de rotura de tubería de vapor o del G de V, este no puede ser aislado desde la sala de control | <ul style="list-style-type: none"> • switch límite • régimen de flujo al G de V excepcionalmente alto; registro alto flujo ajustado a 100t/h | <ul style="list-style-type: none"> • el operador debe posicionar localmente la válvula | <ul style="list-style-type: none"> • las válvulas reguladoras operando con bombas eléctricas son energizadas por el mismo canal de las bombas impulsadas por motor; las válvulas reguladoras operando con las bombas impulsadas con turbina son energizadas con los canales S y F. |

TABLA V-11.- EJEMPLO DE UN AMFE

El mérito final de AMFE, es que tiene que realizarse con un diálogo intensivo entre expertos, aunque no siempre es posible tener una respuesta a los problemas que surgen de un AMFE, aún cuando la información disponible sobre el sistema parezca ser abundante y completa.

RESUMEN

El análisis de modos de falla y efectos AMFE, se utiliza comúnmente en numerosos sectores industriales.

El AMFE provee un análisis sistemático y muy completo, que muestra la siguiente información en Tablas:

- los modos de falla de componentes;
- sus causas;
- sus efectos sobre el sistema;
- poder evaluar los modos de falla sobre la confiabilidad.

El análisis de modos de falla, efectos y criticidad AMFEC es una extensión del AMFE, que incluye un análisis de la criticidad de los modos de falla.

Los AMFE y AMFEC son ambos análisis preliminares, que por lo general deben complementarse con otros métodos para identificar las combinaciones de fallas relevantes.

VI. MÉTODOS DE EVALUACION (CUANTIFICACION) DE RIESGOS

Los principales objetivos de la evaluación o cuantificación de Riesgos son los siguientes:

- La estimación de la probabilidad de ocurrencia de un evento indeseable y el tamaño de los posibles resultados.
- La evaluación de los cursos de acción alternativos.

La definición de Riesgo en la literatura científica especializada más aceptada es la siguiente:

“Es la medida de un peligro, combinando una medición de la probabilidad de ocurrencia de un evento indeseable con una medida de sus efectos o consecuencias”

Los métodos de evaluación de Riesgos que están de acuerdo con los objetivos y definición dadas anteriormente son las siguientes:

- Índice Dow
- Índice Mond
- Arbol de fallas/eventos (árbol lógico).
- Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad (AMFEC)

Estos serán los métodos que se discutirán en el presente Capítulo, además de que previamente se discutirá la evolución de los estudios de riesgos, y posteriormente al final se hará un análisis de las consecuencias, por lo que el presente Capítulo VI quedará en la siguiente forma:

1. Evolución de los estudios de riesgos
2. Índice Dow
3. Índice Mond
4. Arbol de fallas/eventos (árbol lógico)
5. Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad (AMFEC)
6. Análisis de consecuencias.

Los métodos de Índice Dow, e Índice Mond fueron los primeros utilizados para cuantificar los riesgos, aunque en la actualidad muy poco se utilizan; por ésta razón, en el presente documento solo se incluyen resúmenes de dichos métodos.

1. EVOLUCIÓN DE LOS ESTUDIOS DE RIESGO

1.1 Revisión histórica

En el valle del Tigris-Eufrates, hace aproximadamente 3,200 años A.C. vivió un grupo llamado los Asipu. Una de sus funciones primarias eran de servir como consultores en:

- riesgos
- incertidumbres
- decisiones difíciles

Se podía consultar a un miembro de los Asipu si se necesitaba tomar una decisión acerca de:

- una aventura de riesgo próximo
- el arreglo sobre una proposición de matrimonio
- un sitio adecuado para una construcción

Los Asipu podían identificar:

- las dimensiones importantes del problema
- alternativas de acción
- datos sobre posibles resultados (pérdida o ganancia, éxito o falla) de cada alternativa.

Los mejores datos disponibles desde su perspectiva, eran signos de los dioses, los cuales podía interpretar una especie de sacerdote Asipu, para lo que era especialmente calificado. Enseguida, los Asipu creaban un libro mayor con un espacio para cada alternativa:

- si los signos eran favorables anotaban un signo de más (+) en el espacio.
- si los signos eran desfavorables anotaban un signo de menos (-) en el espacio.

Después que se completaba el análisis, los Asipu podían recomendar la alternativa más favorable. La última etapa, era la emisión de un reporte final al cliente grabado en una tabla de arcilla. Parece ser que la práctica de los Asipu, marca el primer ejemplo registrado de una forma simplificada de análisis de riesgo.

Las similitudes entre las prácticas y procedimientos de los análisis modernos de riesgo y las de los antepasados Babilónicos, subrayan el punto que la gente ha estado tratando con problemas de riesgos por mucho tiempo, con frecuencia en una forma cuantificada y sofisticada.

Los propósitos de esta revisión de la evolución histórica del análisis de riesgos y del manejo de riesgos son los siguientes:

- Moderar la tendencia prevaleciente, de ver las preocupaciones actuales acerca del riesgo, en un contexto no histórico.
- Informar sobre los antecedentes intelectuales del pensamiento común, acerca del riesgo.
- Clarificar como las ideas contemporáneas acerca del análisis de riesgo y del manejo del riesgo social, difieren significativamente del pasado.
- Proveer las bases para anticipar la dirección futura en el análisis y gestión de riesgos.

1.2. Análisis cuantitativo de riesgos y probabilidad

A diferencia de los analistas modernos de riesgos, que expresan sus resultados en términos de probabilidades matemáticas y en intervalos de confianza, los Asipu de la antigua Babilonia, expresaban sus resultados con certidumbre, confianza y autoridad.

Puesto que los Asipu fueron dotados para leer los signos de los dioses, la probabilidad no intervenía en sus análisis. Las predicciones que fallaban, como en otras formas de adivinación, eran racionalizadas de acuerdo a la premisa inicial y no eran amenaza para el sistema. Por lo anterior, la investigación sobre el origen del análisis de riesgo cuantitativo moderno, debe buscarse en otra parte.

Un hilo importante que lleva al análisis cuantitativo moderno de riesgos, puede ser trazado desde las tempranas ideas religiosas, sobre la probabilidad de una vida posterior. Esto puede parecer sorprendente, considerando la prominencia y seriedad del riesgo involucrado, al menos para los verdaderos creyentes.

En el siglo IV D.C., se escribieron numerosos tratados discutiendo los riesgos de una alma después de la vida, dependiendo de como se conduzca aquí y ahora.

Uno de los análisis más sofisticados fue hecho por Arnobius en el siglo IV D.C. en el Norte de África. Arnobius, fue una figura grande en una iglesia pagana. Los miembros de dicha iglesia pagana, que tenían un templo a Venus completo, con sacrificio de vírgenes y prostitución, llevaban a una vida decadente en comparación a la austeridad cristiana.

Arnobius se mofaba de los cristianos por su inútil auto abnegación, sin embargo, en una visión revelatoria renunció a sus creencias y trató de convertirse al cristianismo, pero se le negó el bautismo por que dudaron de la sinceridad de su conversión.

Para tratar de demostrar la autenticidad de su conversión, escribió una monografía de 8 volúmenes titulada "Contra los paganos". Entre los argumentos en favor del cristianismo, hay uno que es particularmente relevante para la historia del análisis probabilístico del riesgo.

Después de discutir los riesgos e incertidumbres con decisiones que afectan a una alma, propuso una matriz de 2×2 , con dos alternativas:

- Aceptar el cristianismo
- Permanecer pagano

Hay también dos posibles, aunque inciertos, estados de cosas:

- Dios existe
- Dios no existe

Si Dios no existe, no hay diferencia entre las dos alternativas. Si Dios existe, ser cristiano es mucho mejor para una alma que ser pagano.

Este argumento marcó la primera aparición registrada del "Principio dominante", un heurístico útil para la toma de decisiones, bajo condiciones de riesgo e incertidumbre. Posteriormente, este argumento entró a la corriente principal de la teología del cristianismo y al pensamiento intelectual.

Cuando Pascal introdujo la teoría de probabilidad en 1657, una de sus primeras aplicaciones fue extender la matriz de Arnobius. Dada la distribución de probabilidades para la existencia de Dios, Pascal concluyó que el valor esperado de ser cristiano sobre pasaba el valor esperado del ateísmo.

Cualquiera que sea la explicación, no tomó mucho tiempo (dentro de los 100 años de los descubrimientos de Pascal) para que las nuevas teorías de probabilidad se aplicaran a la condición humana, utilizando las teorías matemáticas de probabilidad, para examinar las expectativas de vida (1662); antes de esto solo existieron las tablas desarrolladas por el Romano Domitius Ulpianus en el año 230 D.C. Las razones de éste lapso de tiempo parece ser que fueron objeciones filosóficas.

1.3. Métodos para establecer la causalidad

Las dos raíces del análisis moderno de riesgos son:

- Las teorías matemáticas de probabilidad.
- Los métodos científicos para identificar las relaciones o conexiones causales, entre los efectos adversos de la salud y los diferentes tipos de actividades peligrosas.

A través de la historia, los investigadores han confiado principalmente en los métodos de observación, para aclarar estas relaciones. La forma más básica de éstos métodos y más universalmente practicado, es la experiencia basada en prueba y error. Una ligera variante de éste método, ha sido la de conducción a distancia del experimento sobre un sustituto (p.e. proporcionar nuevos alimentos a animales).

En un nivel más complejo, los investigadores han usado tanto métodos de observación indirectos (quemado de alimentos para descubrir adulteración), como métodos de observación epidemiológica (establecer asociaciones de causa-efecto).

Aunque no se adherían al rigor científico y estándares estadísticos de los estudios epidemiológicos modernos, sí hay algunos ejemplos:

- En el siglo IV ó V A.C. en el libro "Aire, Agua y Lugares", Hipócrates intentó establecer las relaciones causales entre las enfermedades y el ambiente.
- En el siglo I A.C. los Griegos y Romanos observaron los efectos adversos por la exposición al plomo.

Estas observaciones se olvidaron y el trabajo se empezó de nuevo hasta los siglos XVI; XVII y XVIII. Entre los muchos estudios realizados durante este periodo, se encuentran las siguientes:

- Un estudio conectando los efectos adversos a la salud y varias prácticas de minería y metalúrgicas.
- Un estudio relacionando el humo en Londres con varios tipos de problemas agudos y crónicos.
- Un estudio relacionando el uso de la aspiración de tabaco con cáncer en los pasajes nasales.
- Un estudio indicando que los deshollinadores jóvenes de chimeneas en Inglaterra, eran especialmente susceptibles al cáncer de escroto en la pubertad.
- Un estudio indicando que la exposición ocupacional y medicinal al arsénico puede llevar al cáncer.
- Un estudio relacionando los brotes de cólera con el agua de las bombas de agua contaminadas.
- Un estudio relacionando la exposición a los rayos del sol con el cáncer de piel.
- Un estudio relacionando las aminas aromáticas con el cáncer de vejiga.

A pesar de estos estudios, los avances en el establecimiento de las relaciones causales, entre los efectos adversos a la salud y los diferentes tipos de actividades peligrosas, fue excesivamente lento; parece ser que dos obstáculos mayores impidieron el avance.

- El primero, fue la escasez de modelos científicos, biológicos, químicos y procesos químicos, especialmente antes de los siglos XVII y XVIII. Relacionado con lo anterior, estuvo la falta de instrumentación y falta de observaciones rigurosas y técnicas experimentales, para coleccionar datos e hipótesis de pruebas, aunque en la actualidad, con frecuencia se admite que aún los conocimientos médicos básicos, son un desarrollo relativamente reciente. Es sorprendentemente fácil de olvidar, que no fue hasta los trabajos de Pasteur al final del siglo XIX, que los científicos empezaron a comprender la adecuación del concepto de infección, o las relaciones causales entre el ambiente y los agentes biológicos de enfermedades infecciosas.
- El segundo obstáculo, fue la creencia, con raíces en tradiciones ancestrales, que la mayoría de las enfermedades, males, falta de fortuna y desastres podían ser mejor explicados en términos sociales, religiosos o mágicos, por ejemplo, el deseo de los dioses por transgresión moral o por la malevolencia de algún enemigo invisible. En los siglos XVI y XVII en Europa, la caza de brujas resultó en la muerte en el fuego, de aproximadamente medio millón de personas, conforme la iglesia intentaba erradicar fuentes percibidas de fallas en cosechas, enfermedades, muertes y otros.

En esa época, para muchos críticos, el agente físico directo causante del daño, era de considerablemente menos interés que el status moral de la víctima.

1.4 Manejo social del riesgo

En respuesta al riesgo identificado, los individuos y los grupos han empleado históricamente un número de técnicas, para reducir o mitigar los efectos adversos a la salud, entre las que se incluyen las siguientes:

- i. Evitar o eliminar el riesgo, como la prohibición del uso de objetos o sustancias potencialmente peligrosas.
- ii. Regular o modificar la actividad, para reducir la magnitud y/o frecuencia de efectos adversos a la salud, como la construcción de presas.
- iii. Reducir la vulnerabilidad de personas y propiedades expuestas, p.e.
 - Uso de dispositivos de seguridad
 - Elevación de edificios de lugares de inundación
 - Inmunización de la población
 - Implantación de leyes de cuarentena
 - Establecer sistemas de alarmas de desastres
- iv. Desarrollo e implantación de mitigación post-eventos y procedimientos de recuperación, p.e.:
 - Establecimiento de grupos de investigación y de rescate
 - Almacenamiento de alimentos
 - Entrenamiento para primeros auxilios
 - Proveer equipo y servicios para extinción de incendios
- v. Instituir esquemas de reembolso de pérdidas y distribución de pérdidas, a través de mecanismos como sistemas de seguros o programas de pago de incentivos, para actividades de alto riesgo.

A pesar que todas éstas técnicas aún se practican, la mayoría de las ideas acerca del manejo del riesgo social, tienen sus raíces en cuatro estrategias básicas o mecanismos de control:

- a) Seguros
- b) Leyes (comunitarias)
- c) Intervención gubernamental
- d) Autorregulación del sector privado

a) Seguros

Es una de las estrategias más viejas para hacer frente a los riesgos. Sus orígenes, se encuentran en los intentos de ajustar las tasas de interés, que surgieron primero en Mesopotamia, en donde hay registros al respecto del año 3000 A.C.

Parece que la práctica se originó cuando agricultores prósperos prestaban una parte de su producción, a cambio. Al principio, los préstamos se regresaban en especie con un cargo de interés, después por cebada y luego por plata. Rápidamente, surgieron diferencias en las tasas de interés, que variaban de cero entre amigos, hasta 33% para préstamos agrícolas más riesgosos.

Como las tasas de interés reflejaban el riesgo percibido del préstamo, estas representaron los primeros intentos para cuantificar y manejar el riesgo.

La conexión entre las tasas de interés y los seguros, se encuentra en la antigua Babilonia centro natural de comercio en el período pre-Grecia.

Debido a muchos problemas de riesgos que enfrentaba el comercio, este declinó hasta que surgió el seguro como una técnica más efectiva para manejar los riesgos.

Los Romanos instituyeron una forma rudimentaria de seguro de vida y salud en la forma de colegio.

Los seguros casi desaparecieron con la caída del imperio Romano, hasta que después del año 1000 D.C., reapareció el seguro marino y posteriormente otros. En 1688 se estableció el Lloyd's en Londres, surgiendo como un núcleo de mercado de seguros marinos global, que después se extendió a otras áreas de Seguros.

A partir del siglo XVII floreció la industria del seguro en Inglaterra, Francia y Holanda, este desarrollo parece simbolizar el debate moderno, sobre si es aceptable poner un valor monetario a la pérdida de vidas humanas, p.e. para la iglesia los seguros de vida eran inmorales o al menos altamente sospechosos, por apostar a la vida humana.

El debate anterior ya terminó, pero ahora la discusión es el estatus moral del analista de costo beneficio, sobre los riesgos de la vida humana.

b) Leyes (comunitarias)

En el sistema legal inglés y de USA, las leyes comunitarias permiten a un ciudadano cobrar daños a otro, por perjuicios resultantes de acciones como:

- Molestias.- Uso de propiedades que irrazonablemente interfieren con el uso de otra propiedad.
- Descuido.- Conducta que irrazonablemente impone riesgos a otro.
- Actividades anormalmente peligrosas.

Las leyes comunitarias proveen dos funciones para el manejo de riesgos:

- Compensación
- Disuasión.

El origen de las leyes modernas de responsabilidad, puede encontrarse en el Código Hammurabi y en el Viejo Testamento que enfatizaban la noción de estricta responsabilidad, p. e., el concepto que el fabricante de un producto, es responsable de daños debidos a defectos por descuido o por falla.

Con el advenimiento de la revolución industrial, el principio de responsabilidad estricta declinó temporalmente, y la prueba de descuido u otra falla en defensa del acusado, se volvió un requerimiento esencial para reclamar daños en la mayoría de las áreas de leyes comunitarias. En 1850, la ley establecía que:

“El demandante debe estar preparado con evidencia, para mostrar que el acusado estaba en falla, pero si el daño era inevitable y la conducta del demandado estaba libre de culpa, el no es responsable”.

Solo fue hasta principios de este siglo (1916), cuando este nuevo y estrecho concepto de responsabilidad fue ampliado, estableciendo la regla que el fabricante tiene la responsabilidad de inspeccionar los productos por defectos.

c) Intervención gubernamental

c.1) Intervención Directa del Gobierno

Desde la antigüedad, las autoridades del gobierno han intervenido directamente para reducir, mitigar o controlar Riesgos

Una función del gobierno, ha sido la de proteger a los ciudadanos de peligros contra los cuales no puede protegerse el mismo, y de ahí:

- la policía
- los bomberos

- el ejercito
- la armada

c.2) Desastres Naturales

Virtualmente, todas las grandes civilizaciones antiguas han intervenido para mitigar los efectos de desastres.

Los registros históricos indican, que los gobiernos han intervenido para desarrollar y financiar sistemas para controlar inundaciones, incluyendo la construcción de presas, diques y canales.

Uno de los primeros registros históricos, es sobre el sistema que tenían los antiguos egipcios para almacenar los excedentes de sus cosechas, para combatir el hambre de los años cuando había escasez de cosechas, por inundaciones o sequías del río Nilo.

Adicionalmente, para intentar prevenir o controlar los desastres, los gobiernos han también respondido proporcionando alivio después de ocurridos los desastres:

c.3) Enfermedades Epidémicas

A través de la historia, se ha observado que los gobiernos han intentado mitigar los efectos de las enfermedades epidémicas; en muchos casos, la magnitud de los problemas ha sido catastrófica, p.e.

- La epidemia de la peste negra (plaga bubónica), mató más del 25% de la población de Europa (25 millones aprox.).

Por la falta de conocimiento de las causas de enfermedades tales como plagas y tifo, con frecuencia los gobiernos adoptan una de las más antiguas y directas estrategias para el control de enfermedades: cuarentenas y aislamiento.

El miedo de la lepra, ha causado a través de la historia, la adopción en gran escala de la práctica de aislar las zonas infectadas y limpiar o quemar sus ropas.

El miedo a la infección de las comunidades sanas, ha hecho que se adopten medidas estrictas, para evitar la entrada de bienes y personas de las comunidades infectadas.

En adición a las cuarentenas y a los esfuerzos de salud pública, el desarrollo de las vacunas en los siglos XVIII y XIX, tuvo un impacto grande en el problema; a pesar que los gobiernos solo jugaron un papel pequeño en este desarrollo, es interesante notar que las regulaciones al respecto, han sido emitidas por los gobiernos.

c.4) Contaminación

La contaminación del aire, agua y suelo ha sido reconocido como un problema, pero los esfuerzos para controlarla fueron muy esporádicos.

Desde los tiempos antiguos, la contaminación del aire (por polvo y humo del quemado de carbón y madera), ha sido un problema ubicuo en las áreas urbanas congestionadas.

El primer acto de intervención gubernamental ocurrió en el año de 1285, cuando el Rey Eduardo I de Inglaterra, respondió a las peticiones de la nobleza y otras preocupaciones, por el humo de carbón en Londres, estableciendo una comisión que estudiara el problema; en 1298, los herreros decidieron voluntariamente no quemar carbón durante la noche. Este esfuerzo no fue suficiente y en 1307 emitió una proclama real, prohibiendo el uso de carbón en hornos.

La historia del control de la contaminación del agua y suelo, también fue esporádica. Hace tres mil años, los gobiernos de Minoa y Creta construyeron sistemas de drenaje de alcantarillado comunitario, y algunos ciudadanos se beneficiaron con ello.

Atenas y otras ciudades griegas, también construyeron sistemas de alcantarillado y decretaron leyes, requiriendo que la materia de desecho se lleve una cierta distancia fuera de las paredes, antes de ser tirado.

Los antiguos romanos, tienen el crédito del desarrollo del sistema sanitario mas extenso, consistente en calles pavimentadas, cunetas y un complejo de túneles y acueductos. También decretaron leyes estrictas para controlar las malas obras y la disposición de productos de desecho.

Después de la caída del imperio romano, muchas de éstas leyes fueron olvidadas y sus estructuras deterioradas y destruidas.

El interés para controlar la contaminación resurgió en los siglos XIV y XV, cuando en respuesta a la expansión de las enfermedades contagiosas, en Europa se creo un sistema rudimentario de control de contaminación y sanidad, que incluía:

- El desarrollo de suministro de agua pura
- Disposición de la basura y drenajes
- Estaciones de observación
- Hospitales
- Procedimientos de desinfección
- Inspección de alimentos

Estos esfuerzos públicos por la salud, fueron muy poco efectivos y hubo muy poco cambio hasta el siglo XIX. Un factor que contribuyó a los cambios en el siglo XIX, fueron un número informes patrocinados por los gobiernos, documentando las pésimas condiciones de las ciudades Europeas y EUA. También se crearon organizaciones, para hacer investigaciones sanitarias e inquirir con respecto a la gente sobre:

- Las causas de enfermedades, especialmente las epidémicas
- Las fuentes de mortalidad
- Los efectos sobre la salud pública de las localidades, empleos, condiciones y circunstancias
- Compartir información con respecto a estos asuntos, para difusión entre la gente.

Lo anterior llevó a un mejoramiento importante de las localidades sobre:

- Pavimentación de calles
- Recolección de basura
- Purificación de agua
- Distribución de agua
- Disposición de alcantarillados

c.5) Contaminación y Adulteración de Alimentos

Prácticamente, todas las sociedades se han preocupado por la seguridad acerca del suministro de alimentos, que es la sustancia básica para la vida.

La abominación bíblica del levítico, especialmente la prohibición de comer puerco, con frecuencia se cita como los primeros intentos de controlar la seguridad de los alimentos.

Aparte de la prohibición bíblica, la primera ley importante decretada para regular la calidad de la alimentación, fue la inglesa sobre el pan (English Assize of Bread en 1263), que hacía ilegal vender cualquier alimento "nocivo para el cuerpo del hombre". Este estatuto es prácticamente igual a las normas actuales, que prohíben aditivos que "puedan hacer los alimentos perjudiciales a la salud".

c.6) Códigos sobre Edificios e Incendios

El primer registro que se tiene sobre los intentos de manejar los riesgos en edificios, a través de la regulación gubernamental, es quizá el Código de Hammurabi (1950 A.C. aproximadamente), que decretaba que si una casa se colapsaba y mataba a los ocupantes, el constructor de la casa debía perder su propia vida. Los romanos, aunque no tan estrictos, también decretaron leyes para regular la calidad de la construcción de edificios.

Además de los riesgos de construcción, prácticamente todas las sociedades han estado preocupadas con los riesgos de incendios, sin embargo, a pesar de esta preocupación, parece ser que un esfuerzo concertado del gobierno, para tratar con el problema no ocurrió hasta el siglo XVII.

El evento de mayor significancia en estimular a las autoridades gubernamentales a actuar, fue el gran incendio de Londres en 1666, que destruyó más de las tres cuartas partes de los edificios de la ciudad.

Como resultado del desastroso incendio anterior, en todas las grandes ciudades de Europa y América, se establecieron compañías extinguidoras de incendios durante los siguientes cien años.

c.7) Accidentes de Transportación

La regulación de los sistemas de transportación, con relación a la seguridad, prácticamente data de las tecnologías mecanizadas de transportación moderna.

No obstante lo anterior, se tienen antecedentes sobre las regulaciones de seguridad de tráfico, al menos desde la antigua Roma, en donde una ley municipal, durante Julio Cesar, prohibía a todos los vehículos con ruedas operar en Roma, entre la salida del sol y dos horas antes de la puesta del sol, excepto para el servicio público esencial; ésta ley era en beneficio de los peatones, para quienes la combinación de calles estrechas y tráfico pesado era un riesgo genuino.

El carácter altamente regulado del sistema de transportación moderno, fue para responder a los primeros desarrollos tecnológicos.

La primera regulación sobre un Riesgo tecnológico, ocurrió en EUA en 1838 en la legislación de las calderas, que gobernaban su:

- Prueba
- Inspección
- Responsabilidad

Esta legislación, fue decretada en respuesta a una serie de explosiones de Calderas de barcos de vapor (de ríos), que produjo miles de lesiones y muertes al principio del siglo XIX. Esta legislación fue demasiado laxa para producir una reducción efectiva del Riesgo, por lo que fue reemplazada por una legislación mas estricta en 1858. En esta ley se:

- Especificaban criterios de ingeniería de seguridad.
- Daba autoridad a los inspectores para examinar los buques y rechazar licencias.
- Creaba una agencia reguladora (The Board of Directors of Inspectors).

Hasta la última parte del siglo XIX, el buque de vapor fue la tecnología de transportación dominante, cuando fue reemplazada por el FF.CC.; las discusiones sobre los riesgos de esta última tecnología de transportación, claramente refleja los amplios valores sociales.

Al principio del siglo XX las discusiones acerca del automóvil, también reflejaron la amplia preocupación social asociada con éste riesgo.

Tanto para el FF.CC., como el automóvil y después los aviones, el riesgo sustancial intrínseco asociado con este modo de transportación, llevó rápidamente al desarrollo de un esquema de regulación, que siendo mucho mas estricto hoy que en las primeras versiones, en esencia no es diferente en sus conceptos.

c.8) Daños Ocupacionales

Antes de los siglos XVIII y XIX, la salud y seguridad ocupacional fueron de muy poca preocupación de las autoridades gubernamentales.

A pesar que las condiciones de trabajo en lo general fueron detestables, no fue sino hasta la Revolución Industrial cuando los gobiernos intervinieron; la mayoría de los primeros esfuerzos de las autoridades, fueron enfocadas a las condiciones de trabajo de los niños. En 1842 se estimaba, que una tercera parte de los trabajadores de las minas en Inglaterra tenían menos de 13 años.

La mayoría de los esfuerzos de reforma tuvieron al inicio fuerte resistencia por los propietarios de fábricas y minas, aunque hubo algunas notables excepciones.

Simultáneamente con los mejoramientos en las condiciones de trabajo, también hubo cambios significativos en la forma como la sociedad trataba los accidentes relacionados con el trabajo y las enfermedades ocupacionales; al final del siglo XIX y principios del XX, se decretaron estatutos y leyes para compensación de trabajadores.

Bajo estas leyes, los requerimientos para demostrar negligencia o falla de los empleados, fueron repudiados para la mayoría de los daños ocupacionales y un empleado tenía derecho a compensación en base a un porcentaje de salarios perdidos.

d) Auto-regulación del sector privado

La auto-regulación privada voluntaria, dirigida a prevenir o reducir los efectos potenciales adversos a la salud, siempre ha tenido una parte importante en los esfuerzos de la sociedad para manejar el riesgo.

En prácticamente todas las sociedades, ha habido fuertes incentivos para el sector privado de abstenerse de acciones, que podrían descuidadamente comprometer la salud del público.

Dichos incentivos, van desde normas y valores morales y altruistas, al simple interés basado en miedo a:

- Pérdidas monetarias
- Posible litigación civil o criminal
- Acciones gubernamentales punitivas o restrictivas

Las actividades privadas de manejo de riesgo, son menos obvias públicamente que otras estrategias de manejo de riesgo; las dos formas más visibles de esta estrategia son:

- Auto-regulación industrial
- Certificación y licenciamiento

Ambos tipos de auto-regulación voluntaria, tienen algunos antecedentes históricos antes del final del siglo XIX y principios del siglo XX.

d.1) Auto-regulación Industrial

La confianza en los estándares privados desarrollados, esta difundida a nivel local y en áreas como seguridad contra incendios y provisiones de servicios eléctricos, edificios, calderas, plomería y similares.

Tal confianza, es una necesidad dadas las características técnicas limitadas y recursos financieros disponibles, a niveles locales de gobierno. Hay dos condiciones esenciales, para el uso exitoso de este tipo de estrategia en el manejo del riesgo:

- Los riesgos y tecnologías involucradas deben ser bien comprendidas.
- La responsabilidad potencial debe ser suficientemente significativa, para forzar un método industrial responsable a la reducción del riesgo.

Los mecanismos más importantes para la auto-regulación industrial son:

- Organizaciones de elaboración de estándares o normas
- Sociedades técnicas y profesionales
- Sociedades industriales y comerciales
- Laboratorios de pruebas.

Estas organizaciones, establecen normas basadas en consensos que cubren una amplia variedad de:

- Productos-
- Materiales
- Sistemas
- Servicios
- Procesos
- Prácticas

En su mayor parte, las organizaciones fueron fundadas a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, por el reconocimiento creciente de los peligros asociados con el incremento de la industrialización; estas organizaciones elaboradoras de estándares incluyen:

- ASME, fundada en 1880
- UL, fundada en 1894
- NFPA, fundada en 1896
- ASTM, fundada en 1898
- ANSI, fundada en 1918

d.2) Certificación y Licenciamiento

Antes del inicio de este siglo, la Certificación y Licenciamiento se usó poco como una forma de manejo de riesgo, aún en áreas fuertemente reguladas y riesgosas como la medicina.

El sistema de licenciamiento que se ha desenvuelto, ha sido con frecuencia criticado como al servicio de auto-intereses económicos (p.e. para excluir a la competencia), tanto como proteger la salud y seguridad pública.

1.5 Cambios importantes entre el pasado y el presente

Las formas contemporáneas de pensamiento y de lucha contra los riesgos, son diferentes en muchos aspectos de los primeros tiempos.

En este siglo, y en especial en las últimas décadas han tenido lugar cambios mayores en:

- La naturaleza de los riesgos que enfrenta la sociedad.
- El contexto político y social del análisis de riesgos.
- Los esfuerzos de manejo de riesgos.

Los cambios mas importantes entre el pasado y el presente para el análisis y manejo de riesgos son los siguientes:

1.5.1 Cambio en la Naturaleza de los Riesgos.

En 1900, las principales causas de muerte eran enfermedades infecciosas como neumonía, gripes y tuberculosis.

En 1940 las enfermedades infecciosas fueron desplazadas por dos enfermedades de adultos: males del corazón y cáncer.

Ha habido un cambio sustancial en la clasificación de accidentes como causa de muerte, y un cambio en los tipos de accidentes a los cuales las personas están sujetas.

Los peligros naturales aún causan daño sustancial a la propiedad, pero en las naciones industrializadas, dichos eventos solo significan un pequeño número de muertes anuales. Mientras que estos tipos de accidentes han ido declinando en significancia, otros tipos se han incrementado.

En 1900 el número de accidentes automovilísticos era insignificante, sin embargo, en 1990 se cuentan por decenas de miles

1.5.2. Incremento en las expectativas promedio de vida

Los años promedio de vida se han incrementado en la siguiente forma:

- En los tiempos prehistóricos - 18 años
- Durante el Imperio Romano - 20 a 30 años
- En la edad media - 33 años
- En 1900 - 50 años
- En la actualidad - 75 años

Los factores que han llevado a este incremento son complejos, pero ciertamente incluyen un mejoramiento sustancial en:

- Nutrición
- Higiene
- Sanidad
- Condiciones de trabajo
- Educación
- Estándares de vida
- Servicios médicos

1.5.3 Incremento en nuevos Riesgos

Ha habido un incremento en nuevos riesgos, fundamentalmente diferentes tanto en carácter como en magnitud; estos incluyen:

- Guerra nuclear
- Accidentes de plantas nucleoelectricas
- Desechos radioactivos
- Exposición a químicos y pesticidas sintéticos
- Derrames de super tanques
- Accidentes de plantas químicas y de almacenamientos
- Accidentes de laboratorio de recombinación del DNA
- Depleción de la capa de ozono, debido a la emisión de fluorocarbono
- Lluvia ácida

La magnitud de muchos de éstos riesgos no puede estimarse fácilmente, debido a que los datos históricos o actuales no existen, o son extremadamente difíciles de recolectar; adicionalmente, la relación causa-efecto es con frecuencia altamente problemática en estos riesgos.

Probablemente la mayor importancia es que muchos de estos nuevos riesgos son:

- Latentes
- De largo plazo
- Involuntarios
- Irreversibles

Al menos algunos son concebidos globalmente catastróficos y la mayoría son derivados de la ciencia y la tecnología.

1.5.4 Incremento en la habilidad de los científicos para identificar y medir Riesgos

Estos mejoramientos incluyen grandes avances en:

- Pruebas de laboratorio, p.e. bioensayos en animales y pruebas "en vitro"
- Métodos epidemiológicos
- Modelación ambiental
- Simulación en computadora
- Ingeniería de evaluación de riesgos, p.e. árboles de fallas y eventos.

Debido a éstos avances, los científicos están ahora capacitados para detectar:

- Fallas de diseño en sistemas de ingeniería extremadamente complejos.
- Relaciones causales débiles entre riesgos y salidas mortales.
- Cantidades infinitesimales (p.e., partes por billón) de sustancias potencialmente cancerígenas o mutagénicas.

1.5.5 Incremento en el número de científicos y analistas cuyo trabajo está enfocado a Riesgos, a la salud, seguridad y ambiente

En los años recientes, los estudios de riesgos han surgido como una disciplina y profesión identificable, con sus propias sociedades, reuniones anuales, revistas y participantes.

Solo en la última década la literatura de estudios de riesgos ha crecido desde un pequeño número de artículos y libros hasta una formidable colección de material.

1.5.6 Incremento en el número de estudios cuantitativos de riesgos que se producen y usan

En el pasado, las decisiones para el manejo de riesgos estaban basadas primariamente en:

- Sentido común.
- Conocimiento original.
- Prueba y error.
- Conocimientos no científicos
- Creencias.

En años recientes, las decisiones para el manejo de riesgos, basándose en estudios cuantitativos de riesgos altamente técnicos, se han incrementado.

En contraste a las respuestas "ad hoc" a las crisis, en la actualidad han aumentado las preferencias de la sociedad por:

- La planeación
- Los pronósticos
- Alarmas tempranas

1.5.7 Incremento en el papel del Gobierno en la evaluación y manejo de Riesgos

Los mayores incrementos del papel del Gobierno en salud, seguridad y ambiente han sido en:

- El número de leyes.
- El número de oficinas para el manejo de riesgos.
- El número de casos de decisiones legales.

Ha pesar que se han hecho intentos para revertir ésta tendencia, varios factores han contribuido para su continuación, p.e.:

- El incremento en la conciencia nacional sobre la salud, seguridad y ambiental.
- Una declinación en el nivel de confianza del público en las negociaciones.
- El surgimiento de los movimientos de interés público.
- El crecimiento de una sociedad compleja, interdependiente y altamente tecnológica.

Otros factores adicionales que han llevado a la continuación de la regulación estatal, incluyen los siguientes:

- Un acelerado cambio tecnológico, que resulta en un enorme incremento en la escala física y temporal de riesgos complejos (p.e. hay aproximadamente 70,000 sustancias químicas en uso y unas 1,000 nuevas se introducen cada año).
- Un incremento en la rapidez de los desarrollos científicos y tecnológicos, de forma que hay un espacio mas corto de tiempo entre la experimentación científica, el desarrollo tecnológico y la producción.
- El incremento del papel del gobierno como un productor de riesgos, a través de sus patrocinos de investigación y desarrollos científicos y tecnológicos.

1.5.8 Incremento en la participación de los grupos de interés especial en el manejo social del Riesgo

Las actividades de manejo y análisis de riesgos se han tornado mas politizadas, con virtualmente cada decisión mayor sobre salud, seguridad y ambiental, sujeta a intenso cabildeo por grupos de interés representando a:

- La industria
- Obreros, trabajadores
- Ambientalistas
- Organizaciones científicas
- Otros grupos.

No solo ha habido un incremento sustancial en el número de estos grupos y sus miembros, sino también un aumento importante en su sofisticación científica y modos de operar; éstos cambios han contribuido por lo menos a otros dos:

- Se ha vuelto mas necesario, para los que toman decisiones gubernamentales, consultar a los representantes de dichos grupos y hacer del análisis de riesgo una información pública disponible.
- La natural animosidad a la mayoría de los debates de los riesgos contemporáneos, de las personas no especialistas en análisis técnico de riesgos y la amplia publicidad de los debates entre científicos, con frecuencia acalorados.

1.5.9 Incremento en el interés público, preocupación y demanda de protección

A pesar del incremento en las expectativas de vida promedio, la reducción en la frecuencia de eventos catastróficos y el aseguramiento de que la salud de la gente es ahora mejor, las investigaciones muestran que la gente cree que su vida se ha vuelto mas riesgosa.

Las investigaciones sugieren que, la correlación primaria de la preocupación pública, no son la mortalidad o insalubridad, sino características como:

- Efectos potencialmente catastróficos
- No comprensión y no familiares
- No voluntarios
- Incertidumbre científica
- Pérdida de control personal por los individuos expuestos
- Riesgos para futuras generaciones
- Beneficios no claros
- Distribución inequitativa de Riesgos y beneficios
- Efectos potencialmente irreversibles.

Los que poseen éstas características, son precisamente la mayoría de los Riesgos mas prominentes actuales, por ejemplo:

- Accidentes de plantas nucleoelectricas
- Desechos radioactivos
- Caída de aviones
- Exposición a químicos tóxicos
- Depleción del ozono
- Exposición a bajos niveles de radiación
- Recombinación del DNA
- Lluvia ácida

Algunos factores adicionales que contribuyen a la elevación de dicha preocupación pública, incluyen los siguientes:

- Mejor información pública
- Al parecer descubrimientos científicos semanales de Riesgos, previamente desconocidos.
- Avances en la tecnología de comunicación, que llevan a difundir e intensificar la cobertura de los problemas de Riesgos.
- Elevación de las expectativas acerca de la habilidad de la ciencia y tecnología para controlar los Riesgos.
- Pérdida de confianza en la mayoría de las instituciones que manejan Riesgos en la sociedad industrializada contemporánea, especialmente los negocios y el gobierno.

1.6 Proyecciones futuras

El hacer proyecciones acerca del futuro es siempre una empresa riesgosa, especialmente en una área tan compleja como el análisis y manejo de riesgos, sin embargo, una perspectiva histórica sugiere ciertas tendencias, que pueden razonablemente ser esperadas en un futuro próximo. Algo de lo que puede esperarse es que:

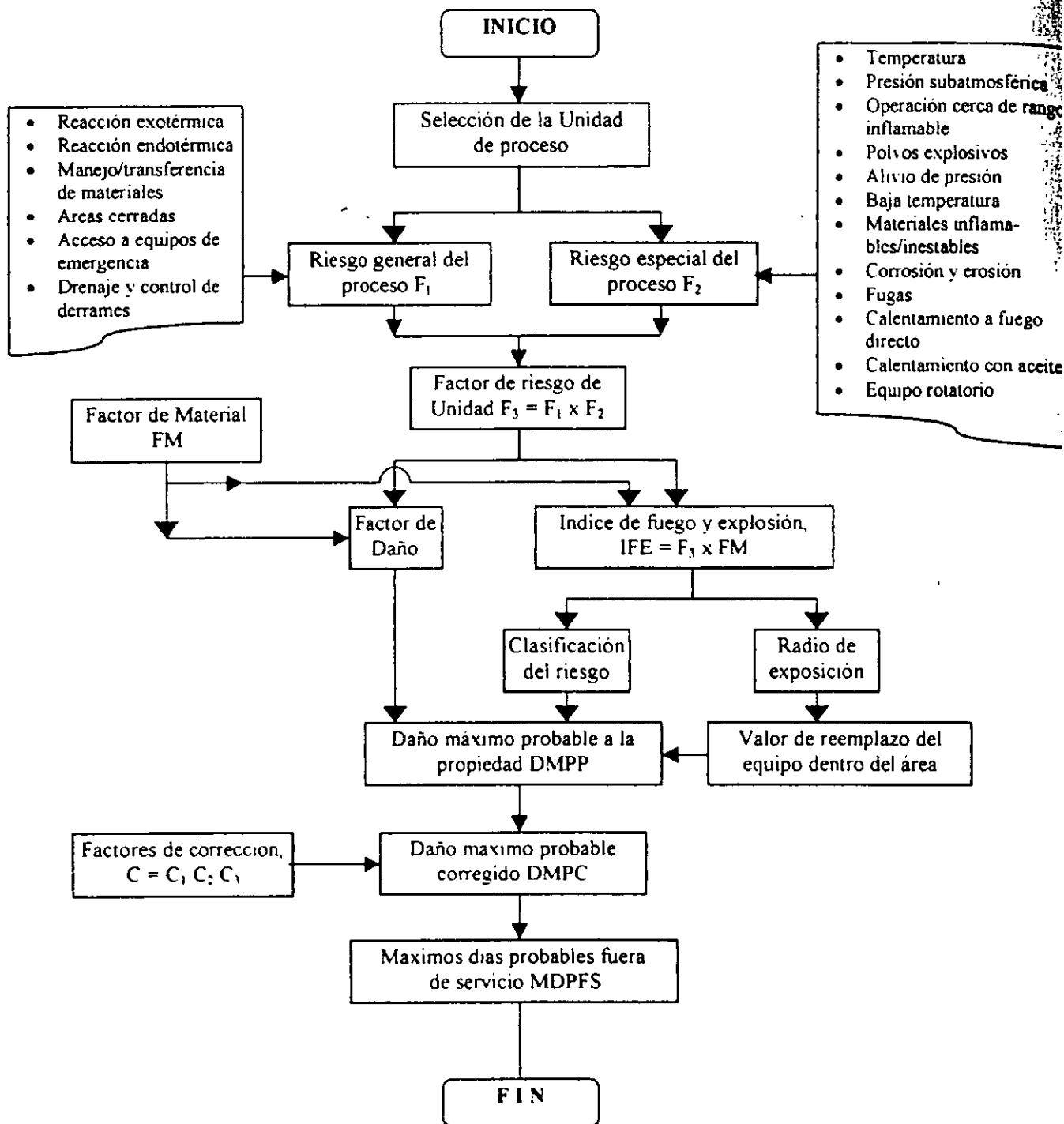
- Continuará incrementándose la preocupación pública acerca del riesgo, a pesar de la tendencia simultánea hacia una vida mas larga y saludable.
- Parte de lo anterior se debe a la naturaleza cambiante del riesgo que enfrenta la sociedad moderna, incluyendo el aumento en el número de "misteriosos" peligros tecnológicos que producen terror, por las consecuencias potencialmente catastróficas.

- El cambio mas profundo puede ser el aumento predominante de la idea que los daños, muertes y enfermedades, no son actos de dios que deben ser aceptados fatalísticamente, sino eventos evitables, sujetos a algún grado de control humano. En perspectiva, este cambio implica que algo puede ser hecho acerca de la mayoría de los riesgos.
- Paralelo a éste cambio está la implicación de que algo debe ser hecho, derivado en parte de las ideas cambiantes, acerca del derecho de los individuos a vivir sus vidas libre de riesgos impuestos por otros, y acerca del papel del gobierno de protegerlos de dichos riesgos.
- El mejoramiento de las capacidades científicas, técnicas y de ingeniería, deben llevar a un mejoramiento constante en la habilidad para controlar, reducir o eliminar los riesgos. Esto también se espera que lleve a un incremento continuo en el número de riesgos identificados. A corto plazo, el mejoramiento de la capacidad en el manejo de riesgos, será sobrepasado por el mejoramiento en la capacidad de identificación de riesgos. Esto no necesariamente llevará a sentir mayor comprensión o control de los riesgos.
- Aún de cara a las perspectivas de mejoramiento para una vida más larga y saludable, es muy posible que el mundo probabilístico y de incertidumbre creado por la ciencia y tecnología moderna, sea un lugar cada vez mas inconfortable y riesgoso.

Ya en la actualidad, el mejoramiento de la ciencia ha traído más preguntas que las que ha resuelto, sobre los posibles riesgos de nuevos y familiares objetos, sustancias y actividades.

2. INDICE DOW (DE FUEGO Y EXPLOSION)

2.1 Flujograma



2.2 Factor de material FM

Es una medida de la intensidad de energía liberada por la sustancia o compuesto; se consideran los riesgos de inflamabilidad y reactividad. Tiene un valor entre 1 y 40, que puede obtenerse de tablas o mediante cálculo.

2.3 Riesgos generales del proceso F₁

Condiciones que pueden incrementar la magnitud de un probable incidente y que incluyan:

- A. Reacciones exotérmicas (0.30 a 1.25)
- B. Reacciones endotérmicas (0.10 a 0.40)
- C. Manejo/transferencia de materiales (0.25 a 0.85)
- D. Áreas cerradas del proceso (0.30 a 90)
- E. Acceso a equipo de emergencia (0.20 a 0.35)
- F. Drenaje y control de derrames (0.25 a 0.50)

El valor de F₁ se calcula en la siguiente forma.

$$F_1 = 1 + (A + B + C + D + E + F)$$

2.4 Riesgos especiales del proceso F₂

Algunas características del proceso, pueden incrementar la magnitud de un probable incidente, entre las que se incluyen:

- A. Materiales tóxicos (0.20 a 0.80)
- B. Presión subatmosférica (0.50)
- C. Operación en o cerca del rango inflamable
 - Tanque de almacenamiento (0.50)
 - Falla de control o de purga (0.30)
 - Equipo en o cerca del rango inflamable (0.80)
- D. Polvos explosivos (0.25 a 2.00)
- E. Alivio de presión. Se obtiene de una gráfica, en función de el ajuste del dispositivo de alivio (0 a 1.0), modificado en función de las características del fluido
- F. Baja temperatura (0.20 a 0.30)
- G. Cantidad de material inflamable/inestable. Se obtiene por medio de gráficas, en función del calor total en Btu para líquidos y gases, y en función de la cantidad en libras para combustibles sólidos en almacenamiento:
 - Líquidos o gases en proceso
 - Líquidos o gases en almacenamiento
 - Sólidos almacenados

- H. Corrosión y erosión (0.10 a 0.75)
- I. Fugas en juntas y empaques (0.10 a 1.50)
- J. Equipo calentado a fuego directo. Se obtiene a partir de una gráfica, que está en función de la distancia de la fuente de fuga y la temperatura del proceso (0.10 a 1.0)
- K. Transferencia de calor con aceite (0.15 a 1.15)
- L. Equipo rotatorio (0.50)

El valor del factor de riesgos especiales del proceso F_2 , se calcula en la siguiente forma:

$$F_2 = 1 + (A + B + C + D + E + F + G + H + I + J + K + L)$$

2.5 Factor de riesgo de la unidad F_3

Es la medida de la magnitud del daño probable, debido a la exposición a la combinación de factores; tiene un valor entre 1 y 8, y se calcula en la siguiente forma:

$$F_3 = F_2 \times F_1$$

2.6 Factor de daño

Es una indicación de la magnitud del daño probable; se obtiene a partir de una gráfica que está en función del factor de riesgo de la unidad F_3 y del factor de material FM.

2.7 Índice de fuego y explosión IFE

Es la probabilidad de daño por fuego o explosión en una área de cierto radio; se calcula en la siguiente forma:

$$\text{IFE} = \text{FM} \times F_3$$

= Factor de material x Factor de riesgo de la unidad.

2.8 Clasificación del riesgo

Se efectúa de acuerdo con el IFE en la siguiente forma:

| IFE | CLASIFICACION DEL RIESGO |
|-----------------|--------------------------|
| 1 a 60 ---- | Ligero |
| 61 a 96 ---- | Moderado |
| 97 a 127 ---- | Intermedio |
| 128 a 158 ---- | Grave |
| más de 158 ---- | Severo |

2.9 Radio de afectación

Se obtiene a partir de una gráfica en función del valor obtenido del IFE.

2.10 Valor de reemplazo del equipo (dentro del área afectada)

Se obtiene de acuerdo con la siguiente ecuación:

Valor de reemplazo = Costo original x 0.82 x Factor de escalación

en donde:

0.82 = Factor de corrección por partes no sujetas a reemplazo como preparación del sitio, cimentación, ingeniería, líneas subterráneas, etc.

2.11 Daño máximo probable a la propiedad (DMPP)

Se obtiene en la siguiente forma:

DMPP = (Valor de reemplazo + valor de inventarios) x Factor de daño

en donde el valor de inventarios incluye productos, materiales y materia prima, considerando el 80% de la capacidad de tanques de almacenamiento, 70% de la capacidad de bodegas y la capacidad de diseño de los recipientes y líneas del proceso.

2.12 Factores de corrección por medidas de control ($C = C_1 \times C_2 \times C_3$)

Son medidas de seguridad que contribuyen a minimizar la exposición de una área, en donde pueda ocurrir un riesgo, o bien a reducir la probabilidad o magnitud del riesgo. Se dividen en los tres grupos siguientes:

2.12.1 Control del proceso (C_1)

- A. Energía de emergencia (0.98)
- B. Sistemas de enfriamiento (0.97 a 0.99)
- C. Control de explosiones (0.84 a 0.98)
- D. Paro de emergencia (0.96 a 0.99)
- E. Control computarizado (0.93 a 0.99)
- F. Gas inerte (0.94 a 0.96)
- G. Procedimientos de operación (0.91 a 0.99)
- H. Análisis de reactivos (0.85 a 0.96)

El factor de corrección por control del proceso C_1 se calcula en la siguiente forma:

$$C_1 = (A + B + C + D + E + F + G + H)$$

2.12.2 Aislamientos (C_2)

- A. Válvulas de control remoto (0.96 a 0.98)
- B. Descargas de emergencia (0.96 a 0.98)
- C. Drenajes (0.91 a 0.97)
- D. Bloqueos o interlock (0.96)

El factor de corrección por aislamientos C_2 , se calcula en la siguiente forma:

$$C_2 = (A + B + C + D)$$

2.12.3 Protección contra incendio C_3

- A. Detección de fugas (0.90 a 0.97)
- B. Acero estructural (0.92 a 0.97)
- C. Tanques recubiertos (0.75 a 0.85)
- D. Suministro de agua (0.90 a 0.95)
- E. Sistemas de extinción especiales (0.85)
- F. Sistemas de rociadores (0.95)
- G. Cortinas de agua (0.95 a 0.97)
- H. Espuma (0.87 a 0.98)
- I. Extinguidores portátiles (0.92 a 0.97)
- J. Protección de cables (0.90 a 0.96)

El factor de corrección por protección contra incendio C_3 se calcula en la siguiente forma:

$$C_3 = (A + B + C + D + E + F + G + H + I + J)$$

El factor de corrección total C por medidas de control se calcula en la siguiente forma:

$$C = C_1 \times C_2 \times C_3$$

2.13 Daño máximo probable corregido o real (DMPC)

Se calcula multiplicando el DMPP por un factor obtenido de una gráfica en función del factor de corrección C , es decir:

$$DMPC = DMPP \times \text{Factor (de gráfica en función de } C)$$

2.14 Máximos días probables fuera de servicio (MDPFS)

Es el tiempo que estará fuera de servicio la unidad por reparaciones y reemplazos. Se obtiene a partir de una gráfica que está en función del DMPC.

2.15 Interrupción de negocios IN

Es la consecuencia final y puede estimarse mediante la siguiente relación.

$$IN = \frac{MDPFS}{30} \times \text{valor del producto terminado} \times 0.70$$

2.16 Resultados

Los resultados del análisis se presentan en forma tabular como la mostrada a continuación.

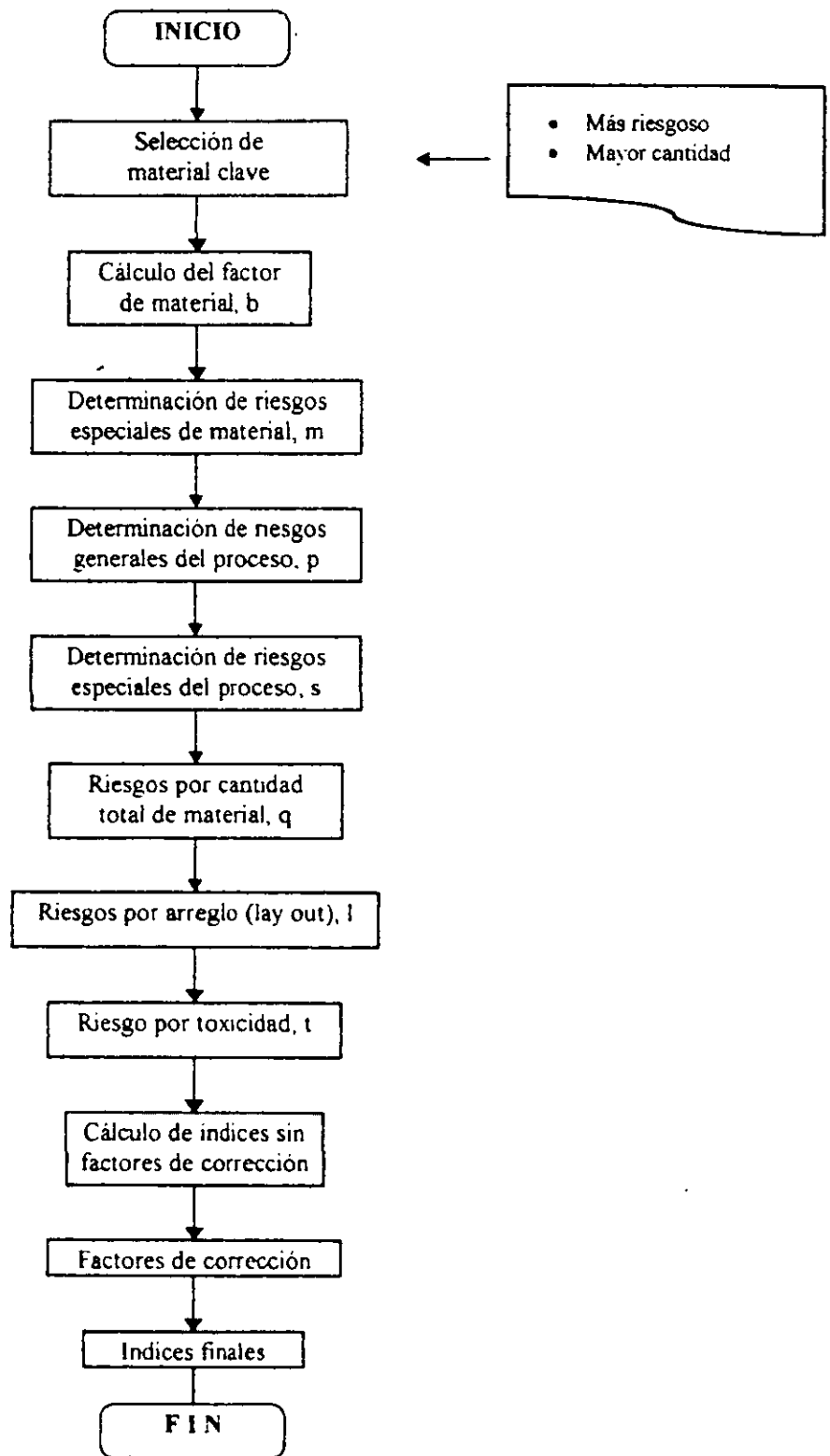
INDICE DOW DE FUEGO Y EXPLOSION

DOW Index (6th Edition) -DOW Chemical

| | | | |
|--|--|------------------|-----|
| AREA: | | UNIDAD: | |
| PROCESO: | | FECHA: | |
| MATERIALES: | | | |
| CATALIZADORES | | SOLVENTES. | |
| FACTOR MATERIAL | | | |
| MATERIAL CLAVE: | | FM (Original): | |
| Inflamabilidad. | | Reactividad. | |
| Temp >F.P (S/N): | | Temp >Extm(S/N): | |
| | | Temp.>A.I(S/N). | |
| | | FM (Ajustado). | |
| 1. RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (F1): | | | |
| Base del Factor | | | 1.0 |
| A) Reacción exotérmica (0.30 - 1.25) | | | |
| B) Reacción endotérmica (0.10 - 0.4) | | | |
| C) Manejo/transferecia de materiales (0.25 - 0.85) | | | |
| D) Areas cerradas de proceso (0.30 - 0.90) | | | |
| E) Acceso a equipo de emergencia (0.20 - 0.35) | | | |
| F) Drenaje y control de derrames (0.25 - 0.50) | | | |
| SUMA DE FACTORES POR R.G.P | | F1= | |
| 2. RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO (F2): | | | |
| Base del Factor | | | 1.0 |
| A) Materiales tóxicos (0.20 - 0.80) | | | |
| B) Presión subatmosférica (0.50) | | | |
| C) Operación cerca de rango inflamable | | | |
| - Tanques de almacenamiento (0.50) | | | |
| - Falla de control o de purga (0.30) | | | |
| - Equipo en/cerca de rango inflamable (0.80) | | | |
| D) Explosión de polvos (0.25 - 2.00) | | | |
| E) Alivio de presión | | | |
| F) Baja temperatura (0.20 - 0.30) | | | |
| G) Cantidad de materiales inflamables/inestables | | | |
| Líquidos o gases en proceso | | | |
| - Líquidos o gases en almacenamiento | | | |
| - Polvos o sólidos almacenados | | | |
| H) Corrosión y erosión (0.10 - 0.75) | | | |
| I) Fugas - Juntas y empaques (0.10 - 1.50) | | | |
| J) Calentadores a fuego directo | | | |
| K) Calentamiento por transf. de aceite (0.15 - 1.15) | | | |
| L) Equipo rotatorio (0.50) | | | |
| SUMA DE FACTORES POR R.E.P | | F2 = | |
| 3. FACTOR DE RIESGO DE LA UNIDAD: | | F3 = | |
| INDICE DE FUEGO Y EXPLOSION | | IFE = | |
| Radio de Exposición (ft) | | = | |
| Valor del área de exposición (\$MM dils). | | = | |
| Factor de daño | | = | |
| Daño Máximo Probable base (\$MM dils) | | = | \$ |
| Clasificación del Riesgo: | | | |

3. INDICE MOND (FUEGO, EXPLOSION Y TOXICIDAD)

3.1 Flujograma



3.2 Selección del material clave (más riesgoso y en mayor cantidad)

El material clave se selecciona de acuerdo al que representará el mayor riesgo de la unidad, según el grado de inflamabilidad o energía potencial explosiva junto con la cantidad, y debe estar presente en tal magnitud que sea peligroso. Si hay más de un material, se deben hacer cálculos separados basados en cada material y establecerse como final el más severo que represente los riesgos.

- a) Listado de materiales, reacciones, características termodinámicas y fisicoquímicas.
- b) Selección del material clave.

3.3 Cálculo del factor material de, "b"

Es una medida del fuego, explosión o energía potencial, liberada por el material clave, a una temperatura de 25°C a presión atmosférica (gaseoso, líquido o sólido).

- a) Material inflamable b
 $b = hc/1000$ (btu/lb)
- b) Material no inflamable o no combustible en transporte
 $b = \sqrt{hc} \cdot 1.8 / \text{peso molecular}$ (kcal/gmol)
- c) Material no combustible $b=0.1$
- d) Mezclas de materiales inflamables con diluyentes
- e) Sólidos y polvos combustibles
- f) Materiales de composición no especificada
- g) Combinación de materiales que pueden reaccionar
- h) Materiales que tienen potencial de explosión o descomposición de la fase condensada.

3.4 Determinación de riesgos especiales de material, "m" = suma de factores

Su propósito es tomar en cuenta las propiedades específicas del material o cuando se mezcle con otros materiales como catalizadores. Los factores de riesgo, se asignan en función de las circunstancias del uso del material y no se definen por las propiedades del material aislado.

- a) Material oxidante.
- b) Reacción con agua que produzca gases o vapores combustibles.
- c) Características de mezclado y dispersión = m .
 - Gases inflamables de baja densidad
 - Gases licuados inflamables
 - Líquidos criogénicos inflamables
 - Materiales viscosos
- d) Sujeto a calentamiento espontáneo.
- e) Sujeto a rápida polimerización espontánea.
- f) Sensibilidad a la ignición.

- g) Sujeto a descomposición explosiva.
- h) Sujeto a detonación en fase de gas.
- i) Propiedades de la fase condensada.
- j) Otros riesgos.

3.5 Determinación de riesgos generales de proceso, "p" = suma de factores

- a) Manejo y cambio físico solamente.
- b) Reacción única.
- c) Reacción única por etapas.
- d) Múltiples reacciones en un mismo equipo.
- e) Transferencia de material.
- f) Contenedores transportables.

3.6 Determinación de riesgos especiales de proceso, "s" = suma de factores

- a) Baja presión (<15 psi.).
- b) Alta presión = p.
- c) Baja temperatura - acero al carbón +10oc, -10oc.
 - acero al carbón -10oc
 - otros materiales.
- d) Alta temperatura - inflamabilidad
 - materiales de construcción.
- e) Corrosión y erosión.
- f) Fugas en juntas y empaques.
- g) Vibración, ciclos de carga, etc.
- h) Procesamiento o reacciones difíciles de controlar.
- i) Operación cerca o dentro de los límites de inflamabilidad.
- j) Proceso con riesgo de explosión mayor que el valor promedio de riesgo.
- k) Polvos o mezclas riesgosas.
- l) Oxidantes altamente fuertes.
- m) Sensibilidad del proceso a la ignición.
- n) Riesgos electrostáticos
temperatura de proceso $t = k$

3.7 Riesgos por cantidad de material total, "q"

Cantidad en toneladas = k

En toda unidad a estudiar, incluye tuberías, tanques y recipientes de proceso.

3.8 Riesgos por distribución de la unidad, "l" = suma de factores

Altura en m = h

Area normal de trabajo en m' = n

- a) Diseño de estructuras.
- b) Efecto domino.
- c) Bajo tierra.
- d) Drenaje superficial.
- e) Otros.

3.9 Riesgos por toxicidad, "t" = suma de factores

- a) TLV.
- b) Forma de material.
- c) Riesgo de exposición corta.
- d) Absorción por la piel.
- e) Factores físicos

3.10 Calculo de índices

- a) Índice general de riesgos.

$$d = b (1 + m/100) * (1 + s + q + 1/100 + t/400) * (1 + p/100)$$

d = factor material (riesgo material) (r.g. proceso) (r.e. proceso, cantidad, distribución y toxicidad).

- b) Carga de fuego.

$$f = b * k / n * 20\ 500 \text{ btu/ft}^2 = f. \text{material} * \text{ton material} / \text{área de trabajo}$$

- c) Índice de toxicidad.

$$u = t/100 * (1 + m + p + s/100) = \% \text{ r toxicidad,}$$

(r.material, g.proceso e.proceso)

- d) Índice de incidente mayor de toxicidad $c = q/u = r \text{ cant. Material, índice toxicidad.}$

- e) Índice de explosión $e = 1 + m + p + s/100 = r. \text{ material, g.proceso, e.proceso.}$

- f) Índice de explosión aérea.

$$a = b(1 + m/100) * (q * h * e) * t/300 * 1 + p/100$$

a = f, material, r.cant. mant., altura, índice explosión caract. mezclado, temperatura, presión alta.

- g) Índice total mond $r = d (1 + (f.u.e.a.)e 0.5/1000) = ig$

Riesgo corregido por carga de combustible, índice toxicidad, explosión y explosión aérea.

3.11 Factores de seguridad para corrección de índices.

3.11.1 Prevención de riesgos en almacenamiento, "k1" = producto de factores.

- a) Recipientes a presión.
- b) Tanques verticales de almacenamiento no sujetos a presión.
- c) Líneas de transferencia-tensión de diseño-juntas y empaques.
- d) Contenedores adicionales.
- e) Detección y respuesta a fugas y derrames.
- f) Desecho de material derramado.

3.11.2 Control de proceso, "k2" = producto de factores.

- a) Sistemas de alarmas.
- b) Suministro de energía de emergencia.
- c) Sistemas de enfriamiento de proceso.
- d) Sistemas de gas inerte.
- e) Actividades de estudio de riesgos.
- f) Sistemas de seguridad para paros.
- g) Control por computadora.
- h) Protección contra explosión o reacción incorrecta.

- i) Instrucciones de operación.
- j) Supervisión de planta.

3.11.3 Actitud de seguridad, "k3" = producto de factores.

- a) Involucramiento de la gerencia.
- b) Entrenamiento de seguridad.
- c) Procedimiento de seguridad y mantenimiento.

3.11.4 Protección contra incendios, "k4" = producto de factores.

- a) Recubrimiento a estructuras.
- b) Barreras resistentes a fuegos.
- c) Equipos de protección contra incendios.

3.11.5 Aislamiento de corte de material, "k5" = producto de factores.

- a) Sistemas de válvulas.
- b) Ventilación.

3.11.6 Combate de incendios, "k6" = producto de factores.

- a) Alarma de emergencia.
- b) Extinguidores.
- c) Red contra incendios.
- d) Espuma o inertización.
- e) Respuesta a la brigada.
- f) Cooperación con otras plantas.
- g) Extractores de humo.

3.12 Cálculo de índices finales:

- a) Carga de fuego $f_1 = f_1 k_1 k_4 k_5$ corregido por prevención en almacenamiento, protección contra incendios, aislamiento material.
- b) Índice de explosión $e_1 = e_1 k_2 k_3$ corregido por el control de proceso y actitud en seguridad.
- c) Índice de explosión aérea $a_1 = a k_1 k_5 k_6$ corregido por prevención en almacenamiento, aislamiento de material y combate de incendios.
- d) Índice global $r_1 = r k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 k_6$.

3.13 Indices de riesgos Mond

3.13.1 General de Riesgo

| FACTOR GENERAL DE RIESGO | | CATEGORIA |
|--------------------------|-------------|-----------------|
| 0 _____ | 20 _____ | SUAVE |
| 20 _____ | 100 _____ | BAJO |
| 100 _____ | 500 _____ | MODERADO |
| 500 _____ | 1100 _____ | ALTO, GRUPO (1) |
| 1100 _____ | 2500 _____ | ALTO, GRUPO (2) |
| 2500 _____ | 12500 _____ | MUY ALTO |
| 12500 _____ | 65000 _____ | EXTREMO |
| >65000 _____ | _____ | MUY EXTREMO |

3.13.2 Carga de Fuego

| CANTIDAD DE FUEGO (F) EN BTU/FT2 DEL AREA NORMAL DE TRABAJO | | CATEGORIA |
|---|----------------|-------------|
| 0 _____ | 50000 _____ | LIGERO |
| 50000 _____ | 100000 _____ | BAJO |
| 100000 _____ | 200000 _____ | MODERADO |
| 200000 _____ | 400000 _____ | ALTO |
| 400000 _____ | 1000000 _____ | MUY ALTO |
| 1000000 _____ | 2000000 _____ | INTENSO |
| 2000000 _____ | 5500000 _____ | EXTREMO |
| 5500000 _____ | 10000000 _____ | MUY EXTREMO |

3.13.3 Toxicidad de la Unidad

| INDICE UNITARIO DE TOXICIDAD | | CATEGORIA |
|------------------------------|----------|-----------|
| 0 _____ | 1 _____ | LIGERO |
| 1 _____ | 3 _____ | BAJO |
| 3 _____ | 6 _____ | MODERADO |
| 6 _____ | 10 _____ | ALTO |
| >10 _____ | _____ | MUY ALTO |

3.13.4 Toxicidad Mayor

| INDICE DEL MAXIMO INDICE TOXICO | | CATEGORIA |
|------------------------------------|-----------|-----------|
| 0 _____ | 20 _____ | LIGERO |
| 20 _____ | 50 _____ | BAJO |
| 50 _____ | 200 _____ | MODERADO |
| 200 _____ | 500 _____ | ALTO |
| > 500 _____ | _____ | MUY ALTO |

3.13.5 Indice de Explosión

**INDICE DE EXPLOSION
INTERNA DE LA SECCION**

CATEGORIA

| | | |
|-----------|-----------|----------|
| 0 _____ | 1 _____ | LIGERO |
| 1 _____ | 2.5 _____ | BAJO |
| 2.5 _____ | 4 _____ | MODERADO |
| 4 _____ | 6 _____ | ALTO |
| > 6 _____ | _____ | MUY ALTO |

3.13.6 Indice de Explosión Aérea

**INDICE DE EXPLOSION
AEREA**

CATEGORIA

| | | |
|-------------|-----------|----------|
| 0 _____ | 10 _____ | LIGERO |
| 10 _____ | 30 _____ | BAJO |
| 30 _____ | 100 _____ | MODERADO |
| 100 _____ | 500 _____ | ALTO |
| > 500 _____ | _____ | MUY ALTO |

INDICE TOTAL MOND

INDICE TOTAL MOND

GRADO DE RIESGO

| | | |
|------------|-----------|-----------------------------|
| 0 _____ | 20 _____ | SUAVE |
| 20 _____ | 40 _____ | LIGERO |
| 40 _____ | 60 _____ | MODERADO |
| 60 _____ | 75 _____ | MODERADAMENTE ALTO |
| 75 _____ | 90 _____ | ALTO |
| 90 _____ | 115 _____ | EXTREMO |
| 115 _____ | 150 _____ | MUY EXTREMO |
| 150 _____ | 200 _____ | POTENCIALMENTE CATASTROFICO |
| >200 _____ | _____ | MUY CATASTROFICO |

3.14 Resultados

Los resultados del análisis se presentan en forma tabular como la mostrada en la Tabla siguiente.

| INDICE MOND PARA FUEGO, EXPLOSION Y TOXICIDAD | | | HOJA 1 DE 2 | |
|--|--------|-------------------------------|--------------------------------------|----------------------|
| EMPRESA | PLANTA | SECCION DE PROCESO A ANALIZAR | FECHA | |
| MATERIALES EN LA SECCION DE PROCESO: | | | | |
| 1.- FACTOR MATERIAL (F.M). BASE PARA SELECCIÓN DEL FACTOR MATERIAL. | | | | |
| COMBUSTION | | DESCOMPOSICION | REACCION | PRESION DE EXPLOSION |
| Fórmula utilizada: | | Factor material (FM): | | |
| 2. RIESGOS ESPECIALES DEL MATERIAL (REM) | | VALOR | 5. RIESGOS POR CANTIDAD (RPC) | VALOR |
| A. MATERIAL OXIDANTE (10 A 20) | | | VOLUMEN INVOLUCRADO (m3) | |
| B. REACCION PELIGROSA CON AGUA (0 A 30) | | | PESO INVOLUCRADO (Tons.) | |
| C. MEZCLADO Y DISPERSION, 2C (-50 A 60) | | | FACTOR ASIGNADO (1 A 1000) | |
| D. COMBUSTION ESPONTANEA (30 A 250) | | | 6. RIESGOS POR ARREGLO (RPA) | |
| E. POLIMERIZACION ESPONTANEA (27 A 75) | | | ALTURA DE LA UNIDAD (m) | |
| F. SENSIBILIDAD A LA IGNICION (-75 A 150) | | | AREA DE TRABAJO (m2) | |
| G. DESCOMPOSICION EXPLOSIVA (125) | | | A. DISEÑO ESTRUCTURAL (0 A 200) | |
| H. DETONACION GASEOSA (150) | | | B. EFECTO DOMINO (0 A 250) | |
| L. FASE CONDENSADA (200 A 1500) | | | C. SUBTERRANEAS (0 A 150) | |
| J. OTRAS (0 A 150) | | | D. DRENAJE SUPERFICIAL 80 A 100) | |
| SUMA DE FACTORES REM | | | E. OTROS (0 A 250) | |
| 3. RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (RGP) | | VALOR | SUMA DE FACTORES RPA | |
| A. MANEJO Y CAMBIOS FISICOS (10 A 60) | | | 7. RIESGOS POR TOXICIDAD | VALOR |
| B. REACCION UNICA CONTINUA (25 A 50) | | | A. TLV (0 A 300) | |
| C. REACCION UNICA BATCH (10 A 60) | | | B. FORMA DEL MATERIAL (25 A 200) | |
| D. MULTIREACCIONES (10 A 75) | | | C. EXPOSICION CORTA (100 A 150) | |
| E. TRANSFERENCIA DE MATERIAL (0 A 75) | | | D. ABSORCION POR LA PIEL (0 A 300) | |
| F. CONTENEDORES PORTATILES (10 A 100) | | | E. FACTORES FISICOS (0 A 300) | |
| SUMA DE FACTORES RGP | | | SUMA DE FACTORES RPT | |
| 4. RIESGOS ESPECIALES DE PROCESO (REP) | | VALOR | 8. INDICES | VALOR |
| A. BAJA PRESION | | | GENERAL DE RIESGO | |
| B. ALTA PRESION (Pop = <input type="text"/> (0 a 150) | | | CARGA DE FUEGO | |
| C. BAJA TEMPERATURA | | | TOXICIDAD DE LA UNIDAD | |
| 1 A c. carbon (T>-10°C) (15) | | | TOXICIDAD MAYOR | |
| 2 A c. (carbón(T<-10°C) (50 A 100) | | | EXPLOSION | |
| 3 Otro material (0 a 100) | | | EXPLOSION AEREA | |
| D. ALTA TEMPERATURA | | | TOTAL | |
| 1 Inflamabilidad (0 a 40) | | | MOND | |
| 2. Materiales construcción (0 a 25) | | | | |
| (Top= <input type="text"/> 25.00 | | | | |
| E. CORROSION Y EROSION (0 A 150) | | | 9. FACTORES DE CORRECCION | |
| F. FUGAS EN JUNTAS Y EMPAQUES (0 A 60) | | | CONTROL DE CONTENEDORES (CEC) | VALOR |
| G. VIBRACION (0 A 50) | | | A. RECIPIENTES A PRESION | |
| H. CONTROL DIFICIL DE PROCESO (20 A 300) | | | B. TANQUES VERTICALES | |
| I. OPERACIÓN RANGO INFLAMABLE (0 A 150) | | | ATMOSFERICOS | |
| J. RIESGO DE EXPLOSION MAYOR (AL PROMEDIO 40 A 100) | | | C. TUBERIA | |
| K. POLVOS O NIEBLAS RIESGOSAS (30 A 70) | | | 1. Diseño por tensión | |
| L. OXIDANTES MUY FUERTES (0 A 300) | | | 2. Juntas y empaques | |
| M. SENSIBILIDAD A LA IGNICION (0 A 75) | | 49 | D. CONTENEDORES ADICIONALES | |
| N. RIESGOS ELECTROSTATICOS (0 A 200) | | | E. DETECCIÓN Y RESPUESTA A FUGAS | |
| SUMA DE FACTORES REP | | | F. DESECHO DE MATERIAL FUGADO | |
| | | | PRODUCTO FACTORES CEC | |

| INDICE MOND PARA FUEGO, EXPLOSION Y TOXICIDAD | | | HOJA 2 DE 2 |
|---|--------------|---------------------------------------|-------------|
| EMPRESA | PLANTA | SECCION DE PROCESO A ANALIZAR | FECHA |
| | | | |
| CONTROL DE PROCESO (CDP) | VALOR | B. BARRERAS CONTRA INCENDIO | |
| A. SISTEMAS DE ALARMAS | | C. PROTECCION A EQUIPOS | |
| B. ENERGIA DE EMERGENCIA | | PRODUCTO DE FACTORES PCI | |
| C. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO | | AISLAMIENTO DE MATERIALES (ADM) | VALOR |
| D. SISTEMA DE GAS INERTE | | A. SISTEMAS DE VALVULAS | |
| E. ACTIVIDADES DE ANALISIS DE RIESGOS | | B. VENTILACION | |
| F. SISTEMAS DE PARO | | PRODUCTO DE FACTORES ADM | |
| G. CONTROL POR COMPUTADORA | | COMBATE DE INCENDIOS (CDI) | VALOR |
| H. PROTECCION CONTRA REACCION PELIGROSA O EXPLOSION | | A. ALARMA DE EMERGENCIA | |
| I. INSTRUCCIONES DE OPERACION | | B. EXTINGUIDORES PORTATILES | |
| J. SUPERVISION DE PLANTA | | C. SUMINISTRO DE AGUA CONTRA INCENDIO | |
| PRODUCTO DE FACTORES CDF | | D. SISTEMAS DE ROCIADORES | |
| ACTITUD DE SEGURIDAD (ADS) | VALOR | O MONITORES | |
| A. INVOLUCRAMIENTO DE LA GERENCIA | | E. ESPUMA Y GAS INERTE | |
| B. ENTRENAMIENTO DE SEGURIDAD | | F. BRIGADA | |
| C. PROCEDIMIENTO DE SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO | | G. APOYO EXTERNO Y/O INTERNO | |
| PRODUCTO DE FACTORES CDS | | H. VENTILACION DE HUMO | |
| PROTECCION CONTRA INCENDIO (PCT) | VALOR | PRODUCTO DE FACTORES CDF | |
| A. PROTECCION A ESTRUCTURAS | | | |
| 10. INDICES FINALES | VALOR | CATEGORIA | |
| CARGA DE FUEGO | | | |
| INDICE DE EXPLOSION | | | |
| INDICE DE EXPLOSION AEREA | | | |
| INDICE TOTAL MOND | | | |
| 11. RECOMENDACIONES | | | |

4. ANALISIS DE ARBOL DE FALLAS/EVENTOS (AAF)

4.1 Introducción

El proceso o método de análisis de árbol de fallas es una herramienta, muy útil para analizar:

- los modos de falla potenciales de partes o componentes de un sistema;
- los efectos de cada modo de falla en el sistema completo.

Los objetivos del método de análisis de árbol de fallas AAF, son los siguientes:

- Identificar las varias combinaciones posibles de eventos que llevan a un sólo evento indeseable;
- Representar las combinaciones anteriores gráficamente por medio de una estructura parecida a un árbol;
- Identificar la confiabilidad, áreas críticas de seguridad y puntos de falla simple para:
 - Mejoramiento o cambios de diseño
 - Revisión del diseño
 - Configurar el control
- Evaluar la magnitud del potencial de fallas, particularmente las que afectan la seguridad;
- Identificar y establecer prioridades, de todos los modos posibles de falla y condiciones peligrosas, de forma que puedan formularse e instituirse medidas correctivas efectivas;
- Determinar
 - La necesidad de redundancia
 - Diseño con falla segura
 - De-rateo posterior
 - Simplificación del diseño
 - Material y partes más confiables.

El método de análisis de árbol de fallas AAF, se inició en el año de 1961 en los Bell Telephone Laboratories, para evaluar y mejorar la confiabilidad del sistema de Control de Lanzamiento del misil minuteman, contribuyendo a eliminar varios puntos débiles de Proyecto. En los años posteriores la Boeing Company, desarrollo más y formalizó el método.

A partir del año de 1965, el método de AAF ha incrementado su uso, en numerosos sectores industriales como la aeronáutica, nuclear, química, etc., y es el método que se aplica con más frecuencia para analizar la confiabilidad, disponibilidad y seguridad de sistemas.

El método de AAF, capacita al analista a identificar las varias causas de un evento sencillo, claramente predefinido por la aplicación de un razonamiento deductivo, basado en un número de principios y reglas; las causas se representan por un árbol.

La combinación de eventos definidos por otros métodos de análisis, también pueden ser representados por la misma estructura parecida a un árbol.

El árbol de fallas, describe diagramáticamente la combinación de eventos que llevan a un sólo evento, el cual está hasta arriba del árbol de fallas y usualmente es un evento indeseable para el sistema estudiado.

El árbol de fallas, consiste de niveles sucesivos de eventos conectados en tal forma, que cada evento a un nivel dado sigue de eventos a un nivel justamente abajo, a través de varios operadores o compuertas lógicas. Por lo general estos eventos, son defectos relacionados con averías de equipos, errores humanos, defectos de software, etc., que resultan en el evento indeseable.

Este proceso deductivo se continua, hasta que se identifica el llamado "evento básico o primario"; por lo general éstos eventos son independientes uno de otro y se conoce su probabilidad de ocurrencia.

El árbol de fallas no es un modelo de todas las probables fallas que ocurran en el sistema; en realidad, es un modelo de la interacción lógica entre los eventos que llevan al evento indeseable.

El procedimiento de AAF, puede caracterizarse como un proceso interactivo documentado, de un carácter sistemático llevado a cabo para:

- identificar fallas básicas;
- determinar sus causas y efectos;
- establecer su probabilidad de ocurrencia.

El método del análisis de árbol de fallas involucra:

- la estructuración de un diagrama lógico altamente detallado, que describe las fallas básicas y las condiciones que pueden llevar a una avería del sistema y/o riesgo del usuario.
- uso de técnicas para analizar las fallas básicas, y determinar las probabilidades de modos de fallas.
- la formulación de sugerencias correctivas, que cuando se implantan pueden eliminar o minimizar las fallas consideradas críticas.

Los resultados del análisis de árbol de fallas incluyen:

- un diagrama lógico detallado, que describe todas las fallas básicas y las condiciones que pueden ocurrir y resultar en las condiciones peligrosas bajo estudio;
- una probabilidad de ocurrencia numérica de cada condición peligrosa bajo estudio;
- una matriz de fallas detallada con una tabulación de todas las fallas básicas, sus probabilidades de ocurrencia y criticidad, y los cambios sugeridos o medidas correctivas involucrando: diseño de circuitos, selección de componentes de partes, inspección, control de calidad, etc., que cuando se implementan, pueden eliminar o minimizar los efectos peligrosos de cada falla básica.

En la figura VI-1, se muestran las etapas en la aplicación del análisis de árbol de fallas.

4.2 Descripción del método y simbología

La descripción del método, se hace mediante el ejemplo de la Fig. VI-2.

En el sistema de la Fig. VI-2a, el evento indeseable es "la lámpara no enciende" cuando el push-button se presiona. Las causas obvias son:

- El push-button está atorado
- La batería se ha descargado
- El fusible está abierto
- El alambre no está enchufado
- La lámpara está fundida

Esto puede representarse por el árbol mostrado en la Fig. VI-2b, aquí, el evento indeseable está conectado a cinco eventos básicos indeseables por una compuerta lógica "o". Cualquiera de estos cinco eventos básicos evitan que se encienda la lámpara.

Otra de las compuertas usadas es la compuerta "y".

En resumen, el planteamiento de árbol de causas (fallas) sigue la secuencia que se muestra en la Fig. VI-2c

En la Fig VI-3 se muestran:

- Los símbolos utilizados en la construcción de árboles de fallas y sus respectivos significados.
- La representación de los diferentes tipos de fallas.

En la Tabla VI-1, se muestran las compuertas lógicas más utilizadas y en la Tabla VI-2 los símbolos de transferencia.

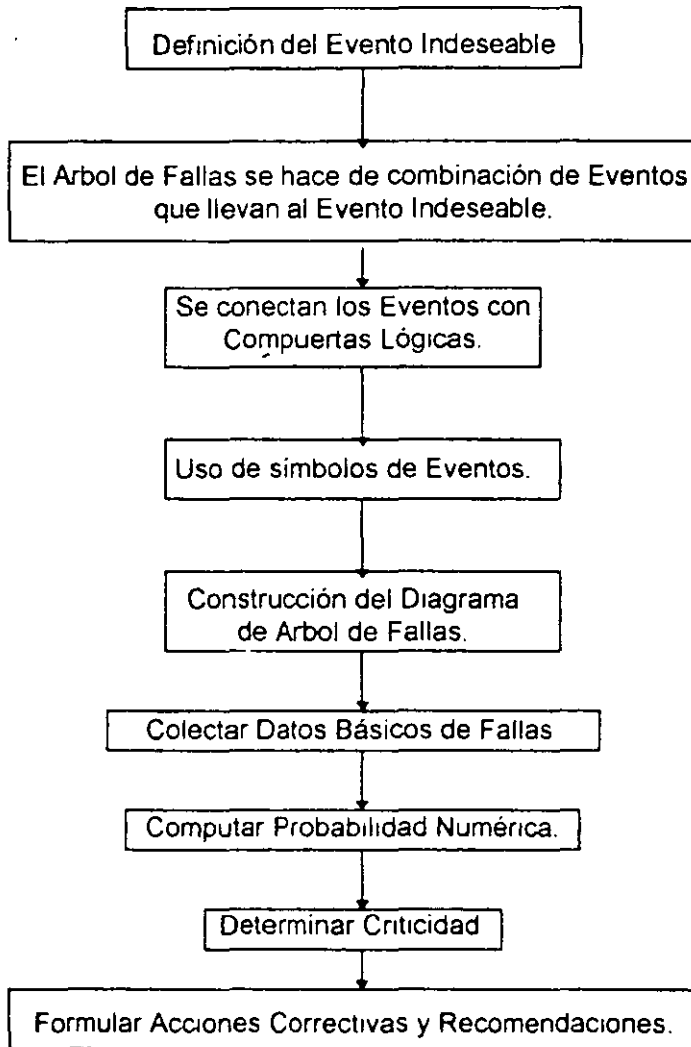
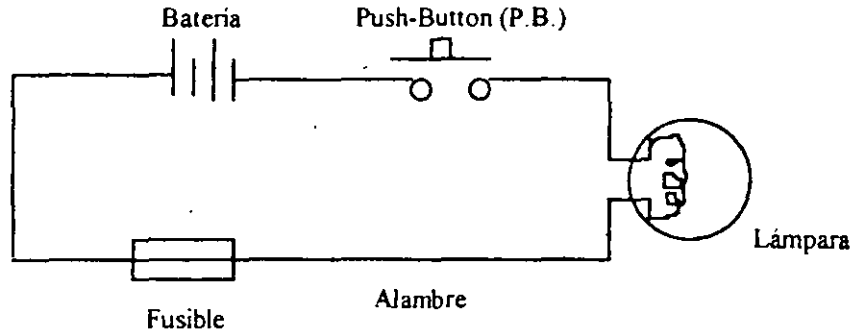
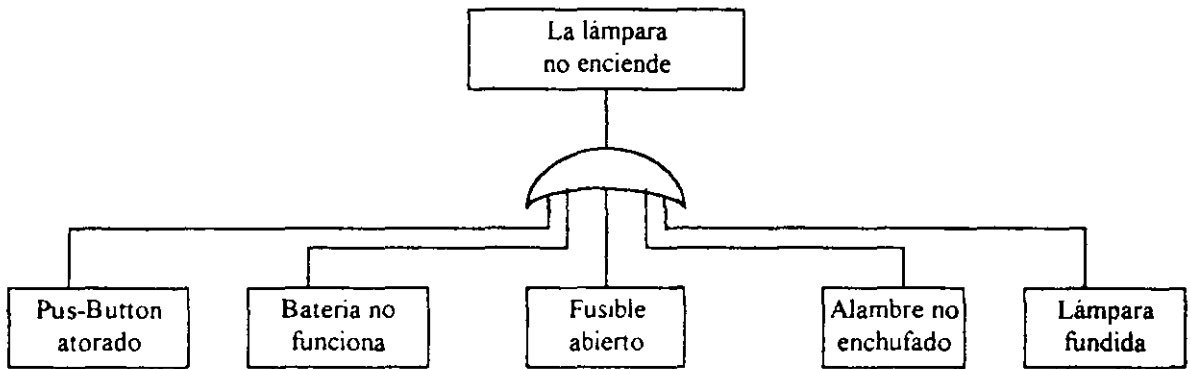


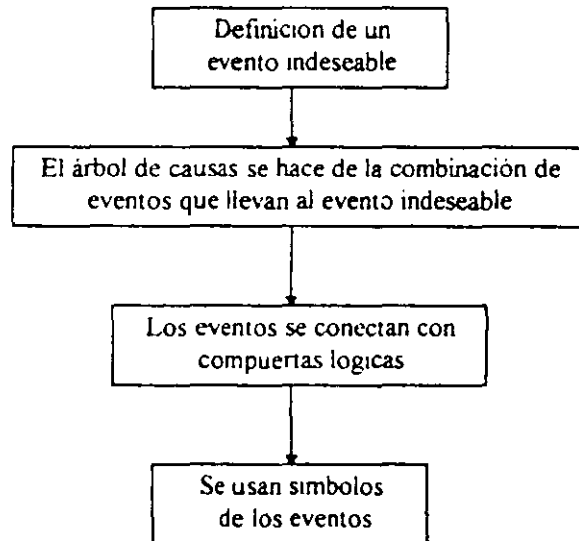
FIG. VI-1.- ETAPAS INVOLUCRADAS EN LA APLICACION DE ANALISIS DE ARBOL DE FALLAS.



a) SISTEMA PARA ENCENDER REMOTAMENTE UNA LAMPARA


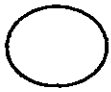



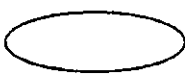


b) ARBOL DE CAUSAS



c) METODO DE ARBOL DE CAUSAS

FIG. VI-2.- EJEMPLO DE DESCRIPCION DEL METODO DE AAF

| SIMBOLO | NOMBRE DEL SIMBOLO | SIGNIFICADO DEL SIMBOLO |
|---|--------------------|---|
|  | Rectángulo | Representación de un evento (indeseable o intermedio), resultante de la combinación de otros eventos, vía compuerta lógica. |
|  | Círculo | Evento básico o primario, para el cual no se hace más subdivisión por no considerarse necesario. |
|  | Diamante | Evento sin desarrollar - Representación de un evento que podría ser subdividido en eventos básicos, pero que no está hecho por falta de información o utilidad. |
|  | Doble diamante | Evento cuyas causas se especificarán hasta después. |
|  | Casa | Evento básico, que ocurre normalmente mientras el sistema está operando. |
|  | Ovalo | Condicionamiento de un evento.- Representación de un evento condicional, usado con algunas compuertas lógicas. |

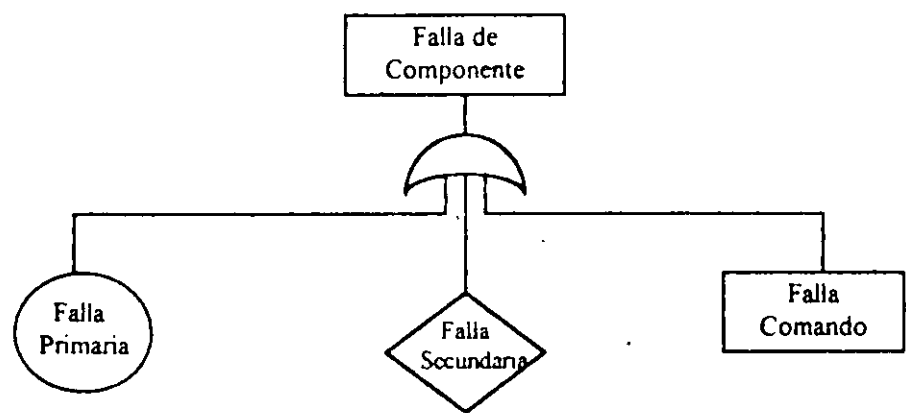


FIG. VI-3.- COMPONENTES DE ARBOL DE CAUSAS

TABLA VI-1.- COMPUERTAS LÓGICAS MÁS USADAS

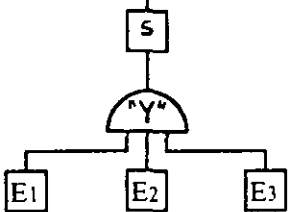
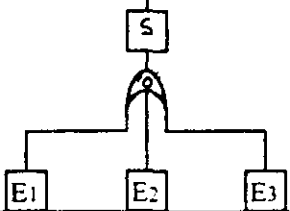
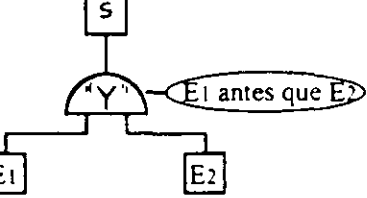
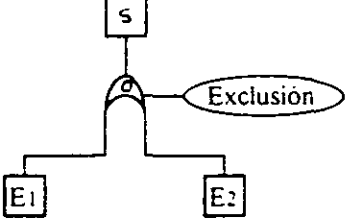
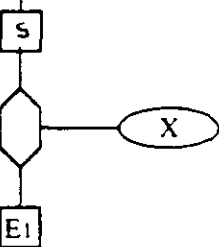
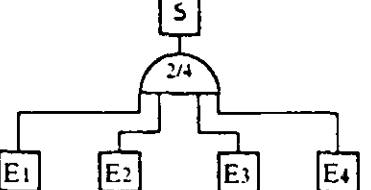
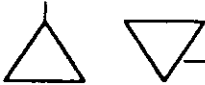


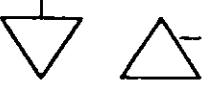


| SIMBOLO | NOMBRE DEL SIMBOLO | SIGNIFICADO DEL SIMBOLO |
|---|---|--|
|  | Compuerta "Y" | El evento de salida (s) de la compuerta "Y", ocurre si todos los eventos de entrada (E ₁ , E ₂ y E ₃) ocurren simultáneamente. |
|  | Compuerta "O" | El evento de salida (s) de la compuerta "O", ocurre si cualquiera de los eventos de entrada (E ₁ , E ₂ y E ₃) ocurre. |
|  | Compuerta "Y" con condición | El evento de salida (s), ocurre si todos los eventos de entrada (E ₁ y E ₂), ocurren simultáneamente y si se satisface la condición (E ₁ ocurre antes que E ₂). |
|  | Compuerta "o" con Condición | El evento de salida (s), ocurre si cualquiera de los eventos de entrada (E ₁ y E ₂) ocurren, y si se satisface la condición (E ₁ y E ₂ no deben ocurrir simultáneamente); esta compuerta también se conoce como compuerta EXCLUYENTE O. |
|  | Compuerta Si (IF) | El evento de salida (s) ocurre si el evento de entrada ocurre (E ₁) y S _i se satisface la condición X. |
|  | Compuerta de combinación m/n (aquí 2/4) | El evento de salida (s), ocurre si ocurren m de n eventos de entrada (aquí es suficiente que dos de los eventos E ₁ , E ₂ y E ₃ ó E ₄ ocurran). |

TABLA VI-2.- SIMBOLOS DE TRANSFERENCIA

| SIMBOLO | NOMBRE DEL SIMBOLO | SIGNIFICADO DEL SIMBOLO |
|---|-----------------------|---|
|  | Triángulos | <p>La parte del árbol de fallas que sigue al símbolo.</p>  <p>Se encuentra en el punto indicado por el símbolo.</p>  |
|  | Triángulos invertidos | <p>Una parte similar pero no idéntica a la cual sigue el símbolo.</p>  <p>se encuentra en el punto indicado por el símbolo.</p>  |

4.3 Revisión de Conceptos Básicos

Es muy importante revisar los conceptos fundamentales del método de AAF, que incluyen los siguientes:

- definición del evento indeseable;
- representación de compuertas lógicas;
- representación de eventos;
- definición de defectos, averías y fallas;
- clases de fallas;
- eventos básicos.

A continuación se hace una discusión de los anteriores conceptos fundamentales.

4.3.1 Eventos indeseables

El AAF se centra en un evento "indeseable" dado; este evento se vuelve el evento superior del árbol y el análisis se dirige a determinar todas sus causas.

Con frecuencia el evento indeseable es un evento catastrófico, sin embargo, puede ser una simple avería del sistema, que afecta la seguridad o la indisponibilidad de una planta.

Para hacer el análisis más fácil, el evento indeseable debe ser definido en forma precisa.

Si el evento indeseable es demasiado general, por ejemplo, la fundición del núcleo de un reactor nuclear o la caída de un avión, el análisis deja de ser factible debido a su excesivo enredo o complicación.

Por otra parte, si el evento indeseable es demasiado específico, el análisis puede fallar para identificar los elementos importantes del sistema.

De acuerdo con lo anterior, se recomienda hacer un análisis preliminar de riesgo para determinar el evento indeseable.

4.3.2 Representación de Compuertas Lógicas.

Los eventos se conectan con compuertas lógicas, de acuerdo con la relación falla-consecuencia; las compuertas lógicas más utilizadas son las que se muestran en la Figura VI-3, aunque existen otros símbolos para aplicaciones específicas.

4.3.3 Representación de Eventos.

Los símbolos utilizados para representar los eventos se muestran en la Figura VI-3, aunque existen otros llamados "símbolos de transferencia", que se utilizan para reducir el tamaño de los árboles de fallas y para evitar la duplicación de similares o idénticos sub-árboles.

4.3.4 Defectos, Averías y Fallas.

Las definiciones de estos conceptos son las siguientes:

Defecto: es cualquier desviación inaceptable de una característica, de los requerimientos de una entidad o elemento.

Avería: es la terminación de la habilidad de una entidad para realizar una función requerida.

Falla: es la inhabilidad de una entidad para realizar una función requerida.

Cualquier avería o falla produce un defecto, pero lo inverso no siempre es verdad; una falla o avería de un sistema o componente, resulta de una o varias fallas o averías de componentes del sistema o de partes de componentes.

El análisis de árbol de fallas está dirigido a identificar (empezando del evento indeseable), las fallas o averías de componentes, las cuales cuando se combinan llevan al evento indeseable.

En términos generales, puesto que las fallas son producidas por averías, lo importante es buscar las averías de componentes.

4.3.5 Clases de averías

Las averías pueden ser clasificadas, de acuerdo a sus causas, en las tres categorías siguientes:

- averías primarias;
- averías secundarias;
- averías gobernantes o conductoras. (comando)

En la Figura VI-3, se muestra el árbol de fallas de un componente; la clasificación anterior es muy útil cuando se construye un árbol de fallas.

4.3.6 Eventos Básicos

El análisis de eventos de fallas, se debe continuar hasta que se identifiquen los "eventos básicos", por lo tanto, estos eventos deben definirse con mucho cuidado, puesto que marcan los límites de los análisis.

El análisis de fallas de un evento indeseable, viene dentro del alcance de definición de un sistema y sus componentes, sus fronteras y su ambiente.

Los eventos básicos en un árbol de fallas son como siguen:

- el evento fundamental, -que no necesita ser más desarrollado (símbolo: un círculo); por lo general este evento está suficientemente bien descrito y conocido, de forma que es ocioso determinar sus causas, por ejemplo:
 - Avería primaria de un componente
 - Error humano primario
 - Indisponibilidad de un componente por mantenimiento preventivo.
- el evento no puede ser considerado fundamental, pero sus causas o fallas no pueden ni podrán ser desarrolladas (símbolo: diamante). En este caso, las fronteras del sistema estudiado se alcanzan cuando se identifica este evento.
- el evento no puede ser considerado como fundamental y sus causas todavía no pueden ser desarrolladas, aunque lo podrán ser posteriormente (símbolo: doble diamante). En este caso se considera alcanzada temporalmente una frontera en el estudio, y como de momento no se tienen datos adecuados, las causas de este evento se tienen que buscar posteriormente.
- el evento es uno que normalmente ocurre durante la operación del sistema (símbolo: casa). Este evento puede ser relacionado al ambiente del sistema.

Es muy importante definir hasta que nivel de detalle se debe refinar el análisis. Por ejemplo, en el caso de sistemas térmico hidráulicos, si se debe detener el análisis al nivel de bombas o válvulas o se debe continuar a partes de estos componentes, como varillas de control, cojinetes, roscas, etc.

A la fecha no se tiene respuesta sistemática a estas interrogantes; la elección del nivel de detalle del análisis, depende esencialmente de:

- los objetivos del estudio
- sistema de referencia
- conocimiento del analista de los componentes.

La elección del nivel de detalle del análisis se basa en los siguientes criterios:

- Etapa de desarrollo de diseño del sistema, y deseos de avanzar en los detalles;
- Estado de conocimientos de los componentes, en especial de sus modos de falla y efectos en el sistema. Cuando se usa un componente enteramente nuevo, puede requerirse un análisis detallado;
- Objetivos cualitativos y cuantitativos del estudio. En estos casos, los datos disponibles sobre dependabilidad, determinan el nivel de detalle del análisis.

En general, conforme avanza el estudio y se profundiza en el conocimiento del sistema estudiado, se puede avanzar a más detalles. Si el primer análisis tiene demasiados detalles, es probable empantanarse con la cantidad de fallas que deben tomarse en cuenta y por lo tanto se pierde la visión de lo que es esencial.

4.4 Reglas para la construcción del árbol de fallas

La técnica para construir árbol de fallas ha cambiado desde su inicio, considerándose mas bien un arte que un análisis, y es difícil de formalizar y aún explicar.

Conforme el método ha sido extensivamente aplicado, se han desarrollado gradualmente principios y reglas, sin embargo, hasta la fecha es difícil un algoritmo preciso y riguroso para construir un árbol de fallas, no obstante, a continuación se dan algunas guías para su análisis. En la Fig. VI-4 se tiene una representación diagramática de la construcción de un árbol de fallas.

4.4.1 Evento indeseable

Algunas veces este evento puede ser caracterizado de acuerdo a varias nociones del sistema, y por lo tanto, puede ser apropiado definir el evento indeseable con referencia a las varias etapas de operación del sistema, por ejemplo, con relación a la caída de carga de una grúa móvil; el árbol de fallas correspondiente al "accidente de caída en el manejo de carga" será diferente, dependiendo si el accidente ocurre durante la elevación, bajada, estado estático o traslación.

4.4.2 Identificación de la falla inmediata, necesaria y suficiente (INS)

Se debe buscar la falla inmediata, necesaria y suficiente (INS) del evento indeseable. La búsqueda debe ser etapa por etapa y en forma tan rigurosa como sea posible

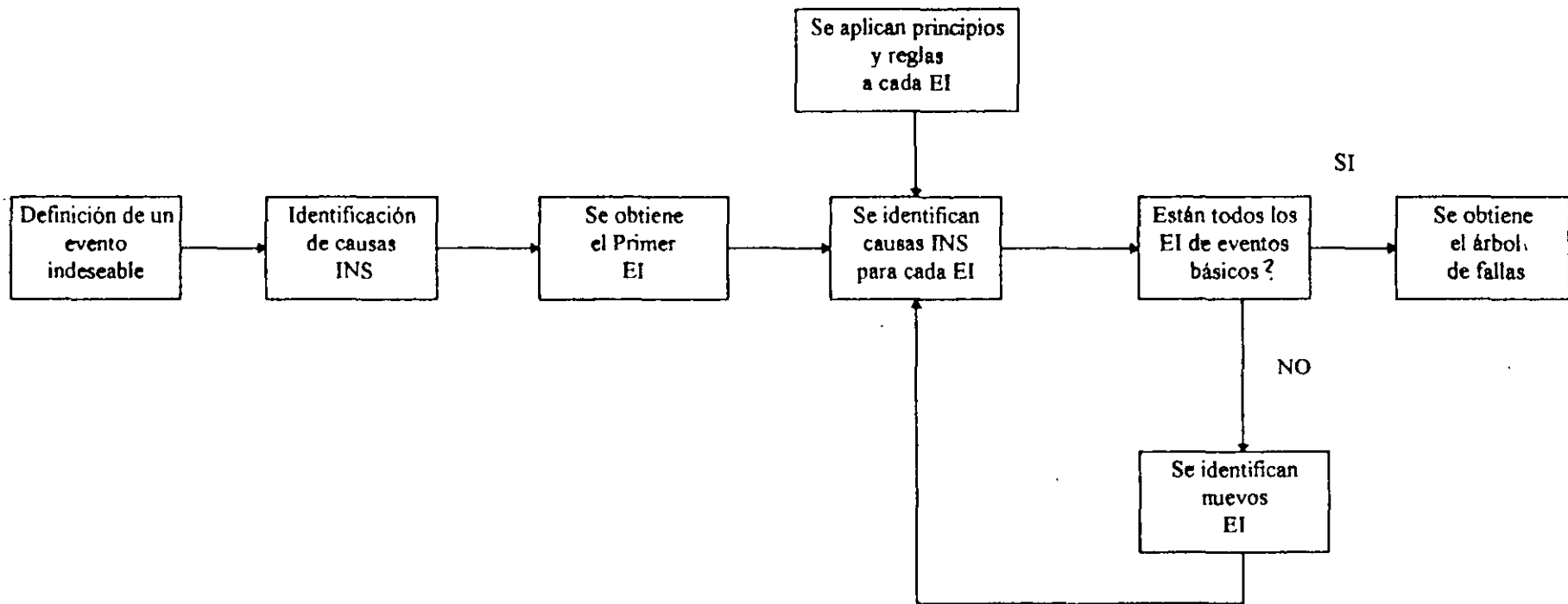


FIG. VI-4.- REPRESENTACION DIAGRAMATICA DE LA CONSTRUCCION DE UN ARBOL DE FALLAS

Para la realización de esta tarea, son muy útiles las consideraciones de los parámetros físicos y las leyes que gobiernan el comportamiento de componentes, subsistemas o sistemas.

4.4.3 Clasificación de eventos intermedios, EI (Fig. VI-5)

En la búsqueda de las fallas INS del evento indeseable, se encuentran los eventos intermedios EI; enseguida, estos eventos se clasifican dentro de tres principales claves:

- El EI, es un evento básico.
- El EI, es un defecto de componente: la avería asociada, puede dividirse en averías primaria, secundaria y de comando. En seguida el análisis procede de acuerdo con la parte, "análisis de defectos de componentes".
- El EI, es un defecto de sistema; este es una clase de evento que debe ser explicado posteriormente. Estos eventos, no son básicos y no pueden ser atribuidos a un componente dado; por lo general son debidos a más de un componente. La combinación de un evento básico y un defecto de componente, también pertenece a esta clase de eventos; la investigación de fallas INS, implica la definición de eventos conectados por operadores lógicos.

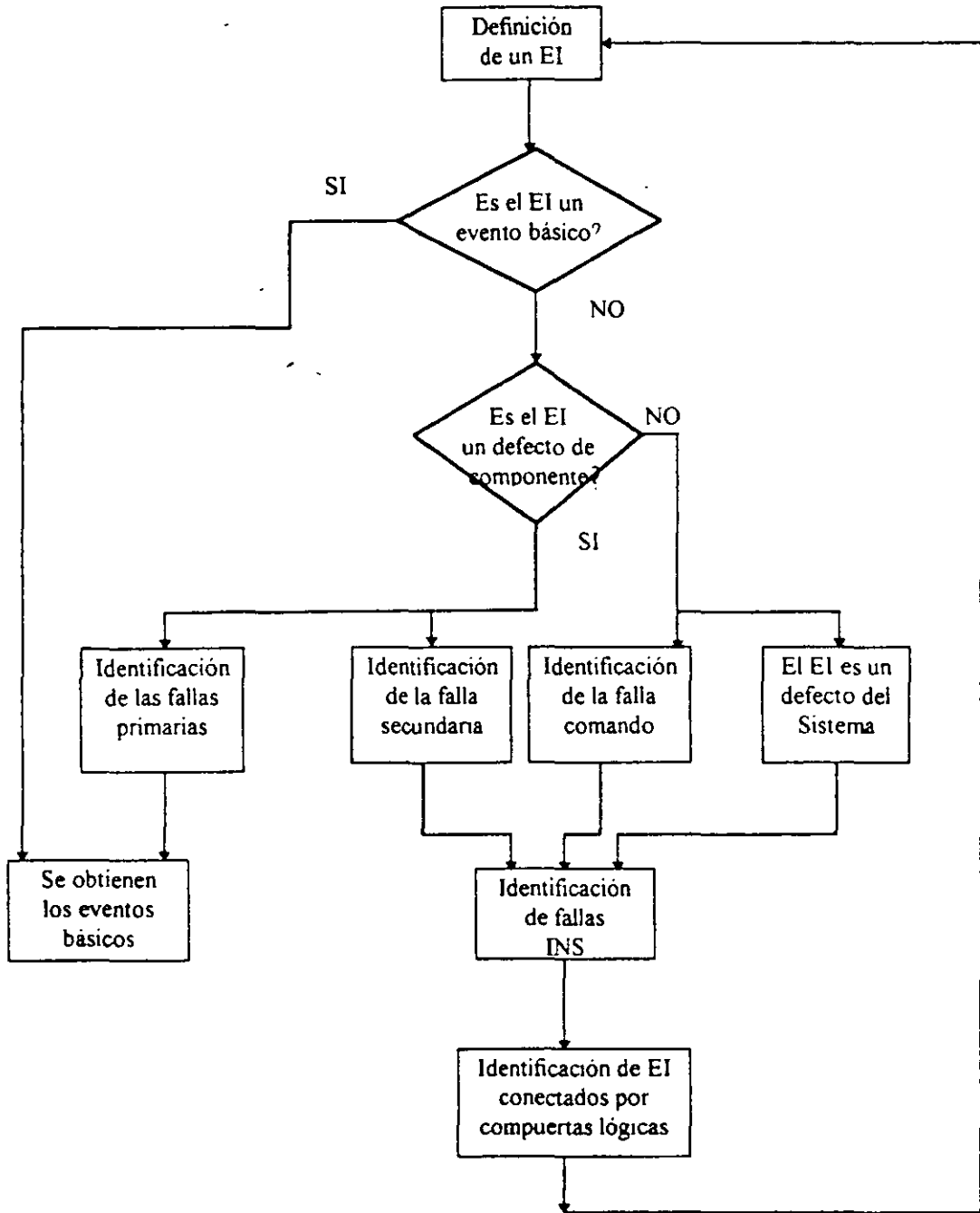


FIG. VI-5.- REPRESENTACION DIAGRAMATICA DE LOS ANALISIS DE CADA EVENTO INTERMEDIO (EI)

Ejemplo 1.- (búsqueda de causa INS)

En la Fig. VI-6, una señal de salida de la parte A, se convierte en señal de entrada de los componentes B y C; a su vez, estos componentes envían una señal al componente D, el cual envía su señal al componente E.

En este sistema hay una redundancia en B y C.

Se selecciona el evento indeseable, "no señal de entrada a E", y el analista debe proceder etapa por etapa, para identificar sus causas inmediatas; la causa inmediata del evento indeseable es, "no señal de salida de D".

El analista debe abstenerse de saltar a la conclusión que el evento, "no señal de entrada a E", es la causa inmediata de "no señal de entrada a E".

Ahora el analista debe identificar las causas inmediatas "no señal de salida de D"; hay dos posibilidades:

- "No señal de salida de D" a pesar de la existencia de señal de entrada a D (evento 1)
- "No señal de entrada a D" (evento 2)

Enseguida se buscan las causas inmediatas de estos dos eventos:

- Si el estudio para a nivel de componente, el evento 1 puede ser re-nombrado "falla de D", y ya no será posible analizarlo más y se considerará un evento básico. El analista tiene que seguir a la siguiente etapa y pasar por alto este evento.
- Las causas INS del evento 2 no son "no señal de salida de B y no señal de salida de C". Este evento es la intersección de dos eventos:
 - "no señal de salida de B"
 - "no señal de salida de C"

Estas causas deben ser necesarias y suficientes, p.e., el evento "no señal de salida de B" no es suficiente y las causas del evento "no señal de salida de B", "no señal de salida de C" y "no señal de salida de A", no todas son necesarias.

El analista continuará de acuerdo al mismo procedimiento, es decir, las causas INS deben buscarse etapa por etapa, con el mayor rigor y cuidado meticuloso, sobre todo no debe perder etapas.

En particular, con los defectos o combinación de defectos, que encontró durante el análisis preliminar, el analista no debe apresurarse a construir, inmediatamente bajo el evento indeseable, una compuerta lógica usando "O" o "Y".

Esta es la razón porque este concepto de "causa inmediata", se conoce algunas veces como la regla del "pequeño pensamiento".

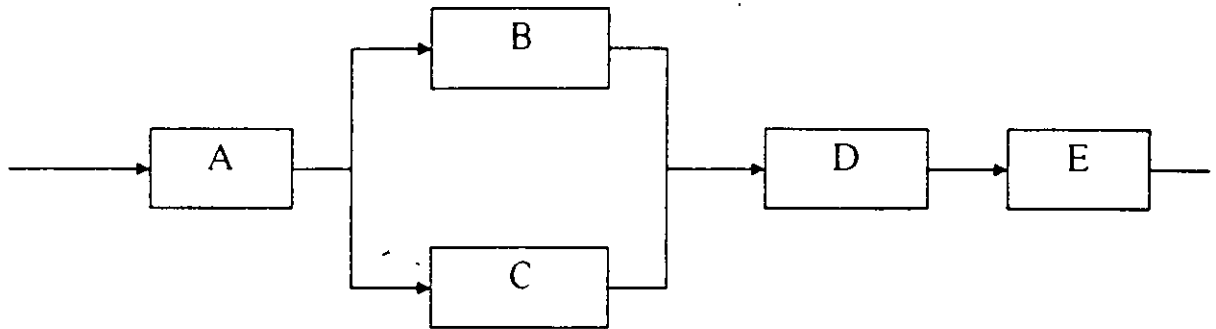


FIG. VI-6.- IDENTIFICACION DE FALLAS INS

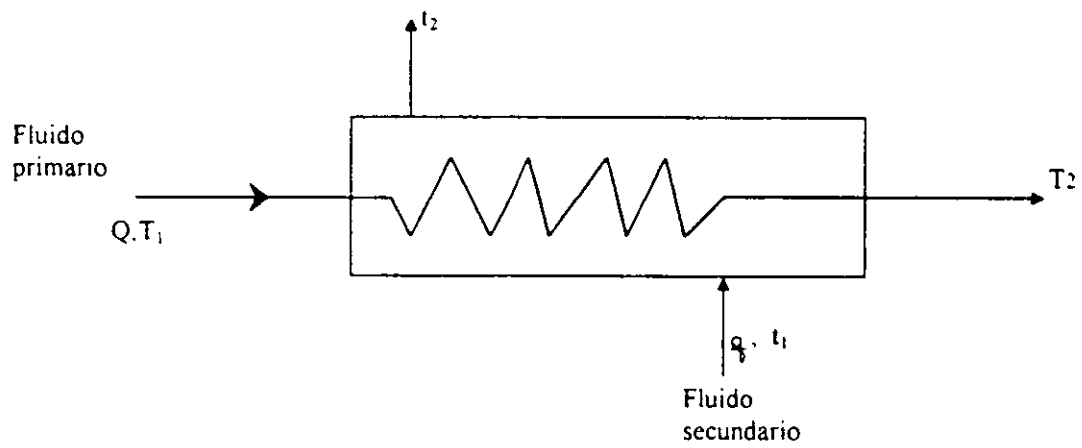


FIG. VI-7.- IDENTIFICACION DE FALLAS INS

Ejemplo 2.- (búsqueda de causas INS)

En la Fig. VI-7, se representa un fluido primario con un flujo Q y una temperatura T_1 , que se enfría a una temperatura T_2 en un cambiador de calor. El fluido secundario tiene un flujo q y una temperatura t_1 , que se eleva a t_2 en la salida del cambiador de calor.

El evento indeseable aquí es "elevación excesiva de temperatura T_2 "; se considera que subsistemas suministran al cambiador de calor en los lados primario y secundario.

En una primera etapa, las causas INS del evento indeseable, deben buscarse en el cambiador de calor, ignorando a los subsistemas que los abastecen.

El planteamiento más simple, consiste en considerar los parámetros físicos importantes y las leyes del cambiador de calor, p.e., las temperaturas de entrada y salida del cambiador de calor, así como los flujos primario y secundario, deben ser definidos. Las causas INS son entonces las siguientes:

- Elevación excesiva de T_1
- Incremento excesivo de Q
- Elevación excesiva en t_1
- Reducción excesiva de q

Un modelo más preciso podría ser desarrollado:

- Escribiendo las leyes del cambiador de calor, p.e., tomando en cuenta el coeficiente de transmisión de calor.
- Determinando los parámetros, cuya fluctuación resulta en el evento indeseable.
- Analizando las posibles fallas del cambiador de calor, p.e., fugas internas o externas y su impacto sobre las leyes del cambiador de calor, p.e., tomando en cuenta las reacciones exotérmicas entre los fluidos primario y secundario.

El análisis debe entonces proceder con la identificación de las causas INS de las variaciones previamente detectadas en los parámetros físicos.

Este ejemplo, muestra el mérito de ir algunas veces hacia las leyes que gobiernan el comportamiento de los componentes, subsistemas o sistemas, cuando se buscan las causas INS de ciertos eventos, es decir, se garantiza el rigor y exhaustividad del análisis, pero este planteamiento debe ser adoptado, solo cuando es necesario porque es muy laborioso.

En conclusión, las causas INS deben buscarse etapa por etapa y tan rigurosamente como sea posible.

Las consideraciones de los parámetros físicos y de las leyes que gobiernan el comportamiento de componentes, subsistemas y sistemas, pueden probar su utilidad real en ésta tarea

Tan pronto como se identifica un defecto de componente, se utilizan los símbolos del árbol de fallas que se muestran en la Fig. VI-3. Cuando en la identificación de fallas INS:

- se define una avería primaria: se obtiene un evento básico;
- están definidas una o varias averías secundarias: la búsqueda de sus fallas INS, implica la definición de eventos intermedios conectados por compuertas lógicas;
- están definidas una o varias fallas comando: la búsqueda de sus fallas INS, también implican la definición de eventos intermedios, conectados por compuertas lógicas.

Se continua la búsqueda de fallas INS de eventos intermedios, hasta que se obtienen eventos básicos.

Aplicando los principios anteriores, se obtienen eventos básicos o nuevos eventos intermedios a partir de los análisis de eventos intermedios. Estos principios se aplican a los nuevos eventos intermedios hasta que se obtengan eventos básicos.

4.4.4 Proceso interactivo

Con frecuencia, es necesario regresar a algunas características del árbol que está siendo construido, por ejemplo:

- Cuando analizando un evento, se adquiere un conocimiento más preciso del sistema, puede ser necesario redefinir ciertos eventos intermedios y agregar otros. El análisis puede también revelar, que ciertos efectos de fallas deben ser definidos más explícitamente, y que se requieren estudios adicionales de la operación del sistema;
- Puede ser necesario definir más precisamente un evento básico, particularmente perteneciente a un componente, y someter a análisis posterior a un componente dado. En este caso, se pueden reconsiderar los límites establecidos.

No debe dudarse en reconsiderar algunos eventos en el árbol, la estructura de algunas de sus ramas, etc., porque la construcción del árbol de fallas se vuelve un proceso interactivo, que se repite hasta que se obtienen resultados satisfactorios.

4.4.5 Otras reglas

Para facilitar la construcción de árboles de fallas, se han propuesto y desarrollado reglas, entre las que se encuentran las siguientes:

- Regla de no-milagros. La propagación de una avería de componente, se observa algunas veces que es bloqueada por la milagrosa y no esperada avería de otro componente. En este caso, se dice que el sistema es "no-coherente", por la ocurrencia simultánea de dos resultados de averías en la operación del sistema; en el análisis, se considera que el segundo componente opera normalmente durante la primera avería.
- Regla de completar las compuertas. Se deben especificar todos los eventos de entrada a una compuerta lógica, antes de investigar un evento de entrada en detalle.
- Regla de no compuerta-a-compuerta. Una compuerta lógica, no debe conectarse a otra compuerta lógica; el método de compuerta-a-compuerta, puede ser una fuente de confusión y revelar que no se ha comprendido bien el sistema y se han omitido etapas en el razonamiento deductivo;
- Regla de que fallas preceden a consecuencias. La búsqueda de las causas de fallas de un evento, significa retroceder en el tiempo: las causas o fallas de un evento, son antes del mismo evento. Con esta regla, algunas fallas y ramas pueden eliminarse del árbol, con lo cual se facilita la solución de los llamados sistemas "lazo-cerrado".

4.5 Construcción de árbol de fallas

4.5.1 El Diagrama de Arbol de Fallas

La primera etapa en el análisis del árbol de fallas, es el desarrollo de un diagrama lógico detallado, que dibuje la combinación de eventos, que pueden llevar a la condición bajo estudio.

Todos los eventos (fallas de componentes, errores humanos, condiciones de operación, etc.), que deben ocurrir para resultar en la condición de falla definida como evento indeseable, se interconectan sistemáticamente a través de elementos básicos lógicos (compuertas "y", compuerta "o", etc.), para formar el árbol de fallas, con los símbolos descritos anteriormente.

Para la construcción del árbol de fallas, es necesario conocer:

- el diseño del sistema
- requerimientos funcionales de operación y mantenimiento
- como se usa el sistema.

El árbol de fallas, se desarrolla empezando con la condición de falla definida como evento indeseable y procediendo hacia abajo con una serie de juicios de ingeniería, para definir los eventos básicos de entrada. El proceso de estructuración lógico continua, hasta que la cadena de entrada de cada evento termina en términos de una falla básica.

Cuando la estructura del árbol de fallas está completa, el evento indeseable está completamente definido en términos de:

- fallas básicas (de arquitectura y humanas), cuya ocurrencia sola o en combinación, puede resultar en el riesgo o peligro definido, independientemente de su aparente frecuencia de ocurrencia.
- eventos de entrada independientes.
- fallas básicas (modos de falla de componentes), para las cuales los datos de regímenes de fallas están disponibles o pueden ser estimados.

4.5.2 Recolección de Datos de Fallas Básicas

Después de que el árbol de fallas ha sido estructurado, la siguiente etapa es recabar los datos de regímenes o tasas de fallas para cada falla básica que conforman el árbol.

Los datos de tasas de fallas, son entradas necesarias para determinar las probabilidades de ocurrencia y evaluar su criticidad; estos datos consisten de dos clases generales:

- datos de tasas de fallas de componentes
- datos de tasas de errores humanos

En general, las tasas de fallas de componentes, se determinan con un revisión de partes de componentes identificados como fallas en el árbol de fallas; esto, incluye la revisión de los modos de falla de cada elemento básico, que comprende la falla identificada y estableciendo una tasa de modo de falla, basada en datos históricos de partes genéricas e información disponible en aplicaciones de diseño. Se pueden usar las técnicas estándar de predicción de confiabilidad, para estimar estas tasas numéricas de fallas.

Las tasas de errores humanos significan las tasas esperadas, a las cuales tienen lugar fallas causadas por personal de operación y mantenimiento, ya sea intencional o no-intencional; es muy difícil obtener una tasa de error, puesto que existen muy pocos datos con relación a ésta área.

Puesto que no se tiene una base de datos a gran escala sobre las tasas de errores humanos, estas tasas pueden desarrollarse a través de técnicas subjetivas, basadas en discusiones con personal familiar con el sistema de operación y el ambiente del mantenimiento. Estas técnicas, incluyen detalles de cada error humano descrito en el árbol de fallas en los elementos de tareas básicas; el intento, es definir pequeños segmentos del comportamiento humano, en donde una tasa de error puede ser evaluada más fácilmente.

La evaluación de tasas de error humano para segmentos pequeños, puede involucrar una investigación bibliográfica, incluyendo una revisión de los datos de errores humanos normalmente disponibles y/o previa estimación de información del personal familiar con los elementos operacionales.

La tasa de error humano numérica final, debe tomar en cuenta el comportamiento de la naturaleza humana y su sensibilidad a:

- aprendizaje;
- fatiga;
- otros factores de conducta.

4.6 Computación de Probabilidades Numéricas

Después de que se estructura el árbol de fallas y que se recaban todos los datos de fallas, la siguiente etapa en el proceso de análisis, es computar las probabilidades numéricas; esto incluye la computación de la probabilidad de ocurrencia de todas las fallas básicas, eventos y condiciones peligrosas, basadas en propiedades combinatorias de los elementos lógicos en el árbol de fallas.

El análisis de la computación de probabilidades numéricas, incluye la aplicación repetida de las siguientes expresiones básicas de probabilidad, para las compuertas lógicas del árbol de fallas.

$$\text{compuerta "y"} : p(A) = \sum_{i=1}^n P(X_i)$$

$$\text{compuerta "o"} : P(A) = 1 - \sum_{i=1}^n \left[1 - P(X_i) \right]$$

en donde

P(A) = probabilidad de la salida

P(X) = probabilidad de la entrada i

n = número de entradas

Para el caso de dos eventos "x" e "y", con probabilidades $P(x)$ y $P(y)$ respectivamente, que conducen a un evento A con probabilidad $P(A)$, se tiene:

Para una compuerta "y" $P(A) = P(x) P(y)$

Para una compuerta "o" $P(A) = P(x) + P(y) - P(x) P(y)$

En un diagrama de árbol de fallas dado, cuyas fallas básicas y eventos de salida están interconectados apropiadamente, la probabilidad del evento de salida se calcula empezando con el nivel más bajo y continuando al nivel más alto en el árbol.

4.7 Formulación de Recomendaciones de Acciones Correctivas

Después de que se han computado todas las probabilidades y criticidades, se revisan y evalúan todos los datos, con objeto de formular sugerencias generales correctivas; éstas sugerencias, pueden estar relacionadas cuantitativamente a los elementos de falla y modos de avería identificados en el análisis del árbol de fallas. En general, las recomendaciones de acciones correctivas pueden incluir:

- áreas para re-diseño;
- selección de partes de componentes;
- criterios de diseño y adquisiciones;
- procedimientos de mantenimiento;
- procedimientos de inspección;
- control de calidad;
- instrucciones especiales de seguridad.

El alcance y extensión de las medidas correctivas sugeridas, pueden depender de las fallas identificadas y de su criticidad, y deben ser consideradas en relación con su efectividad, practicidad y costo

El paso siguiente, es la preparación de una matriz de fallas, para ayudar en la evaluación y formulación de recomendaciones específicas; la matriz de fallas provee una tabulación de la siguiente información de cada falla básica:

- número de identificación de falla básica;
- descripción de falla básica;
- efectos de la falla;
- probabilidad de ocurrencia;
- las acciones correctivas recomendadas para las fallas consideradas críticas, incluyendo diseño, controles, pruebas, procedimientos, inspecciones, etc., que pueden implementarse con el propósito de eliminar o reducir los efectos peligrosos.

4.8 Comentarios finales

La construcción de un árbol de fallas requiere algunos comentarios.

- Un árbol de fallas, es un modelo de las combinaciones de las fallas más concebibles y posibles.

En general, el analista, consciente o no, selecciona solo los defectos más concebibles y posibles, p.e., al considerar "contactos del relé permanecen pegados", el analista no considera tal un defecto de diseño como el atoramiento del contacto, causado por algo de barniz sobre éste, que no fue secado durante las pruebas pre-operacionales, pero secado después.

Tales defectos no usuales ya han sido observados, sin embargo, en el caso presente, el analista no hace un gran error, puesto que la probabilidad de este evento es despreciable, comparado con la probabilidad del atoramiento mecánico de un relevador.

El analista, no incluye eventos que son altamente improbables, comparados con otros eventos tomados en cuenta en el árbol de fallas.

- La realización de un AMFE antes de la construcción del árbol de fallas, facilita grandemente su construcción.

Un analista buscando las causas de este evento, usando un planteamiento deductivo, puede olvidar que una fuerte corriente producida por un corto-circuito en el motor, causa que los contactos del relé permanezcan pegados.

Por otra parte, si este analista u otro realiza primero un AMFE, debe buscar los efectos de esta fuerte corriente en cada componente del sistema y especialmente en "los contactos del relé", y así determina que el corto-circuito del motor puede ser una causa del evento "contactos del relé permanecen pegados".

Por lo general, esto se debe al hecho que con frecuencia es más fácil conocer los efectos de un modo de falla, que listar sus causas, especialmente cuando son externas.

5. ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD, AMFEC.

La técnica del análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC), puede ser caracterizada como un método sistemático de catalogar modos de falla, empezando al más bajo nivel del ensamble y evaluando las consecuencias a los niveles más altos del sistema o ensamble.

El AMFEC, al igual que el análisis de árbol de fallas AAF, puede realizarse utilizando modos de falla de datos de campo, o bien modos de falla hipotéticos derivados de análisis de diseño, actividades de predicción de confiabilidad y de experiencia relativas a la forma en la cual fallan los componentes.

El AMFEC provee comprensión de la relación entre las causas de falla y sus efectos; es un método disciplinado para proceder parte por parte, a través del sistema para evaluar las consecuencias. En su más completa forma, los modos de falla se identifican a nivel de parte; cada modo de falla de parte, es analíticamente inducida en el sistema y los efectos de las fallas se evalúan y anotan, incluyendo la severidad y frecuencia o probabilidad de ocurrencia.

El AMFEC en el cual la probabilidad de ocurrencia de cada modo de falla, y el nivel de criticidad de los efectos de las fallas que se analizan, es una extensión natural del análisis de modos de falla y efectos AMFE..

Con el AMFEC, es posible verificar que los modos de falla con efectos severos, tienen probabilidades suficientemente bajas gracias a:

- técnicas de diseño;
- varios chequeos (en la fábrica, en el sitio, etc.);
- procedimientos de prueba, etc.

La NASA ha utilizado ampliamente este tipo de análisis, específicamente para el diseño del módulo lunar, también ha sido adoptado en otros sectores industriales. El AMFEC está constituido principalmente por dos partes:

- el AMFE
- el análisis de criticidad dirigido a evaluar el par, "probabilidad-severidad", para cada modo de falla.

Para estimar la severidad de los varios modos de falla, los efectos o consecuencias, a cada modo de falla se le asigna un nivel de severidad.

Las clases de severidad comúnmente usadas, son las siguientes:

Clase I .- Falla menor.- Cualquier falla que podría causar degradación de las funciones del comportamiento del sistema, resultando daños despreciables, ya sea al sistema o a su ambiente, y sin daños a la vida o miembros.

Clase II .- Falla significativa.- Cualquier falla que degrada las funciones de comportamiento del sistema sin daño apreciable al sistema, vida o miembros.

Clase III .- Falla crítica.- Cualquier falla que podría potencialmente causar pérdida de las funciones primarias del sistema, resultando un daño significativo al sistema o su ambiente y peligro apreciable a la vida o miembros.

Clase IV .- Falla catastrófica.- Cualquier falla que podría potencialmente causar la pérdida de las funciones primarias del sistema, resultando en daños significativos al sistema o a su ambiente y/o causar la pérdida de vida o miembros.

Para determinar la criticidad de un modo de falla, se usa el par probabilidad-severidad; mientras más alta es la probabilidad y la severidad de los efectos, la criticidad del modo de falla es más grande y es vital tomar acciones correctivas.

Para clasificar los modos de falla de acuerdo al par probabilidad-severidad, con frecuencia se usa una tabla como la mostrada en la Tabla VI-3..

TABLA VI-3.- EJEMPLO DE MALLA DE CRITICIDAD

| Severidad \ Probabilidad | Muy baja | Baja | Media | Alta |
|-----------------------------------|----------|------|-------|------|
| Clase I - Efectos menores | | | | |
| Clase II - Efectos significativos | | | | |
| Clase III - Efectos críticos | | | | |
| Clase IV - Efectos catastróficos | | | | |

Las clases de severidad deben adaptarse a cada sistema estudiado.

El procedimiento para realizar un AMFEC, involucra una documentación y evaluación sistemática por el análisis documentado, sobre la salida del sistema.

Los datos e información utilizados como entradas al procedimiento, incluyen las especificaciones de diseño, esquemas y otras configuraciones obtenidas de la ingeniería de diseño. El procedimiento del AMFEC, incluye varias etapas como las siguientes:

- la primera etapa, es listar todos los modos de falla al nivel más bajo práctico del ensamble;
- determinación, para cada modo de falla, del correspondiente efecto sobre el comportamiento del siguiente nivel más alto del ensamble;
- el resultante de la falla, se convierte en esencia en el modo de falla, que impacta el siguiente nivel más alto;
- la interacción de este proceso resulta en el establecimiento del último efecto a nivel del sistema;
- el análisis está completo cuando todos los modos de falla identificados, se evalúan y definen sus relaciones con los efectos finales.

Las probabilidades de ocurrencia de los efectos en el sistema, pueden ser calculados basados en la probabilidad de ocurrencia de los modos de falla al nivel más bajo (el producto de la tasa de modo de falla y el tiempo). Con estas probabilidades y el factor de severidad asignado a los varios efectos del sistema, se calcula un número crítico.

La criticidad numérica, proporciona un método de jerarquizar los efectos a nivel de sistema para prioridad de:

- acciones correctivas;
- propuestas de cambios de ingeniería;
- acciones de re-ajustes.

La realización de un AMFEC incluye la tabulación de la información, en hojas de trabajo estándar como la mostrada en la Tabla VI-4.

PLANTA O EMPRESA _____

SISTEMA _____ COMPONENTE _____ PAG _____ DE _____
FECHA _____

| PARTE | MODO DE FALLA | EFEECTO EN EL COMPONENTE | EFEECTO/ SEVERIDAD EN EL SISTEMA | DETECTABILIDAD | FRECUENCIA DE FALLA | CRITICIDAD |
|---|------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------|---------------------|------------|
| Bomba hidráulica Solenoides by-pass hidráulico | Fuga en la bomba | Pérdida de potencia hidráulica | Disparo de unidad | | | |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) |

TABLA VI-4.- HOJA DE TRABAJO DE AMFEC

El significado de los números que aparecen en la hoja de trabajo (Tabla VI-4) son los siguientes:

- (1) y (2) - Identificación de la parte y modo de falla asociada con las partes.
- (3) - Identificación de los efectos en el componente, resultantes de los modos de falla.
- (4) - Identificación de los efectos en el sistema y el factor de severidad.
- (5) - Detectabilidad del modo de falla por la prueba/inspección final; una marca debe indicar que el modo de falla no es detectable.
- (6) - Frecuencia del modo de falla o probabilidad de falla, basada en:

$$P(x) = xMt$$

en donde:

$P(x)$ = probabilidad de modo de falla

x = tasa de falla de la parte (de los estudios de TMEF)

M = modo de distribución

t = tiempo

Cuando se combinan los parámetros anteriores, se intentan expresar las probabilidades relativas.

La probabilidad real, podría también incluir términos que reflejen la confiabilidad inducida y calidad de defectos. Este análisis se hace parte por parte.

- (7) - Criticidad; la jerarquía de la criticidad C se obtiene de:

$$C = P(x) S$$

en donde:

C = criticidad

$P(x)$ = probabilidad de ocurrencia del modo de falla

S = factor de seguridad.

Se consideran fallas críticas las que tienen un valor de criticidad:

$$C \geq 1 \times 10^{-3}$$

En el caso que no se conozca el factor de seguridad, se puede utilizar la Tabla VI-5 para determinar la criticidad. Los valores que requieren atención y acciones preventivas y correctivas, son las de media, alta, muy alta y extremadamente alta.

Las acciones preventivas o correctivas, pueden incluir bloqueos (interlocks), alarmas, acciones del operador, redundancias, cambios de equipos, modificación de programas de inspección y mantenimiento, etc.

Tabla VI-5.- CRITICIDAD DE SISTEMAS, EQUIPOS O COMPONENTES

| Severidad \ Probabilidad | Muy baja | Baja | Media | Alta |
|-----------------------------|----------|----------|----------|------------------------|
| I - Efectos menores | Nula | Muy baja | Baja | Media |
| II - Efectos significativos | Muy baja | Baja | Media | Alta |
| III - Efectos críticos | Baja | Media | Alta | Muy alta |
| IV - Efectos catastróficos | Media | Alta | Muy alta | Extremadamente Alta |

Probabilidad alta $> 1 \times 10^{-3}$
 Probabilidad media $> 1 \times 10^{-4}$
 Probabilidad baja $> 1 \times 10^{-5}$
 Probabilidad muy baja $< 1 \times 10^{-6}$

6. ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS

6.1 Principios de Meteorología

La atmósfera de la tierra tiene un espesor de 160 km., lo cual, aparentemente da cierta seguridad de que pueda absorber cualquier contaminante que arrojemos, sin embargo, la troposfera, que contiene el 95% del total de la masa de aire, solo tiene un espesor de 20 km., y es en donde se tienen los problemas del clima y de la contaminación. Esta es una de las razones por la cual se considera a la tierra como un planeta frágil, que podemos dañar irreparablemente.

Los problemas de contaminación del aire incluyen a la fuente de contaminación, al movimiento del contaminante y al receptor del contaminante. El movimiento del contaminante es función directa de las condiciones meteorológicas, que cambian continuamente. Los cambios de clima están asociados a frentes o a presiones barométricas. Los frentes pueden ser de dos tipos:

- Frente caliente, que produce lluvia o llovizna estable o constante.
- Frente frío, que produce lluvia local fuerte

La presión barométrica se clasifica en dos categorías:

- Presión baja, que puede dar lugar a frente frío o frente caliente, con movimiento de aire en sentido contrario a las manecillas del reloj (ciclón) y vientos verticales hacia arriba, con condensación y precipitaciones.
- Presión alta con sol y columna estable, movimiento del aire en espiral en sentido de las manecillas del reloj (anticiclón) y hacia abajo.

En la Fig. VI-8, se muestran las dos condiciones, observándose que la condición de presión alta (anticiclón), es precursora de problemas de contaminación.

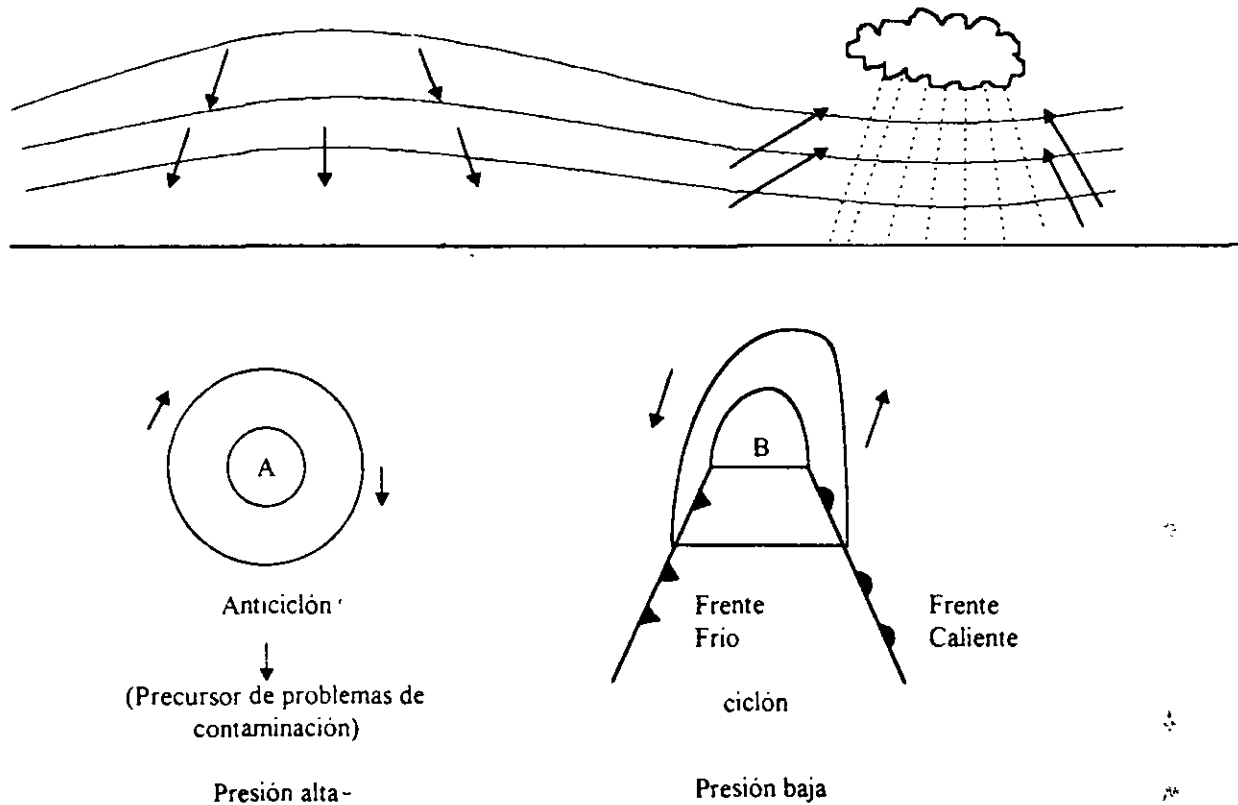


FIG. VI-8.- CONDICIONES ATMOSFERICAS DE CICLON Y ANTICLON

En cierto sentido, la tierra actúa como un convertidor de ondas en la siguiente forma:

- Acepta energía solar (ondas de alta frecuencia)
- Convierte la energía solar en energía calorífica (ondas de baja frecuencia) y la transfiere al espacio

La transferencia de calor de la tierra hacia el espacio exterior, se realiza en tres formas diferentes:

- Radiación (ondas de energía), que tienen un efecto menor en la atmósfera.
- Conducción (contacto físico)
- Convección (por movimiento de masas de aire)

El movimiento de las masas de aire es muy variable, debido al movimiento de rotación de la tierra, como puede observarse en la Fig. VI-9b; en el caso que la tierra fuera estacionaria, el movimiento de las masas de aire seguiría un patrón fijo como se muestra en la Fig. VI-9a.

Cuando una masa de aire se eleva en la atmósfera de la tierra, empieza a experimentar presión más baja de las moléculas de aire que la rodean, lo cual ocasiona que se expanda.

La expansión baja la temperatura de la masa de aire; el régimen al cual se enfría el aire cuando se eleva, se conoce como "tasa de lapso adiabático seco" y es independiente de la temperatura ambiente del aire y tiene un valor, de acuerdo con la 1ª ley de la termodinámica, de:

$$\frac{-1^{\circ}\text{C}}{100\text{ m}} = \frac{-5.4^{\circ}\text{F}}{1000\text{ pies}}$$

El término adiabático, significa que no hay intercambio de calor entre la masa de aire considerada y el aire que la rodea. La disminución real de temperatura, se conoce como "tasa de lapso prevalectante", y puede tener diferentes valores como se muestra en la Fig. VI-10.

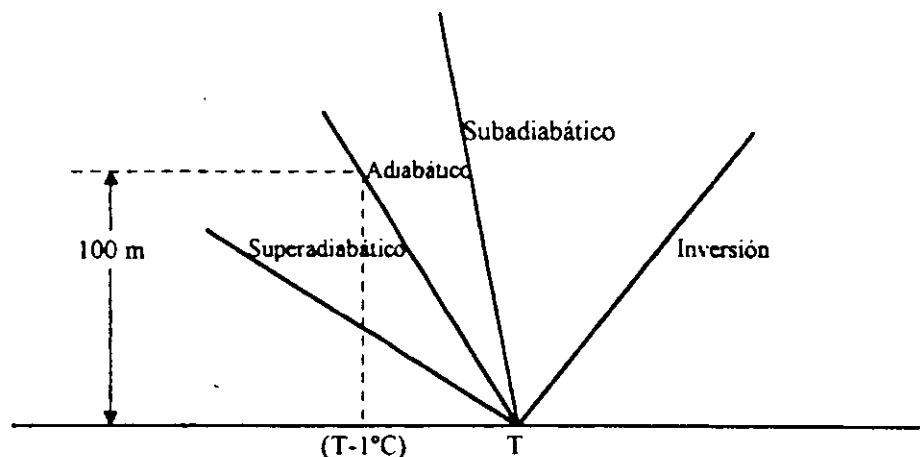
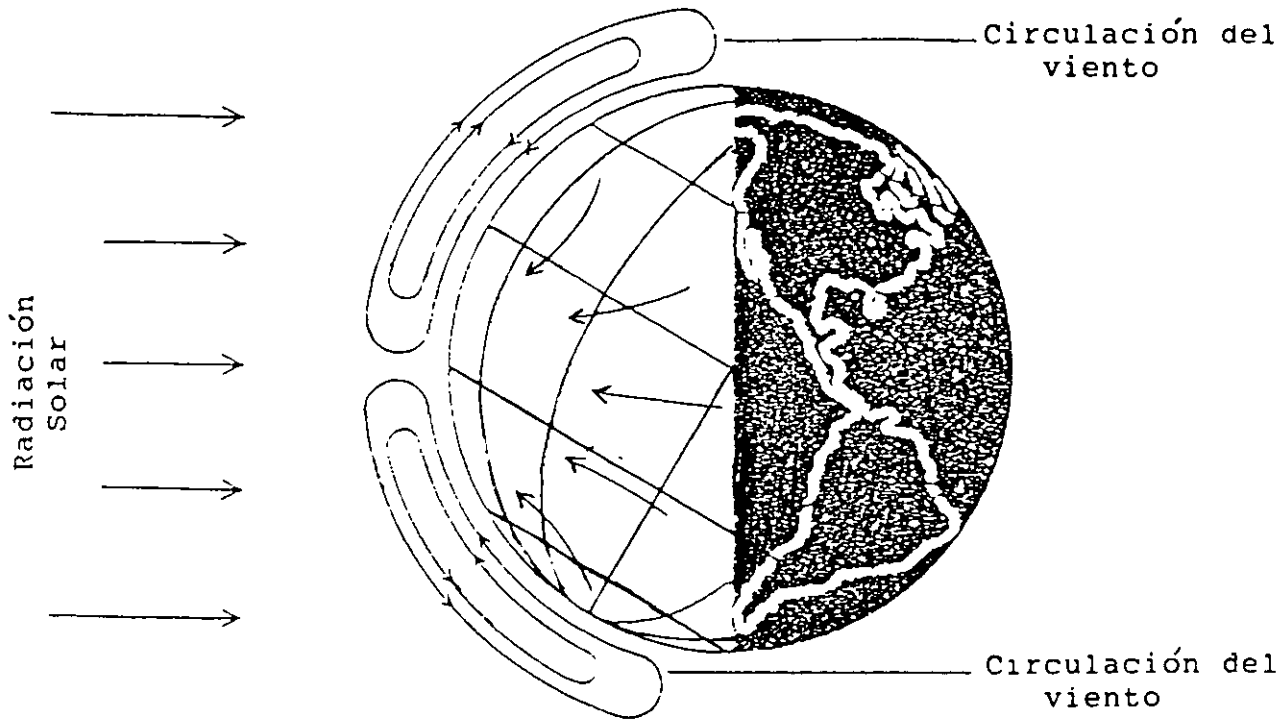
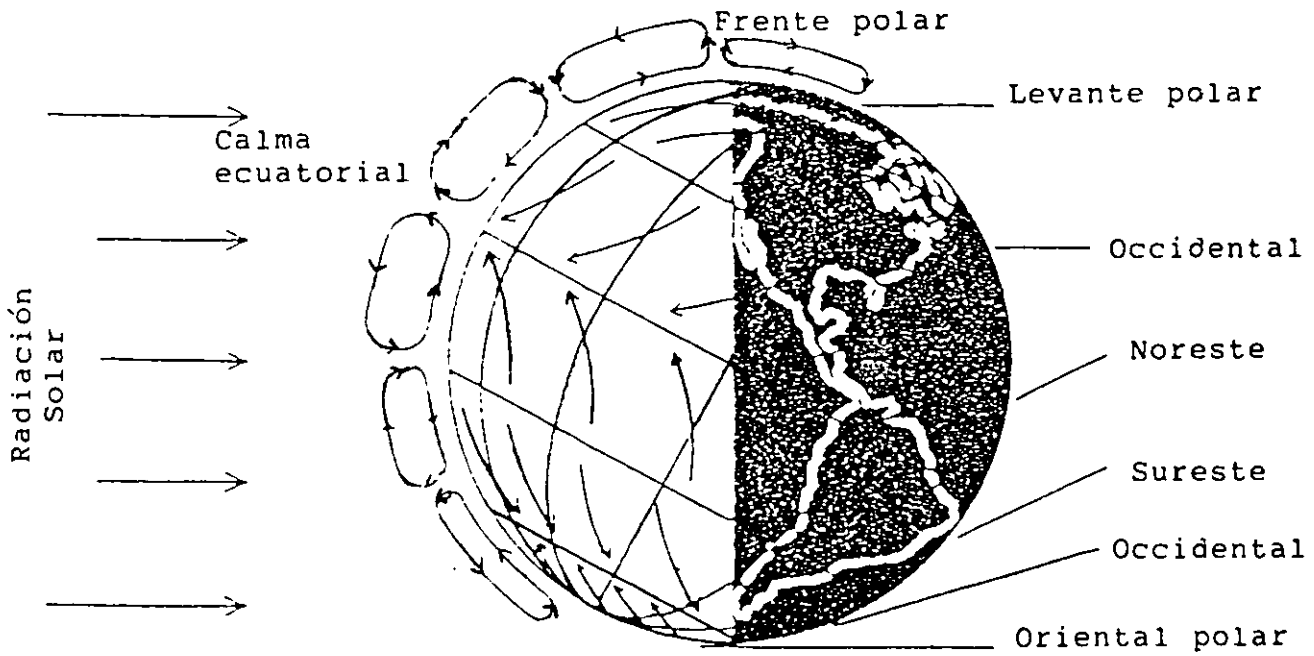


FIG. VI-10.- TIPOS DIFERENTES DE LAPSO PREVALECTANTE

Las tasas de lapso prevalectante subadiabáticas producen condiciones estables, que son precursoras de problemas de contaminación.



a) Tierra fija. Patrón fijo de circulación de aire



b) La rotación de la tierra crea patrones de circulación de aire variables

FIG. VI-9.- PATRONES GLOBALES DE VIENTO

6.2 Nubes explosivas

Una nube explosiva, es la acumulación en el aire capaz de producir un volumen de gas, que se expanda rápidamente y ejerza presión súbita sobre sus alrededores.

No es requisito que una sustancia sea inflamable para producir una explosión; de acuerdo a la sustancia, las nubes explosivas pueden ser causadas por:

- Polvos (sólidos). La nube explosiva se produce cuando el polvo se encuentra suspendido en el aire y se encuentra con una fuente de ignición.
- Gases (y líquidos que se evaporan). En el caso de líquidos, la nube explosiva se forma cuando se evapora y se acumulan y viajan los vapores en el aire. En el caso de gases, es suficiente con que se acumulen.

De acuerdo al lugar donde ocurren, las nubes explosivas pueden clasificarse en:

- Confinadas. Es la que se produce en interiores de edificios o que encuentra obstáculos en su trayectoria.
- No confinada. Se produce cuando se libera al exterior y no encuentra obstáculos como paredes, tanques, árboles, etc.

Las nubes confinadas, tienen un potencial de destrucción mayor que las no confinadas.

No se requiere que exista una fuente de ignición para que explote una nube explosiva, ya que existen casos en donde no existe dicha fuente de ignición, como la explosión de una caldera en el lado de agua, y la explosión de vapor en expansión por líquido en ebullición (BLEVE, Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion). En este caso, se requiere que un recipiente que contenga un líquido, sujeto a una fuente de calentamiento externa (flama directa o el sol); cuando el vapor es inflamable, la fuente de calor produce la ignición y entonces conjuntamente con la BLEVE se presenta una bola de fuego.

De acuerdo a la velocidad de la explosión, se pueden tener detonaciones o deflagraciones. En el primer caso, se tienen velocidades supersónicas y presiones de unos 20 kg/cm²; en el segundo caso (deflagraciones), se tienen velocidades subsónicas y sobrepresiones del orden de 1 kg/cm², por lo general producidas por nubes no confinadas.

Nubes explosivas de vapores o gases inflamables

Se dice que una sustancia es inflamable cuando es capaz de producir una flama, requiriéndose material combustible, oxígeno, una fuente de ignición, temperatura suficiente y una cierta relación o concentración de oxígeno (aire/combustible). La relación o concentración mayor y menor de oxígeno/combustible a las cuales se produce la flama, se conocen como límite superior de inflamabilidad y límite inferior de inflamabilidad respectivamente.

Una fuente de ignición, puede ser una chispa, una flama o superficies muy calientes.

Una nube explosiva de vapor inflamable, con concentración dentro de los límites de inflamabilidad, puede explotar en cualquier punto de su trayectoria a partir del punto de fuga; después del límite inferior de inflamabilidad ya no se produce la explosión. Es muy importante identificar y ubicar estos puntos para los estudios de análisis de riesgos.

La explosión de una nube explosiva, puede producirse en el punto de fuga (ignición instantánea) o bien a una cierta distancia (ignición retardada), antes de llegar al límite inferior de inflamabilidad; esta es la distancia mas alejada, a la cual puede ocurrir una explosión por ignición retardada de una nube explosiva no confinada. Aunque ésta distancia puede ser calculada, existen factores como mezclas no homogéneas o formación de "bolsas" de acumulación de la sustancia, por obstáculos que causan concentraciones mayores al límite inferior de inflamabilidad calculadas para nubes explosivas no confinadas. Esta es la razón por la cual, se consideran concentraciones menores al límite inferior de inflamabilidad, cuando se definen los radios de control de presencia de fuentes de ignición.

Algunas sustancias tienen la propiedad de inflamarse solo por el efecto de la temperatura; a ésta temperatura se le conoce como de autoignición.

Nubes explosivas de polvos

Las nubes explosivas de polvos, tienen un comportamiento diferente con relación a la ignición, ya que no es aplicable el concepto de límites de inflamabilidad.

Para determinar las características explosivas de un polvo específico, se requiere realizar pruebas de laboratorio. Para que explote una nube explosiva de polvo, se necesita:

- Un determinado tamaño y concentración del polvo, que es variable según el material.
- Que el polvo este en suspensión.
- Una fuente de ignición.

- Una energía mínima de la fuente de ignición
- Un contenido mínimo de oxígeno y una cierta temperatura.

Normalmente, las explosiones de nubes explosivas se producen en lugares cerrados, en donde se acumula el polvo; cuando se produce una explosión, la sacudida ocasiona más nubes de polvo que pueden explotar, en ocasiones con mayor fuerza que la original, porque contienen mayor cantidad de material.

Los modelos que se han desarrollado para calcular los efectos de la explosión de una nube explosiva, son únicamente para gases o vapores de líquidos evaporados, no para polvos; mediante estos modelos o ecuaciones, de acuerdo con las características del material y condiciones meteorológicas, se pueden predecir dichos efectos.

El modelo que más se utiliza, compara la explosión de la sustancia con una explosión equivalente de TNT (trinitrotolueno). El TNT es una sustancia altamente explosiva que siempre detona, además, la onda de sobrepresión de una detonación de TNT, es similar a una onda de sobrepresión por la explosión de una nube de vapor no confinada.

En nubes no confinadas, existe mayor probabilidad de que ocurra una deflagración, con sobrepresiones menores a una detonación, pero el daño es comparable por la mayor duración de la deflagración.

El cálculo de la masa equivalente de TNT, puede hacerse de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$M_{TNT} = \frac{C_{comb}}{C_{TNT}} \eta Mv$$

en donde.

M_{TNT} = masa equivalente de TNT

C_{comb} = calor de combustión estándar del vapor en la nube

C_{TNT} = energía de explosión de TNT

η = eficiencia de la explosión. Varía entre 1 y 35%, aunque normalmente se usa un valor de 10%, para compensar la combustión incompleta de la nube.

Mv = masa del vapor en la nube

Existen otros modelos, p.e., uno que trata a la explosión como una serie de subexplosiones, cada una centrada en diferentes partes de la nube, que estén en turbulencia o parcialmente confinadas u obstruidas, y otro modelo que considera sobrepresiones e impulso basado en energías adimensionales y números Mach.

A la fecha, no se han desarrollado modelos de simulación para evaluar los riesgos de incendio y explosión por nubes de polvo, realizándose únicamente pruebas de laboratorio que incluyen pruebas de:

- Explosión de nubes de polvos.
- Polvo a granel, aereado y en capas.
- Prevención de explosiones.
- Riesgo electrostático.

Las pruebas de explosión de nubes de polvo, se utilizan para determinar las propiedades de explosión del polvo cuando se encuentra suspendido en una nube, que incluyen:

- Clasificación de la explosividad. Determina si la nube de polvo es combustible que enciende y propaga flamas, o bien que los polvos no encienden cuando están suspendidos.
- Energía mínima de ignición. Determina la menor cantidad de energía requerida para encender el polvo suspendido.
- Severidad de explosión de polvo. Determina la máxima presión de explosión y la tasa máxima de incremento de presión, para concentraciones específicas de polvo.

Las pruebas de polvo a granel, aereado y en capas, valoran los riesgos de incendio y explosión de polvos, cuando no se encuentran en suspensión, aunque si expuestos al calor. Los resultados determinan la temperatura máxima segura de operación.

Las pruebas de prevención de explosión, determinan la forma de prevenir que el polvo explote durante el proceso, e incluyen:

- La determinación de oxígeno mínimo. Mide a que concentración de oxígeno ya no enciende el polvo.
- La concentración mínima de polvo explosivo. Mide la concentración mínima requerida para que no encienda el polvo.

Las pruebas de riesgo electrostático se efectúan para determinar las siguientes características:

- La energía mínima de ignición. Determina la facilidad con que las cargas electrostáticas pueden encender el polvo.
- La resistividad del volumen. Determina la velocidad con la cual pierde carga electrostática el polvo, cuando se encuentra a granel y ciertas condiciones de humedad.
- Cargabilidad. Determina la facilidad con que se carga electrostáticamente el polvo, cuando se pone en contacto con diferentes tipos de superficies como acero inoxidable, vidrio o plástico.

En las Tablas del Capítulo III - Sección 3 se dan algunas características de varios tipos de polvos.

6.3 Modelos de dispersión

6.3.1 Dispersión atmosférica

a) Concentración a nivel de piso

Cuando una pluma conteniendo contaminantes sale al aire, los contaminantes se dispersan conforme la pluma se propaga en la atmósfera. La concentración de contaminantes en el aire a nivel del piso, se determina tanto para esta dispersión como para el régimen de emisión.

La pluma se mueve principalmente en la dirección del viento y la mayor concentración de moléculas contaminantes, siempre está a lo largo de la línea de centro.

También hay difusión de moléculas a través (perpendicular a) de la dirección del viento y entonces la pluma se dispersa lateralmente, conforme se mueve en la dirección del viento, como se muestra en la Fig. VI-11.

Un modelo razonablemente bueno de la dispersión de la contaminación del aire, se obtiene si se supone que las secciones transversales de la pluma vertical y horizontal, tienen la forma tradicional Gaussiana. Un análisis completo de la dispersión de la contaminación, está fuera del alcance de éste trabajo, sin embargo, enseguida se dan dos resultados de éste análisis.

Para una fuente de emisión de contaminantes a nivel de piso, la concentración de contaminantes en el ambiente, directamente en la dirección del viento desde la fuente, está dada por:

$$X(x, 0.0) = \frac{Q}{\pi \bar{u} \sigma_y \sigma_z}, \text{ en donde}$$

$X(x, 0.0)$ = concentración en el ambiente a nivel de piso, en la dirección del viento en la línea de centro de la pluma a una distancia x , en kg/m^3 .

\bar{u} = velocidad promedio en la dirección del viento, en m/s

σ_y, σ_z = desviación estándar de la pluma en las direcciones lateral y vertical, en m .

Q = régimen de emisión de contaminantes, en grs/s

La concentración máxima en la dirección del viento, a nivel de piso a lo largo de la línea de centro de la pluma, para una pluma emitida a nivel de piso o de una chimenea, está dada por:

$$X_{\max} = \frac{0.1171 Q}{\bar{u} \sigma_y \sigma_z}$$

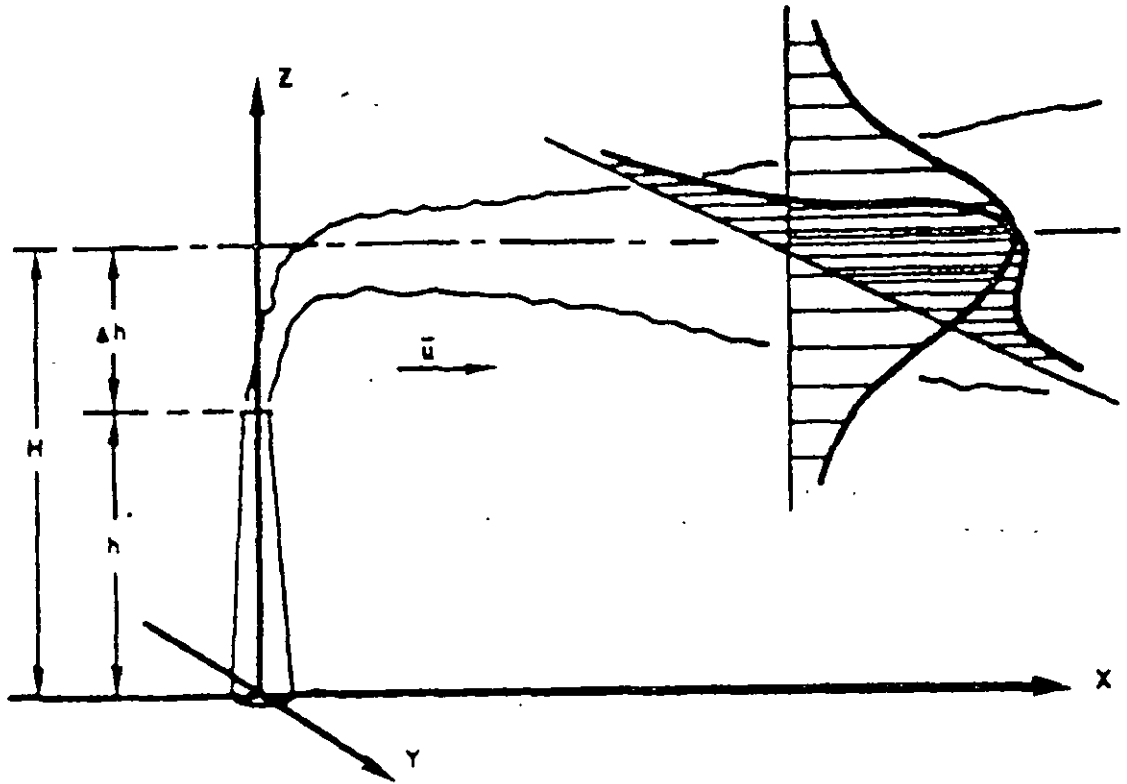


FIG. VI-11.- MODELO DE DISPERSION GAUSSIANA

Las desviaciones estándar σ_y y σ_z , son mediciones de la propagación de la pluma en las direcciones lateral y vertical, y dependen tanto de la estabilidad atmosférica como de la distancia de la fuente.

La estabilidad atmosférica, se clasifica en categorías de la A a la F y se conocen como clases de estabilidad; en la Tabla VI-6, se muestran estas clases de estabilidad y las velocidades del viento que son consistentes con cada una. En términos de regímenes:

- Las clases A y B, están asociadas con condiciones meteorológicas inestables, superadiabáticas
- La clase C, está cerca de una estabilidad neutra.
- La clase D, está asociada con condiciones ligeramente estables, subadiabáticas.
- Las clases E y F, son inversiones débiles y fuertes, respectivamente.

| CONDICIONES VELOC. DEL VIENTO A 10 M DE LA SUPERF., EN M/S | DIA * ENTRADA DE RADIACION SOLAR (LUZ) | | | NOCHE * | |
|--|--|----------|--------|-------------------|----------|
| | FUERTE | MODERADO | LIGERO | NUBLADO LIGERO | 3/8 |
| | | | | NUBES BAJAS | DE NUBES |
| < 2 | A | A-B | B | - | - |
| 2-3 | A-B | B | C | E | F |
| 3-5 | B | B-C | C | D | E |
| 5-6 | C | C-D | D | D | |
| > 6 | C | D | D | D | D |

* La categoría neutra D, puede considerarse para condiciones de nublado durante el día o la noche

TABLA VI-6.- ESTABILIDAD ATMOSFERICA (PARA USAR EN FIG. VI-10)

En regiones urbanas muy pobladas, raramente se logran estabilidades mayores a la clase D, debido al efecto de isla de calor.

Las estabilidades de las clases E y F, por lo general se encuentran en zonas rurales o áreas no pobladas.

La variabilidad de σ_y σ_z con la distancia, para varias categorías de estabilidades atmosféricas se muestran en la Fig. VI-12.

Ejemplo:

En la fuga de una tubería, resulta una emisión de 10 kg./hr de H₂S; cuando la velocidad del viento es de 3.0 m/s y las condiciones de estabilidad es clase C, cuál será la concentración de H₂S a 1.5 km. de la fuga en dirección del viento?

Para x = 1,500 m., de la Fig. VI-12 se obtiene:

$$\sigma_y = 160 \text{ m.}$$

$$\sigma_z = 60 \text{ m.}$$

$$\text{y } Q = 10 \text{ kg./hr} = 2.8 \text{ gr./s}$$

$$C(1500,0,0) = \frac{2.8 \text{ grs/s}}{\pi x (3.0 \text{ m/s}) (160 \text{ m}) (60 \text{ m})}$$

$$= 1.7 \times 10^{-5} \text{ grs/m}^3 = 17 \mu \text{ grs/m}^3$$

b) Concentración en un punto en el espacio

La dispersión, es el proceso de propagar la emisión sobre una área grande y así reducir la concentración de los contaminantes específicos.

La pluma dispersa o propaga los contaminantes en dos direcciones: horizontal y verticalmente. Se considera que la mayor concentración de contaminantes está en la línea de centro de la pluma, en la dirección en que prevalece el viento; mientras más alejada de la línea de centro, la concentración es más baja.

Si se considera que la propagación de una pluma en ambas direcciones, es aproximadamente por una curva de probabilidad Gaussiana, se puede calcular la concentración de un contaminante a una distancia x, en la dirección del viento desde la fuente, por la siguiente expresión.

$$X(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi\bar{u}\sigma_y\sigma_z} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 + \left(\frac{z}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right\}, \text{ en donde}$$

X = concentración en algún punto en el espacio de coordenadas x, y, z, en kg/m³

Q = emisiones, en kg./s

\bar{u} = promedio de velocidad del viento, en m/s

σ_y y σ_z = desviación estándar de la dispersión, en a las direcciones "y" y "z"

Las coordenadas se muestran en la Fig. VI-9, en donde se observa que "z" esta en la dirección vertical, "y" está en la horizontal cruzada al viento y "x" esta en la dirección del viento.

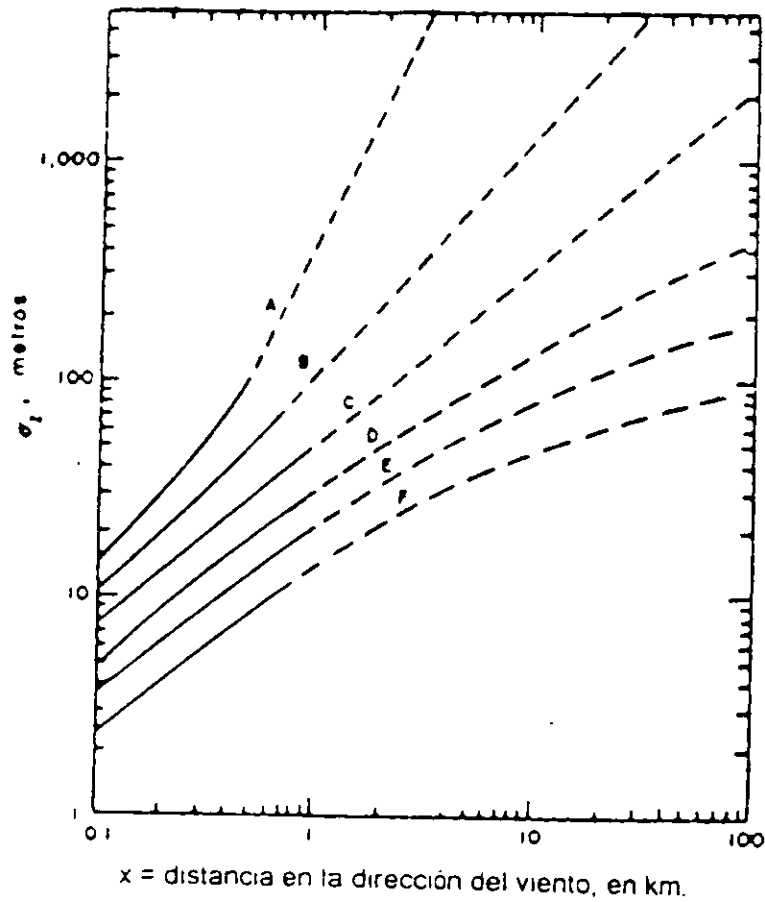
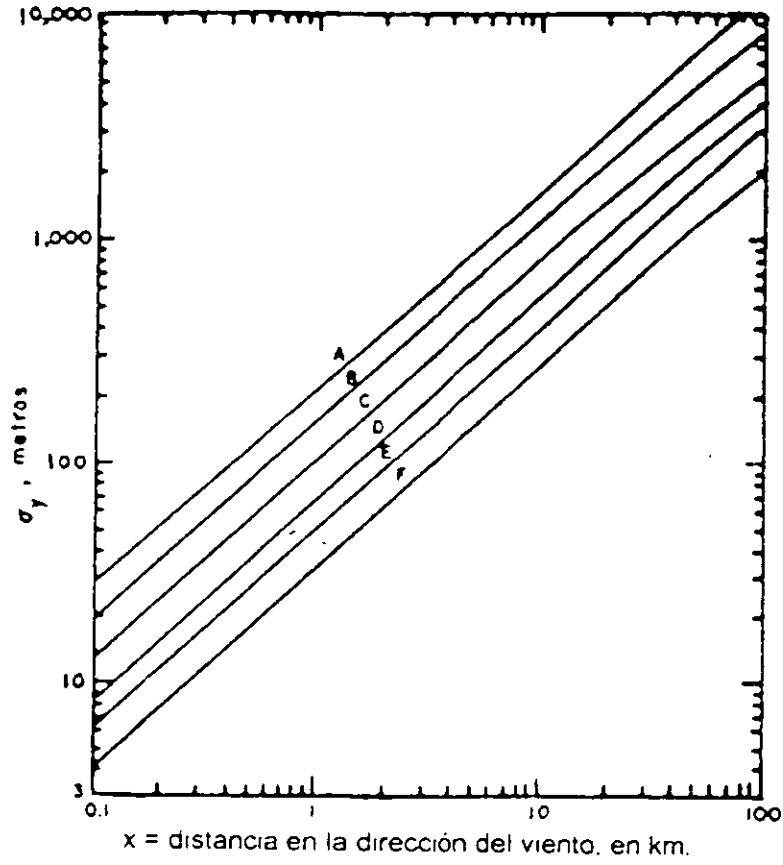


FIG. VI-12.- COEFICIENTES DE DISPERSION

Las desviaciones estándar, son medidas de que tanto se propaga la pluma; si "y" y "z" son grandes, la propagación es grande y la concentración es baja. Lo opuesto es verdad, si la propagación es pequeña.

La dispersión depende de la estabilidad atmosférica y de la distancia de la fuente; en la Fig. VI-12 se incluye una aproximación de los coeficientes de dispersión.

Como se mencionó, la estabilidad atmosférica se designa (Fig. VI-12) por letras que van de la A a la F, y la Tabla VI-6, es una guía para seleccionar la condición de estabilidad.

Considerando que una chimenea tiene una altura efectiva (altura de la chimenea más la elevación de la pluma) de Hm, la elevación de la línea de centro de la pluma es z = H, y entonces la ecuación de difusión es:

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

Puede observarse que la elevación de la línea de centro de la pluma es z = H, con lo que desaparece el último término exponencial, quedando la ecuación:

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

Esta ecuación, funciona mientras el suelo no tenga influencia en la difusión, lo cual no es una buena suposición, puesto que el suelo no es 100% eficiente como resumidero de contaminantes, y los niveles deben ser más altos al nivel del suelo, debido a la inhabilidad de la pluma para dispersarse en el suelo.

Este efecto puede ser tomado en cuenta, si se piensa en una imagen de espejo imaginario en la fuente a una elevación de z-H, como se muestra en la Fig. VI-13. Tomando esto en cuenta, se puede escribir:

$$X(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi\bar{u}\sigma_y\sigma_z} \left(\exp \left(-\frac{1}{2} \left[\left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \right) \times \right. \\ \left. \times \left(\exp \left(-\frac{1}{2} \left[\left(\frac{z-H}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right) + \exp \left(-\frac{1}{2} \left[\left(\frac{z+H}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right) \right) \right)$$

Ejemplo:

En una tarde soleada de verano con una velocidad promedio de viento $\bar{u} = 4$ m/s, un emisión $Q = 0.01$ kg/s y una altura efectiva de la chimenea $H = 20$ m., determinese:

- La concentración del contaminante a nivel de piso a una distancia de 200 m., desde la chimenea.

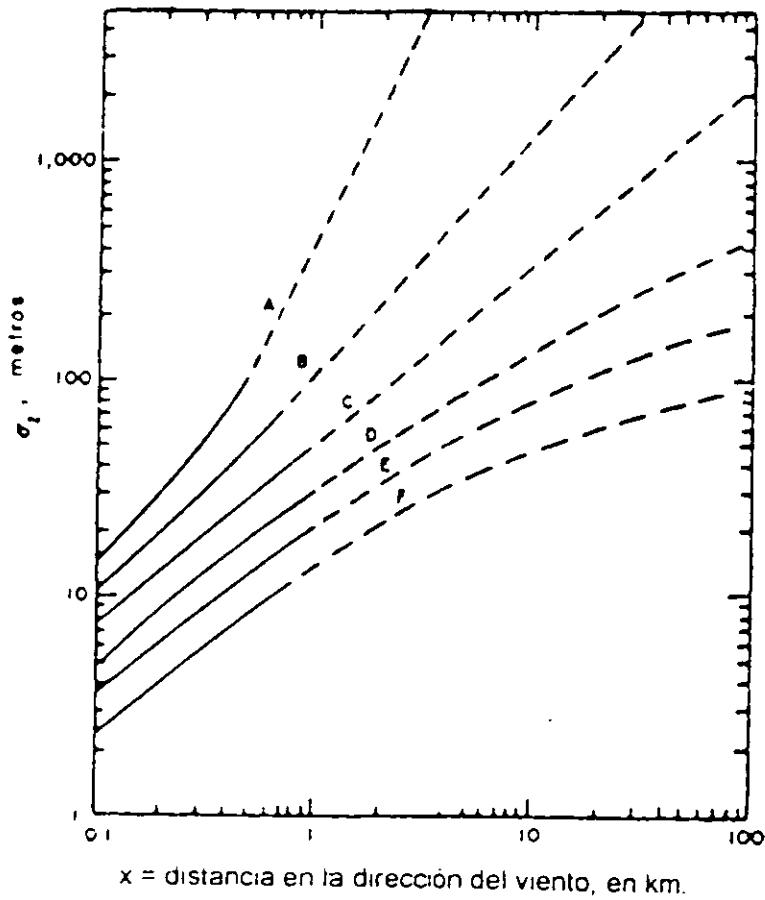
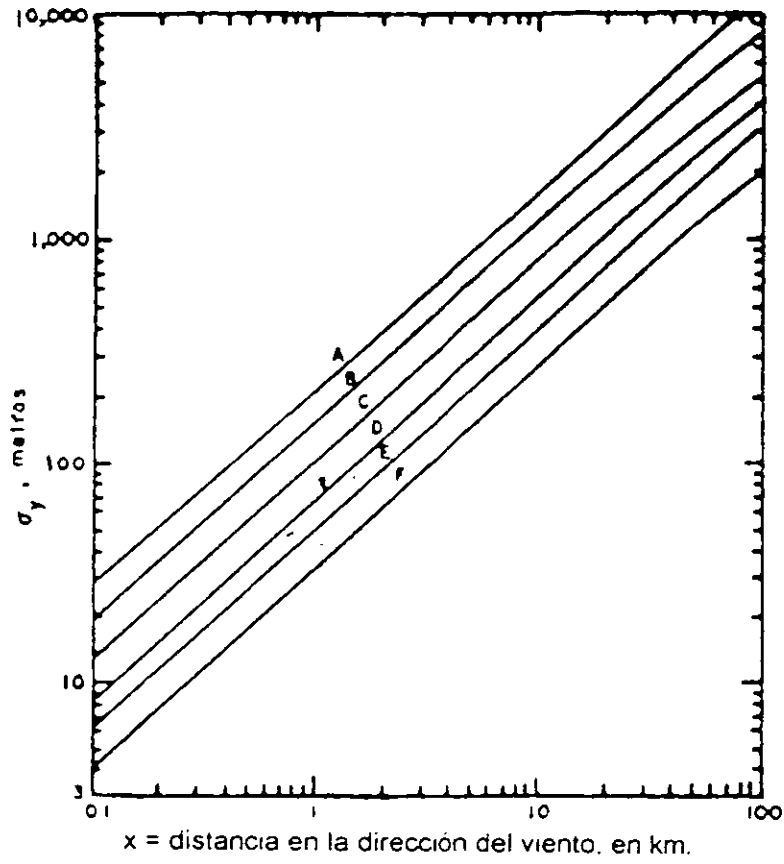


FIG. VI-12.- COEFICIENTES DE DISPERSION

Las desviaciones estándar, son medidas de que tanto se propaga la pluma; si "y" y "z" son grandes, la propagación es grande y la concentración es baja. Lo opuesto es verdad, si la propagación es pequeña.

La dispersión depende de la estabilidad atmosférica y de la distancia de la fuente; en la Fig. VI-12 se incluye una aproximación de los coeficientes de dispersión.

Como se mencionó, la estabilidad atmosférica se designa (Fig. VI-12) por letras que van de la A a la F, y la Tabla VI-6, es una guía para seleccionar la condición de estabilidad.

Considerando que una chimenea tiene una altura efectiva (altura de la chimenea más la elevación de la pluma) de H_m , la elevación de la línea de centro de la pluma es $z = H$, y entonces la ecuación de difusión es:

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

Puede observarse que la elevación de la línea de centro de la pluma es $z = H$, con lo que desaparece el último término exponencial, quedando la ecuación:

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

Esta ecuación funciona mientras el suelo no tenga influencia en la difusión, lo cual no es una buena suposición, puesto que el suelo no es 100% eficiente como resumidero de contaminantes, y los niveles deben ser más altos al nivel del suelo, debido a la inhabilidad de la pluma para dispersarse en el suelo.

Este efecto puede ser tomado en cuenta, si se piensa en una imagen de espejo imaginario en la fuente a una elevación de $z=H$, como se muestra en la Fig. VI-13. Tomando esto en cuenta, se puede escribir:

$$X(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi\bar{u}\sigma_y\sigma_z} \left(\exp \left(-\frac{1}{2} \left[\left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \right) \times \right. \\ \left. \times \left(\exp \left(-\frac{1}{2} \left[\left(\frac{z-H}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right) + \exp \left(-\frac{1}{2} \left[\left(\frac{z+H}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right) \right) \right)$$

Ejemplo:

En una tarde soleada de verano con una velocidad promedio de viento $\bar{u} = 4$ m/s, un emisión $Q = 0.01$ kg/s y una altura efectiva de la chimenea $H = 20$ m., determínese:

- La concentración del contaminante a nivel de piso a una distancia de 200 m., desde la chimenea.

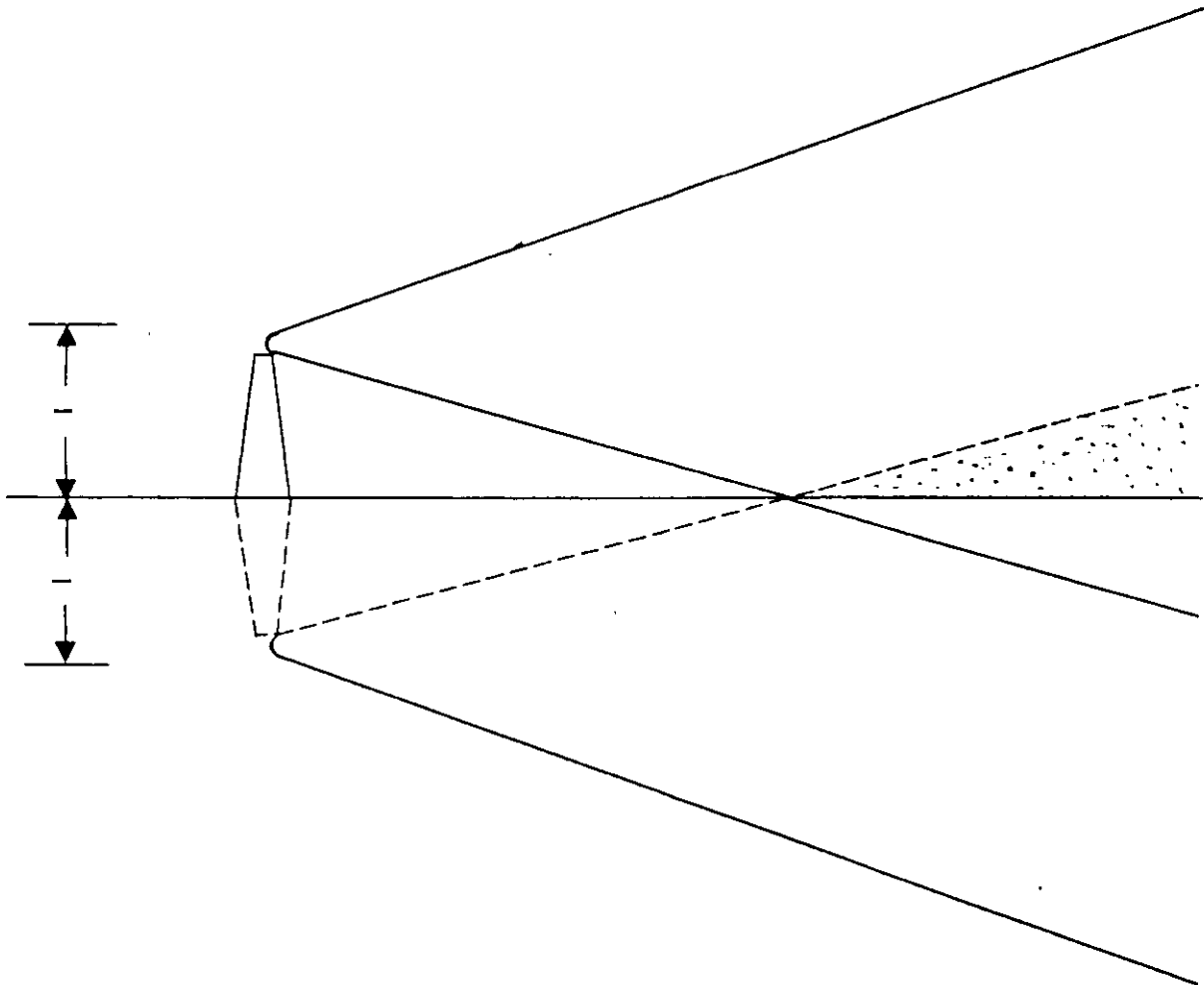


FIG. VI-13.- FUENTE E IMAGEN. EN EL AREA SOMBREADA LA CONCENTRACIÓN ES EL DOBLE POR LA IMAGEN DE LA FUENTE

Usando la ecuación anterior y de la Fig.VI-12, se determina, que a 200 m.

$$\begin{aligned} \sigma_y &= 36 \\ \sigma_z &= 20 \end{aligned}$$

Para una condición superadiabática y con fuerte radiación solar, según la Tabla VI-6, la condición atmosférica es de tipo B.

Se observa que la concentración máxima ocurre en la línea de centro de la pluma a "y" = 0

$$X = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \{ \exp(-\frac{1}{2} [(y/\sigma_y)^2]) \} \times \{ \exp(-\frac{1}{2} [(Z-H)^2 / \sigma_z^2]) + \exp(-\frac{1}{2} [(Z+H)^2 / \sigma_z^2]) \}$$

$$X = \frac{0.01}{2(3.14)(4)(36)(20)} \{ \exp(-\frac{1}{2} [(0/36)^2]) \} \times \{ \exp(-\frac{1}{2} [(0-20)^2 / 20^2]) + \exp(-\frac{1}{2} [(0+20)^2 / 20^2]) \}$$

$$X = (5.53 \times 10^{-7}) (1) (e^{-0} + e^{-1})$$

$$X = (5.53 \times 10^{-7}) (0.6 + 0.6) = 6.64 \times 10^{-7} \text{ kg/m}^3$$

$$x = 664 \text{ } \mu\text{gr/m}^3$$

6.3.2 Limpieza de la atmósfera

Puesto que todavía no nos hemos asfixiado, aún cuando inmensas cantidades de contaminantes se han estado lanzando al aire en millones de años, debe existir una serie de procesos por los cuales se limpia el aire; estos, incluyen el efecto de gravedad, contacto con la superficie de la tierra y remoción por precipitación.

Si son de suficiente tamaño, las partículas se remueven por simple asentamiento bajo la influencia de la gravedad, aunque las partículas comunes tienen velocidades de asentamiento muy bajas, p.e., una partícula de 1 μm tiene una velocidad de asentamiento de cerca de 1 cm/s, en condiciones ideales de quiescencia.

Debido a turbulencia en la atmósfera, prácticamente las partículas menores de 20 μm raramente se asientan por gravedad. Los gases se remueven por gravedad solo si son absorbidos en las partículas, p.e., el bióxido de azufre es fácilmente absorbido y entonces se remueve parcialmente por gravedad.

La materia de partículas no se dispersa en el aire en la misma forma que los contaminantes gaseosos.

Las partículas mayores de 1 mm de diámetro, caen fuera de la corriente de aire demasiado rápidamente, para que puedan ser dispersadas sobre cualquier distancia grande.

Las partículas que interesan como contaminantes del aire, las cuales son suficientemente pequeñas, para permanecer en el aire por periodos de tiempo apreciables, pero no suficientemente grandes para ser dispersadas en forma diferente a los gases, por lo general están entre 1 μm y 100 μm de diámetro.

Muchos de los gases son absorbidos por la superficie de la tierra, incluyendo piedras, vegetación y otros materiales; algunos gases como el SO_2 , son fácilmente disueltos en las superficies de aguas.

El tercer mecanismo mayor de remoción es por precipitación, del cual hay dos tipos:

- Proceso "en nubes" , llamado lluvia, en donde partículas submicrónicas se vuelven núcleos por la formación de gotas de lluvia que crecen y eventualmente caen como precipitación.
- El llamado lavado, que es un proceso "bajo-nube", en donde la lluvia cae a través de los contaminantes del aire; los contaminantes, son impactados o disueltos en las gotas y arrastrados a la tierra.

La importancia relativa de estos mecanismos de remoción, fue ilustrada por un estudio de emisiones de SO_2 en Gran Bretaña, en donde se encontró que la superficie absorbió el 60% de SO_2 , 15% fue removido por precipitación y 25% dejó a la Gran Bretaña yéndose a otras partes.

Conclusión

Las contingencias de contaminación del aire, son el resultado de altas emisiones y combinaciones de factores meteorológicos, entre los que se encuentran:

- Muy poco movimiento horizontal del aire
- Condiciones atmosféricas estables, que resultan en un muy limitado movimiento vertical del aire.
- Niebla, que promueve la formación de contaminantes secundarios e impide al sol calentar el piso y romper las inversiones
- Areas de alta presión, que resultan en movimiento vertical hacia abajo del aire y ausencia de lluvia para el lavado de la atmósfera.

Debido a que existe el potencial de conocer la información meteorológica, parece razonable que puedan predecirse las contingencias ambientales

6.3.3 Modelación de la dispersión de contaminantes

Técnicamente la dispersión de contaminantes se puede dividir en cinco etapas, como se muestra en la Fig. VI-14 y en la Tabla VI-7.

- 1ª Etapa: Está dominada por la turbulencia debida a la velocidad y energía de expansión. El patrón de flujo es el de un chorro, que determina la incorporación del aire.

Tiene un crecimiento simétrico por la turbulencia generada por la velocidad o energía de expansión; tanto para emisión instantánea como continua, la nube tiene una concentración de perfil Gaussiano.

El final de ésta fase inicial, ocurre cuando la velocidad de propagación es menor que la velocidad a la que ocurriría por caída gravitacional, y se toma como el principio de la siguiente etapa, que es la de caída. Si no se trata de una nube densa, el final ocurre cuando la velocidad de propagación es menor que la de dispersión pasiva. Los perfiles de concentración y densidad son Gaussianos y el volumen del chorro no es constante.

- 2ª Etapa: Es un híbrido dominada por turbulencia y densidad; la fuga aún está atrapando aire a cierta velocidad por su turbulencia inicial, pero empieza a extenderse lateralmente por tener mayor densidad que el aire.

El modelo de chorro uniforme, trata a la emisión como un chorro de volumen constante, con una sección transversal en que la concentración es uniforme. Se emplea para la fase inicial de emisiones horizontales, a nivel de piso o elevaciones.

- 3ª Etapa. Combina los aspectos relevantes de la chorro uniforme (2ª Etapa) y la de nube densa (4ª Etapa). Usa las relaciones para la propagación del frente para nube densa, mientras supone que el incorporamiento de aire continua, a una velocidad apropiada a las etapas iniciales de turbulencia.

- 4ª Etapa: Es en nube densa que puede ocurrir de diferentes formas: puede resultar de la emisión de un material con peso molecular mayor que el aire, o de material enfriado con peso molecular menor al aire. La presencia de gotitas de líquido en la nube, también puede contribuir a comportamiento de nube densa.

Las nubes densas, se dispersan de forma diferente a los chorros y nubes con flotación neutral; se dispersan como nubes planas que permanecen a nivel de piso, y se propagan hacia afuera por la caída gravitacional. El ensanchamiento de la nube, produce una área superficial a través de la cual ocurre el incorporamiento de aire a la nube, asociado con la misma propagación.

Al dispersarse, los efectos de densidad de la nube son menos importantes, hasta que finalmente se llega al comportamiento pasivo de la nube, en que la turbulencia ambiente es la principal causa de dilución.

- 5ª Etapa: A cierta distancia de la fuente el material emitido, se dispersa a tal grado, que su diferencia de densidades con el aire deja de ser definitiva, y sigue completamente las líneas de flujo atmosférico, que depende de la clase de estabilidad atmosférica. Las nubes pasivas o de flotación neutral, tienen una densidad y velocidad que no difiere significativamente de la densidad y velocidad atmosférica.

La dispersión se puede modelar estadísticamente; un perfil Gaussiano es apropiado para emisiones de fuentes puntuales. El ancho de los perfiles de concentración, por lo general es diferente en las direcciones horizontal y vertical de la sección transversal de la nube, y se describen por los parámetros σ_y y σ_z .

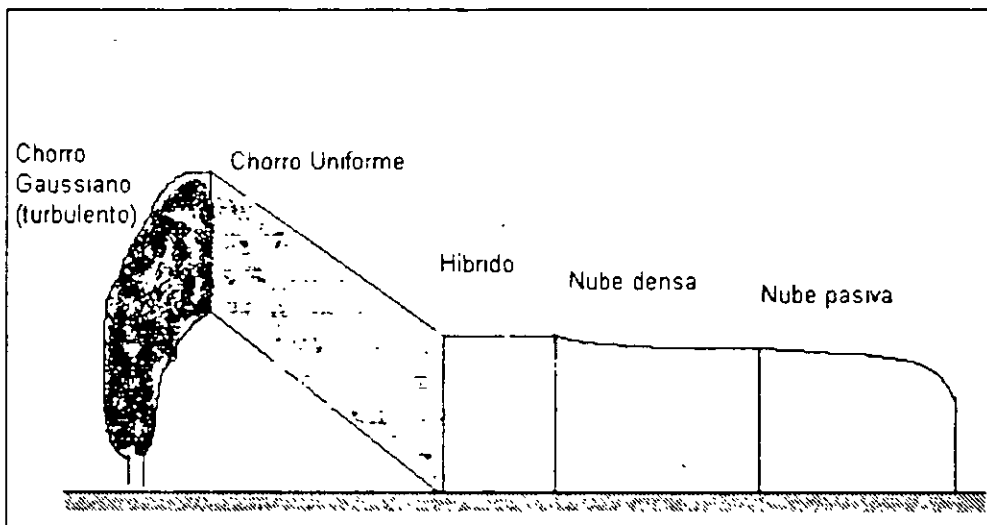


FIG. IV-14.- ETAPAS DE UNA EMISION CONTINUA VERTICAL

| Fase | Modelo | Régimen de Incorporación de Aire | Régimen de Propagación del Frente | Perfil de Concentración |
|-------------------|------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| Mezcla Turbulenta | Chorro Gaussiano | Turbulento (chorro) | Turbulento | Gaussiano |
| Mezcla Turbulenta | Chorro Uniforme | Turbulento (chorro) | Turbulento | Uniforme |
| Híbrida | Híbrido | Turbulento (chorro) | Caída | Uniforme |
| Nube Densa | Nube Densa | Denso | Caída | Uniforme |
| Pasiva | Nube Pasiva | Turbulencia Atmosférica | Pasivo | Gaussiano |

TABLA VI-7.- CARACTERISTICAS DE REGIMENES DE DISPERSION

6.4 Grado de afectación (nociva)

El grado de afectación, es el nivel en que se modifica a un elemento de interés; la modificación es indeseable, y es ocasionada por fenómenos naturales o actividades antropogénicas. La afectación puede ser al ambiente o a la ecología.

La afectación nociva puede ser sobre la salud humana, los bienes, la estética y el clima global; normalmente no se consideran casos de contaminación, sino más bien accidentes industriales.

Por lo general, decir que una sustancia es nociva no tiene mucho sentido, a menos que se especifique la dosis. Paracelso (1493-1541) estableció que: "existe un veneno en todo y nada existe sin veneno; es la dosis lo que lo hace nocivo". La dosis, puede expresarse en la siguiente forma:

$$\text{Dosis} = \int (\text{concentración en la exposición}) \times t (\text{tiempo})$$

Para determinar que dosis es nociva, se debe construir una "curva de respuesta a la dosis"; las curvas de este tipo (Fig VI-15), solo se pueden construir para un contaminante por separado, para una población homogénea hipotética y durante un periodo específico.

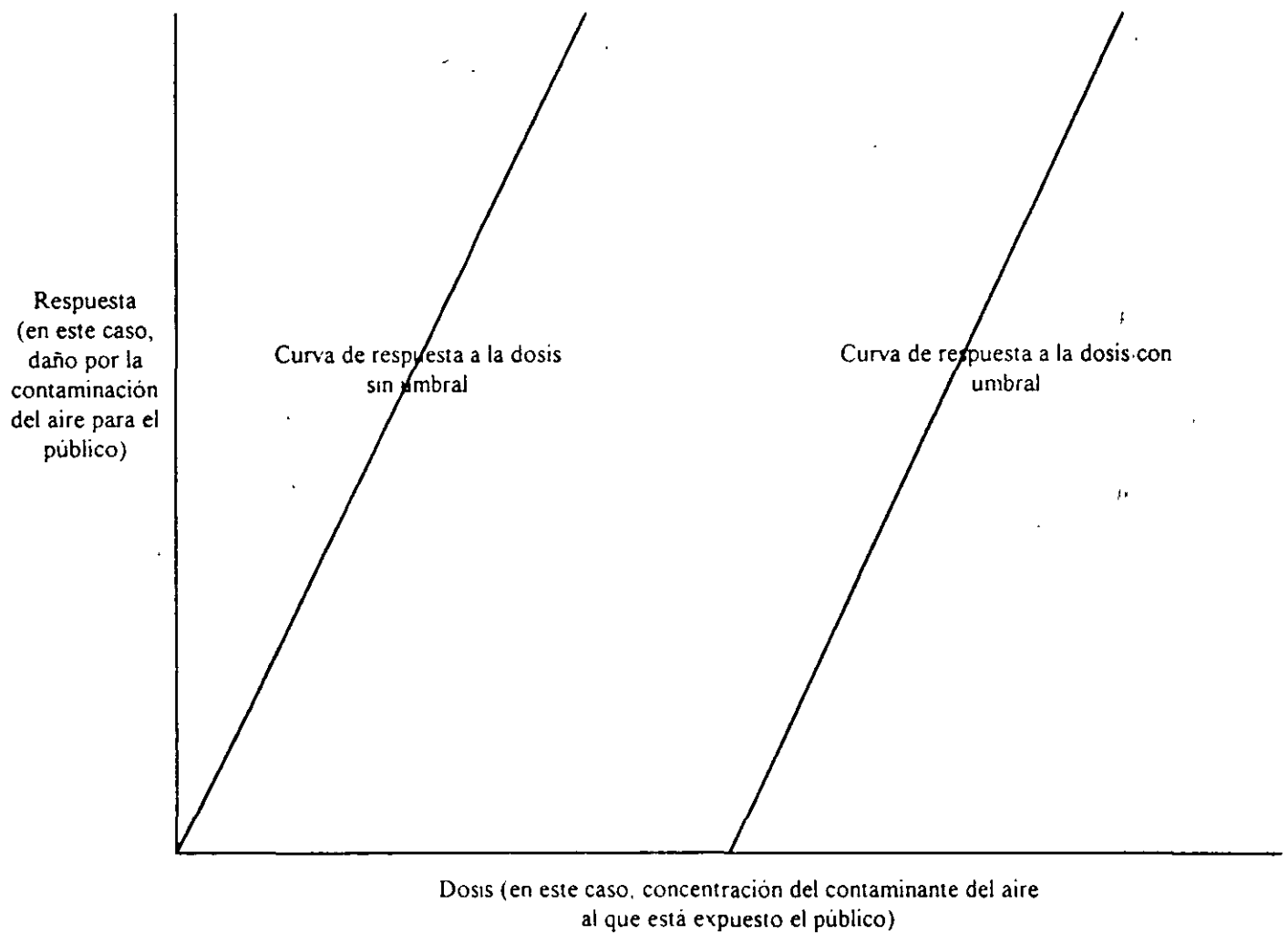
En higiene industrial, se ha observado que existe cierta concentración de contaminantes conocida como "valor de umbral", que "representa las condiciones a las que pueden exponerse repetidas veces la mayoría de los trabajadores, diariamente sin tener efecto adverso".

Los valores anteriores, que se conocen como TLV (Threshold Limit Values), "valor límite de umbral", son establecidos por las juntas de higiene y seguridad.

Para establecer la curva de respuesta a la dosis para un contaminante, se tienen tres enfoques posibles:

- Experimentos con animales
- Experimentos de laboratorio con seres humanos
- Estudios epidemiológicos de poblaciones humanas

El propósito de una cuantificación de riesgos, es identificar los riesgos existentes y estimar el grado de afectación potencial, para definir las medidas de prevención o mitigación necesarias y comunicarse a las partes correspondientes. Una forma de comunicar los riesgos, es mediante la determinación de los radios de afectación, que son la distancia que existe entre el evento indeseable y el efecto que ocasiona.



**FIG. VI-15.- CURVAS DE RESPUESTA A LA DOSIS CON UMBRAL Y SIN UMBRAL.
LAS RECTAS SON UNA ADMISION DE IGNORANCIA; EN GENERAL, NO SE
CONOCEN LAS FORMAS VERDADERAS DE ESTAS CURVAS**

El grado de afectación, que por lo general está relacionado con la liberación de sustancias químicas, puede cuantificarse en términos de:

- Toxicidad
- Explosividad
- Inflamabilidad
- Daño físico

6.4.1 Toxicidad

La toxicidad de una sustancia, es la capacidad que tiene de causar daño a un organismo vivo. No es posible definir la toxicidad de una sustancia en términos cuantitativos, sin referirse a los siguientes conceptos.

- Cantidad de sustancia administrada o absorbida
- La vía por la cual se administra (inhalación, ingestión, inyección, contacto o absorción)
- La distribución en el tiempo
- El tipo y gravedad del daño
- El tiempo para causar el daño

Los modos como actúan dentro del organismo, pueden estar relacionados con su sola presencia o por reacción dentro del organismo, p.e.:

- Sustancias que al estar presentes desplazan al oxígeno y provocan asfixia.
- El plomo, inhibe la formación del grupo hemo de la hemoglobina, produciendo anemia.

Por el tiempo de exposición, la toxicidad se clasifica en aguda (tiempo de exposición corto dentro de 24 horas) o crónica (tiempo de exposición prolongado).

La etapa de desarrollo puede ser embrionario, infancia, madurez o grado de sensibilidad.

Por lo general, para medir la toxicidad se hacen pruebas de laboratorio conocidas como bioensayos, que son pruebas realizadas en organismos vivos, para determinar el riesgo o potencial de una sustancia por su efecto sobre animales, tejidos aislados o microorganismos

Con los datos de bioensayos, se construyen las relaciones de dosis-respuesta para personas, determinadas de datos de salud o estudios epidemiológicos. La toxicidad se determina en organismos no humanos, incrementando la dosis hasta que muere el organismo, definiendo los términos LD₅₀ (dosis letal por la cual mueren el 50% de los animales experimentales) y LC₅₀, que es la concentración letal en lugar de la dosis.

Con los resultados de bioensayos y factores de escalación, se pueden definir concentraciones de sustancias que tienen efecto en seres humanos, y que permiten una evaluación rápida y práctica de la afectación potencial, que pueden causar cuando se liberan. Estas concentraciones, se consideran de exposición aguda y se designan en la siguiente forma:

- TLV. Definida anteriormente como Threshold Limit Value (Valor Umbral Límite). En México, los valores de TLV están incorporados en la NOM-010-STPS-1994, relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se producen, almacenan o manejan sustancias químicas, capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral.
- IDLH. Es la abreviatura de Immediately Dangerous to Life and Health, es decir, Inmediatamente Peligroso a la Vida y Salud (IPVS). Representa la máxima concentración a la cual, en caso de falla de respirador, puede escapar en 30 minutos una persona sin respirador, sin experimentar algún efecto que impida el escape (p.e., irritación severa de ojos) o bien efectos irreversibles a la salud.

En México no se han incorporado los valores IDLH a la normatividad, aunque se mencionan en la NOM-114-STPS-1994, relativa al sistema de identificación y comunicación de riesgos por sustancias químicas en los centros de trabajo, como parte de la información que hay que llenar, en las Hojas de Datos de Seguridad de Sustancias Químicas, como IPVS.

- ERPG. Es la abreviatura de Emergency Response Planning Guidelines, es decir, Guías de Planeación de Respuesta a Emergencias (GPRE). Es la máxima concentración de una sustancia química en el aire, por debajo de la cual casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta por una hora, sin experimentar o desarrollar efectos nocivos a la salud. Existen tres niveles de ERPG: ERPG-1-Irritación o percepción ligera; ERPG-2-Efectos irreversibles o síntomas que eviten que un individuo se proteja; ERPG-3-Efectos que amenacen la vida.

En la EPA se definieron las ERPG, con la intención que sirvan como criterios de afectación a la población, por lo que son más útiles que los TLV e IDLH para evaluar riesgos de procesos, que toman en cuenta la afectación de la población; en análisis de riesgos, se deben considerar los radios de afectación por fuga de sustancias tóxicas de la ERPG-2 (efectos irreversibles o síntomas que evitan que un individuo se proteja). En México no se conocen estas concentraciones y no se utilizan.

En la evaluación de riesgos, hay otras concentraciones de sustancias químicas que es conveniente tomar en cuenta, p.e.:

- LOC (Level of Concern). Sustancias químicas que pueden causar efectos nocivos a la salud serios e irreversibles, por emisiones accidentales.
- MAK. Concentración máxima aceptable, definida por la German Research Society.
- Cantidad de reporte. Listados en México de actividades altamente riesgosas, que indican sustancias químicas con sus respectivas cantidades de reporte, que es la cantidad mínima de sustancia peligrosa en producción, procesamiento, transporte, almacenamiento, uso o disposición final o la suma de estas, existentes en una instalación o medio de transporte, que al ser liberada ocasionaría una afectación significativa al ambiente, población o sus bienes.

En el caso de los efectos a exposición crónica a una sustancia química, en muchas ocasiones los efectos aparecen años después, por lo que es difícil establecer las causas y responsabilidades, ocasionando que los controles actuales sean deficientes. La falta de información impide una mejor protección, por la falta de concientización.

6.4.2 Explosividad

El grado de afectación por explosividad, se refleja en los daños fisiológicos o estructurales, que ocurren en el receptor como consecuencia de las ondas de sobrepresión, producidas por una explosión.

Los daños mencionados, se encuentran consignados en las siguientes Tablas:

- Tabla VI-8.- Efectos fisiológicos por las ondas de sobrepresión.
- Tabla VI-9.- Efectos estructurales por las ondas de sobrepresión.

| Presión (psi) kg/cm ² | Efecto |
|----------------------------------|---|
| (5) 0.35 | Umbral de ruptura de tímpano |
| (15) 1.05 | 50% de probabilidad de ruptura de tímpano |
| (30-40) 2.11 - 2.81 | Umbral de daño a pulmón |
| (80) 5.63 | Daño severo a pulmón |
| (100-120) 7.04 - 8.45 | Umbral de letalidad |
| (130-180) 9.15 - 12.67 | 50% de probabilidad de letalidad |
| (200-250) 14.08 - 17 | Casi 100% de probabilidad de letalidad |

TABLA VI-8.- EFECTOS FISIOLÓGICOS POR LAS ONDAS DE SOBREPRESIÓN

| Presión (psi) kg/cm ² | Efecto |
|----------------------------------|--|
| (0.03) 0.002 | Ruptura ocasional de ventanas de vidrio grandes que estén bajo tensión. |
| (0.1) 0.007 | Ruptura de ventanas pequeñas que están bajo tensión |
| (0.3) 0.021 | "Distancia segura" (probabilidad de 0.95 de que no ocurran daños serios a partir de este valor), límite de proyectiles; algunos daños a techos de casas, ruptura del 10% de ventanas de vidrio |
| (0.5-1.0) 0.035-0.070 | Ventanas grandes y pequeñas normalmente estrelladas; daño ocasional a marcos de ventanas |
| (1.0) 0.070 | Demolición parcial de casas, se vuelven inhabitables |
| (2.0) 0.140 | Colapso parcial de techos y paredes de casas. |
| (3.0) 0.210 | Poco daño a maquinaria pesada (3000 lb) dentro de edificios industriales, armazones de acero en edificios se deforman y son arrancados de sus cimientos. |
| (4.0) 0.280 | Ruptura del revestimiento de edificios industriales ligeros |
| (5.0) 0.350 | Los postes de madera se rompen súbitamente; prensas hidráulicas altas (40,000 lb) en edificios son ligeramente dañadas |
| (7.0) 0.490 | Volcadura de vagones de ferrocarril cargados. |
| (9.0) 0.630 | Demolición total de vagones de ferrocarril cargados. |
| (10.0) 0.700 | Probable destrucción total de edificios, desplazamiento y daño fuerte a maquinaria pesada (7000 lb), la maquinaria muy pesada (12,000 lb) sobrevive. |
| (300) 21.1 | Formación de cráter volcánico |

TABLA VI-9.- EFECTOS ESTRUCTURALES POR LAS ONDAS DE SOBREPRESIÓN

En la mayoría de las veces, para que exista una explosión se requiere que exista una fuente de ignición, por lo que en la evaluación de riesgos por sustancias explosivas, es necesario conocer el comportamiento de la nube y las distancias de los límites de inflamabilidad superior e inferior. Estos límites, están calculados para la mayoría de las sustancias inflamables empleadas, y se encuentran en las Hojas de Datos de Seguridad de Sustancias Químicas, que de acuerdo con la NOM-114-STPS-1994, deben estar en todas las instalaciones que manejen sustancias peligrosas.

6.4.3 Inflamabilidad

El grado de afectación por inflamabilidad, se manifiesta en daños fisiológicos o estructurales, por la ocurrencia de un incendio.

La inflamabilidad de una sustancia, es la tendencia a encenderse y aplica a sólidos, líquidos o gaseosos.

Un incendio, es un fenómeno en el cual una sustancia combustible arde y produce flama, al ponerse en contacto con una fuente de ignición. La flama libera energía y el grado de afectación, depende de los niveles de radiación térmica emitidos, y pueden afectar por.

- Aceleración de moléculas por el incremento de temperatura
- Ebullición y fusión de sustancias en el área afectada

El resultado más conocido de exponerse a una fuente de calor, se conoce como quemadura, que se define como el daño causado al cuerpo por contacto con flamas, sustancias calientes, sustancias químicas, electricidad o radiación; los efectos pueden presentarse de inmediato, retardarse varias horas o aún de 10 a 30 días en las quemaduras por radiaciones ionizantes

La severidad de una quemadura, se mide de acuerdo a la profundidad del tejido destruido y la superficie del cuerpo afectada; las quemaduras se clasifican en los siguientes grados

- 1er grado. Solo la epidermis es afectada, como las quemaduras leves por la exposición al sol.
- 2º grado: Las que causan daños mas allá de la epidermis y se extienden a la dermis; los daños típicos son la formación de ampollas, que deben cuidarse por el riesgo de infección
- 3er grado: Destruyen todo el grueso de la piel y a todos los receptores nerviosos que indican dolor, son muy graves, porque pueden causar shock o pérdida de fluidos y disturbios metabólicos.
- 4º grado Son quemaduras muy profundas eléctricas, que llegan a afectar el músculo y el hueso.

Para evaluar riesgos por inflamabilidad, se requiere conocer la localización de las fuentes de ignición, incluyendo en estas, a las superficies calientes o radiación de calor, que pueden encender a ciertos materiales a temperaturas elevadas, sin la existencia de chispa o flama

Los tipos de incendios, pueden clasificarse en la siguiente forma:

- Incendio de charcos. La fuente de ignición se aplica a un charco de líquido inflamable derramado; las flamas son verticales.
- Bola de fuego. Resulta de la liberación instantánea de un gas o líquido inflamable, que encuentra la fuente de ignición en el punto de emisión; las flamas irradian en todas direcciones.
- Flamas de chorro o de jet. Ocurren cuando un gas o líquido inflamable fuga por un orificio y encuentra una fuente de ignición en el punto de fuga; la dirección de la flama es igual a la dirección de la fuga.
- Flamazos. Son fuegos de chorro de duración semi-instantánea.
- Incendios de sólidos. Son similares a los incendios de charcos, porque el material está acumulado sobre una superficie; las flamas tienen una dirección vertical.

En la Tabla VI-10, se muestran los efectos fisiológicos de acuerdo a los niveles de radiación térmica, y en la Tabla VI-11 los efectos estructurales.

| Flujo de calor Kw/cm ² | Efecto |
|-----------------------------------|---|
| 1.75 | Umbral de dolor alcanzado después de 1 minuto |
| 5 | Umbral de dolor alcanzado después de 15 segundos |
| 6.4 | Umbral de dolor alcanzado después de 8 segundos, quemaduras de segundo grado después de 20 segundos |
| 12.5 | Potencial de que el 10% de la población afectada muera en exposiciones de 1 minuto |
| 16 | Quemaduras severas después de 5 segundos |
| 37.5 | Potencial de que el 100% de la población muera en exposiciones de 1 minuto |

TABLA VI-10 EFECTOS FISIOLÓGICOS DE ACUERDO A LOS NIVELES DE RADIACIÓN TÉRMICA

| Flujo de calor Kw/cm ² | Efecto |
|-----------------------------------|---|
| 2 | Daños a cables forrados con PVC |
| 12.5 | Fundición de tubería de plástico, la madera se enciende en presencia de flama |
| 25 | La madera se enciende sin presencia de flama |
| 37.5 | Suficiente para causar daño a equipo de proceso |

TABLA VI-11.- EFECTOS ESTRUCTURALES

Similarmente a las explosiones, se requiere conocer los límites de inflamabilidad, para determinar en donde deben evitarse las fuentes de ignición.

6.4.4 Criterios para definir grados de afectación

A efecto de comunicar en forma comprensible los riesgos a las personas interesadas, se requiere tener un sistema homogéneo para determinar los grados de afectación. En la actualidad, se tienen los siguientes criterios:

SSA.- Tiene normadas las concentraciones máximas permisibles en el aire de los siguientes contaminantes: NO_x, SO₂, CO, partículas, Pb y O₃.

STPS.- Tiene establecidos los límites máximos de concentración permitidos de sustancias en el ambiente laboral.

SEMARNAP.- Tiene normados los niveles máximos permitidos de emisiones a la atmósfera de partículas y gases de combustión.

La normatividad anterior, se refiere a límites para emisiones a la atmósfera de sustancias tóxicas, es decir, que faltan criterios para la afectación por inflamabilidad y explosividad, aunque existen las siguientes opiniones:

- Establecer la máxima distancia para evitar fuentes de ignición, más allá del límite inferior de inflamabilidad.
- La onda de sobrepresión por explosión, debe ser menor de 0.5 psi fuera del límite de propiedad de la empresa (INE-SEMARNAP)
- No debe existir concentración IDLH fuera del límite de propiedad de la empresa (INE-SEMARNAP).

La Asociación Nacional de la Industria Química ANIQ, conjuntamente con la Dirección General de Protección Civil DGPC, publicaron una Guía de Respuestas Iniciales en casos de Emergencia, para transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos, aunque únicamente para sustancias tóxicas.

En Mayo de 1996, en EUA se publicaron reglas para administración de riesgos, con criterios de afectación de gases y líquidos peligrosos por:

- Incendios
- Explosiones
- Toxicidad

Las reglas mencionadas, se conocen con el nombre de Risk Management Program Rule (RMP), y la vigilancia de su cumplimiento es responsabilidad de la EPA. El RMP, requiere evaluación de consecuencias por emisiones accidentales, y definición de grados de afectación por toxicidad, inflamabilidad y explosión, en la siguiente forma:

- Toxicidad.- Definir la distancia afectada por la concentración ERPG-2;
Si no está calculado ERPG-2, entonces LOC;
Si no se tiene el valor de LOC, entonces el 10% de IDLH;
Si no se tiene el IDLH, entonces el 10% de LC₅₀ o 1% de LD₅₀
- Inflamabilidad.- Definir distancia afectada, por nivel de radiación térmica de 5 kw/m² durante 40 segundos, o bien la distancia afectada por el límite inferior de inflamabilidad.
- Explosividad.- Definir la distancia afectada por el nivel de sobrepresión de 0.07 kw/cm² (1.0 psi)

6.5 Modelos de simulación

6.5.1 General

Un modelo de simulación, es una forma de representar el comportamiento de un fenómeno real o de un conjunto de elementos reales.

Por lo general, los modelos de simulación se utilizan para pronosticar el comportamiento de sistemas, a través del análisis de su funcionamiento y la definición de variables, que representen sus elementos.

Prácticamente, todos los fenómenos reales son más complejos, que lo que pueda expresarse en ecuaciones matemáticas, que son la base de los modelos de simulación, por lo cual, se requiere hacer simplificaciones y suposiciones, que posteriormente deben validarse.

El uso moderno de la palabra simulación, se remonta hasta a fines de la década de 1940, cuando Von Neumann y Ulam emplearon el término "análisis de Monte Carlo", para aplicarlo a una técnica matemática, usada para resolver problemas de protección nuclear, que eran muy costosos para experimentar o muy complicados para tratarlos analíticamente.

El análisis de Monte Carlo, incluía la solución de un problema no probabilístico, mediante la simulación de un proceso estocástico, cuyos momentos o distribuciones de probabilidad, satisfacen las relaciones matemáticas del problema no probabilístico.

Simulación, es una técnica numérica para conducir experimentos en computadora, que requieren ciertos tipos de modelos lógicos y matemáticos, que describen el comportamiento de un fenómeno real, por periodos de tiempo real.

Los modelos de simulación, están estrictamente relacionados con el método científico descrito por Sir Francis Bacon en 1620, que consiste de cuatro pasos:

- Observación de un sistema físico
- Formulación de una hipótesis (modelo matemático), para intentar explicar las observaciones hechas
- Predicción del comportamiento del sistema, de acuerdo a la hipótesis usando la deducción lógica o matemática, para obtener soluciones del modelo matemático.
- Realización de experimentos, para probar la validez de la hipótesis o modelo matemático.

De acuerdo al planteamiento matemático, los modelos de simulación pueden clasificarse en la siguiente forma:

- Determinísticos
- Estocásticos
- Estáticos
- De distribución (dinámicos)

En la Fig. VI-16, se muestra el flujograma para elaborar modelos de simulación. Los modelos de simulación se han desarrollado en los últimos 15 años, para ayudar a estimar el impacto de los contaminantes en el ambiente. Existen modelos para:

- La calidad del aire
- La calidad del agua
- Vegetación y fauna silvestre
- Energía

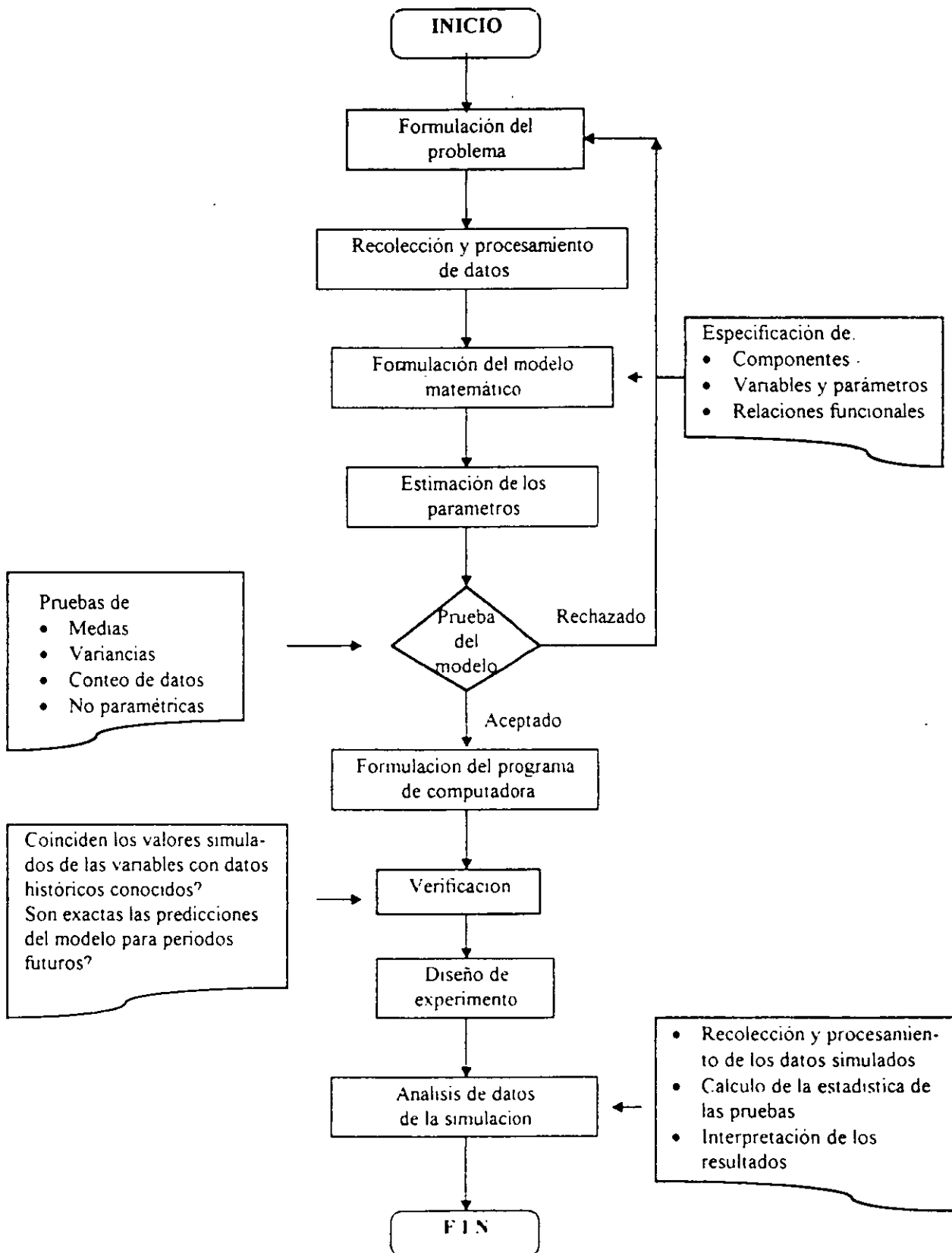


FIG. VI-16.- FLUJOGRAMA PARA ELABORAR MODELOS DE SIMULACION

6.5.2 Modelo de calidad del aire

Estos modelos, por lo general se usan para estimar la dispersión e impactos de los contaminantes en el aire, de una amplia variedad de fuentes; los modelos ayudan a simular las interacciones atmosféricas.

La complejidad de los modelos, varía desde un simple modelo de caja, hasta los más complejos. La precisión de algunos de estos modelos no es buena y depende de la complejidad de la meteorología, estabilidad atmosférica, química atmosférica y habilidades del modelador.

Las fuentes de emisión pueden ser puntuales (de una chimenea) o no puntual (de una área general); un ejemplo de fuente no puntual podría ser polvo fugitivo y evaporación.

Los modelos pueden ayudar a estimar la concentración en ppm de partículas; el SO₂ de la chimenea de una caldera, puede estimarse en la línea de propiedad o cerca del receptor sensitivo.

Los cuatro tipos generales de modelos de calidad del aire, que van del más simple al más complejo incluyen los siguientes.

Modelos de caja. - Se usa para fuentes en el piso, que se distribuyen uniformemente en una área pequeña; el modelo, supone que los contaminantes se generan en un volumen fijo limitado por arriba y a los lados, lo cual no es el caso en la vida real. Este modelo es de valor limitado, excepto para ciertos casos.

Modelo proporcional. - Normalmente se usa para estimar concentraciones de contaminantes primarios y secundarios; está basado en la idea que la calidad del aire se deteriora en proporción a un incremento en las emisiones. Este modelo también considera la velocidad del viento.

Modelos de base Gaussiana - Estos modelos, agregan la habilidad de considerar dispersión turbulenta y estabilidad atmosférica; hay diferentes tipos de estos modelos de calidad del aire, usados para estimar los impactos al aire. Los modelos de base Gaussiana, solo pueden manejar procesos simples de química del aire, lo cual limita su aplicación.

Modelos de base numérica. - Son el cuarto tipo de modelos de calidad del aire; son los más comúnmente usados y en la mayoría de los casos los más precisos. Son los que mejor consideran los procesos complejos de química del aire, requieren una base de datos mucho más grande y mejores habilidades del modelador

6.5.3 Modelación de la calidad del agua

Los modelos de la calidad del agua, se han desarrollado para ayudar a los investigadores, a comprender lo que pasa a los contaminantes en los sistemas de aguas superficiales y subterráneas; estos modelos, calculan y proveen ilustraciones en tres dimensiones, de como se mueven el agua y los contaminantes en el sistema. Algunos modelos incluyen otras variables, en adición a los factores relacionados con el agua, como elementos biofísicos, socioculturales e institucionales.

Hay muchos diferentes indicadores ambientales usados en los modelos, para ayudar a evaluar la calidad del agua; se han listado mas de 100 indicadores diferentes como pH, Oxígeno disuelto OD, etc. Todos estos indicadores se organizan en las siguientes categorías generales:

Geofísica

- Geología
- Suelos
- Topografía
- Erosión/sedimentación

Hidrología

- Agua superficial
- Agua subterránea
- Meteorología

Calidad del agua

- Agua superficial
- Agua subterránea

Sistemas de agua

- Uso del agua
- Facilidades de tratamiento de agua
- Sistemas de distribución

Sistemas de agua de desecho

- Sistemas de recolección
- Sistemas de tratamiento

Hay tres tipos generales de modelos de calidad del agua que pueden ser utilizados:

- De una dimensión.- Normalmente se usan para corrientes que fluyen solo en una dirección; se supone que todas las concentraciones son uniformes a través de la corriente y verticalmente, lo cual no es verdad en la realidad.
- De dos dimensiones.- Se usan para ríos grandes, que no son uniformes en concentración en el ancho y profundidad; se toman en cuenta las condiciones de estratificación térmica.
- De tres dimensiones.- Estos modelos, consideran variaciones en las direcciones lateral, horizontal y vertical, y se requiere mayor habilidad y datos para soportarlo, dando como resultado mayor precisión y costo.

Se pueden considerar varias aplicaciones de modelos de agua, entre los que se encuentran los siguientes:

- De zona de mezclado.- Ayudan a determinar cuando los contaminantes se mezclan uniformemente, a través de toda la corriente.
- De Oxígeno disuelto.- Consideran la demanda bioquímica de Oxígeno (DBO), temperatura y Oxígeno disuelto (OD), dentro del cuerpo de agua.
- De temperatura.- Ayudan a determinar los perfiles de temperatura dentro del cuerpo de agua, que es importante porque afecta muchas otras reacciones.
- De pequeños lagos.- Considera el mezclado inducido por el viento y las entradas de flujo de dos fuentes.
- De corrientes (escurrimientos).- Estiman la distribución temporal de escurrimientos de las áreas.
- De erosión y sedimentación.- Considera los cambios en las tasas de erosión y los cambios en los patrones de sedimentación. Son útiles durante la construcción de proyectos.
- De agua subterránea.- Ayudan a determinar la tasa de extracción máxima sustentable de un acuífero. Se puede modelar tanto la hidrología del agua subterránea, como la calidad del agua.

6.5.4 Modelación de la vegetación y fauna silvestre

No hay muchos modelos avanzados para evaluar los impactos biológicos totales, como hay para los impactos en aire y agua.

Los impactos en la vegetación y fauna silvestre, son normalmente evaluados a través de la medición de varios parámetros e interpretaciones, concernientes a las interrelaciones de los ecosistemas.

Los pocos modelos que existen están basados en un número de variables, muchas suposiciones e información en el sitio, sobre la vegetación y fauna silvestre. Estos modelos, permiten probar las variables junto con los impactos esperados y la afectación de controles, p.e., algunos modelos ayudan a evaluar el impacto de una operación sobre la migración animal, especies raras y endémicas y los hábitats. Muchos de los métodos de evaluación biológica:

- Son subjetivos
- Usan datos cualitativos
- Requieren mucha experiencia y paciencia
- Requieren juicio e intuición
- Son altamente sensitivos de tiempo

Los modelos y metodologías de evaluación de la vegetación y fauna silvestre, por lo general se categorizan en los siguientes cuatro tipos:

Ambiental/biológico general.- Los modelos y evaluaciones de impacto biológico/ambiental general, son de los siguientes tipos:

- Ad hoc (guía mínima)
- Cubrimiento (uso de mapas)
- Check list (lista de parámetros)
- Matriz (uso de rangos, clasificaciones, importancia)
- Redes

Este último tipo (de red), es el más comprensivo y se expande sobre el método de matriz, agregando las interrelaciones causa-condición-efectos, lo cual permite una identificación de los efectos acumulativos e indirectos, y también hacer la distinción entre impactos primarios, secundarios y terciarios. Con frecuencia, estos impactos se muestran visualmente como árboles de impactos.

El método de red, ayuda al analista a apreciar la complejidad del ambiente, y el hecho que con frecuencia un impacto lleva a otros; en realidad algunos impactos son circulares, lo cual complica aún más la situación.

Ambiente físico.- Los modelos de evaluación del ambiente físico, relacionan los datos geográficos, geológicos, de suelos y climatológicos con los datos biológicos; estas son adiciones importantes al modelo, puesto que es el ambiente en el cual viven los organismos. Estas variables pueden magnificar o reducir los impactos.

Flora.- Los modelos y evaluaciones de la flora, requieren un inventario y mapeo de las especies, comunidades, densidad, madurez, sucesión, productividad, diversidad y dominancia de plantas, la evaluación utiliza trazos de rejillas, transversales y muestras. También se usan otros tipos de datos secundarios, que relacionan la topografía, geología, suelos y la influencia de la organización.

Fauna. - Los modelos y evaluación de la fauna, utilizan los mismos conceptos de la vegetación, sin embargo, es mas difícil registrar y estudiar especies animales porque son móviles. Esto, puede requerir observaciones y/o equipos de recolección especiales, como nidos para pájaros, y observaciones durante todas las horas del día y la noche, también hay diferencias mayores entre las técnicas usadas para fauna silvestre terrestre y marina.

6.5.5 Modelación de la energía

Cuando se evalúa el comportamiento de toda la energía, por lo general se necesita sumar varios tipos de energía o potencia, que pueden estar expresadas en unidades diferentes, por lo que primeramente se deben convertir todas a las mismas unidades, p.e., en la lista siguiente se incluyen algunas unidades utilizadas y que deben ser convertidas para compararlas o sumarlas:

- BTU
- kW-h
- MW-h
- Barriles
- HP-h
- m-kg
- joules
- ergs
- Cal
- kCal
- CV, HP
- watt
- kW
- MW
- barriles/día
- barriles/año
- kCal/s
- kCal/h
- $\frac{\text{kg-m}}{\text{s}}$

El análisis y modelación del impacto de la energía, por lo general es un proceso constituido por las tres etapas siguientes.

- Primera. - Debe hacerse un inventario de la energía, que incluya todos los tipos de energía consumidos, producidos y conservados.
- Segunda - Identificar las medidas de conservación usadas para minimizar el consumo de energía, que incluya en detalle los ahorros, características y cantidades de todas las energías.

- Tercera.- Predecir o evaluar los efectos de la energía, junto con los suministros y demandas de energía.

La comprensión de los cambios en el suministro y demanda de la energía, son el elemento clave de la evaluación de la energía.

6.5.6 Condicionantes

Para que exista un riesgo, en el caso de sustancias peligrosas, se requiere que éstas sean liberadas al ambiente, lo cual, en el caso de líquidos y gases siempre implica su dispersión en el aire.

Algunos de los factores y escenarios, que hacen compleja la elaboración de modelos de simulación son los siguientes:

- Multitud de escenarios de emisión y dispersión
- Emisión continua o instantánea
- Tubería o recipiente
- Gases o líquidos
- Presurizados o sin presión
- Densidad mayor o menor que el aire
- Involucramiento de cambios de fase
- Interacciones termodinámicas con el ambiente
- Diferentes irregularidades y consistencia del terreno
- Configuración de las estructuras de la planta
- Diferentes condiciones atmosféricas
- Temperatura de los fluidos emitidos
- Otros

Los modelos de simulación, también pueden clasificarse en los siguientes dos tipos:

- Cualitativos - Solo utilizan expresiones que describen o narran el comportamiento del sistema, no especificándose cantidades.
- Cuantitativos.- Utilizan ecuaciones matemáticas para especificar y cuantificar en detalle los cambios en el sistema.

En el análisis de riesgos, los modelos de simulación tienen diversas aplicaciones, entre las que se encuentran principalmente las siguientes.

- Estimación de la probabilidad, magnitud y efectos por fugas y derrames de sustancias peligrosas.
- Localización de una planta, arreglos de conjunto, generales y de equipo.
- Diseño de estructuras, sistemas, equipos y componentes.
- Determinación de la confiabilidad de instalaciones.
- Definición de modificaciones a procesos, incluyendo aspectos de seguridad.

- Preparación de planes de emergencia.
- Entrenamiento de personal.

De acuerdo con la etapa en que se encuentre la sustancia, los modelos de simulación pueden clasificarse en la siguiente forma de:

- Proceso.- Predicen la transformación y comportamiento de las sustancias, durante las diferentes etapas del proceso productivo.
- Dispersión.- Predicen el comportamiento y dirección, que seguirán las sustancias cuando sean liberadas; hay modelos separados para dispersión en el aire, en el agua y en el subsuelo, pero no hay un modelo de dispersión en los tres medios simultáneamente.
- Descarga.- Predicen lo que sucederá con el material, al momento de ser liberado al ambiente, y calculan:
 - Si el material se libera como líquido, gas o ambos y sus proporciones.
 - La rapidez de emisión
 - Forma de cambio de su temperatura
 - Si se forma un charco, sus dimensiones y velocidad de evaporación.
 - La rapidez de mezcla con el medio en que se liberó.
- Explosión.- Calculan el alcance de las ondas de sobrepresión, generadas por la explosión de una nube de vapor.
- Incendio.- Calculan el alcance de niveles de radiación térmica, producida por las flamas de una sustancia.

6.5.7 Aplicabilidad

Las principales características que debe tener un modelo de simulación, a efecto que pueda tener una aplicación útil en el análisis de riesgos, son las siguientes:

- Ser aplicable a sustancias peligrosas, y considerar no únicamente sus propiedades físico-químicas, sino también sus propiedades de toxicidad e inflamabilidad.
- Poderse aplicar a eventos en que la sustancia se libera al ambiente, es decir, debe tomar en cuenta las condiciones ambientales, en donde ocurre el accidente.
- Ser capaz de predecir el comportamiento de la sustancia al ser liberada, es decir, poder predecir la formación de nubes, charcos o neblinas, y definir los cambios que ocurren durante la dispersión, como turbulencia, densidad de la nube e influencia del viento.

- Que la dispersión que modele, identifique el alcance de concentraciones de interés que pueda definir el usuario, o bien que sean concentraciones que señalen algún grado de afectación.
- Definir las distancias para diferentes niveles de afectación por toxicidad, explosividad o inflamabilidad.

Otras características importantes que deben tener los modelos de simulación, son las siguientes:

- Rapidez para realizar los cálculos, que puede significar un ahorro de tiempo.
- Exactitud de los resultados, que puede significar ahorro de recursos, al señalar zonas que no requieren protección, o bien dedicar recursos a zonas que si requieran protección.
- Precisión o reproducibilidad, lo cual asegura confianza en los resultados.
- Costo, que es directamente proporcional al beneficio que pueda generar. De cualquier forma, el costo de un buen modelo puede ser muchas veces menor a los costos de reparar daños, causados por un evento indeseable no evaluado adecuadamente.

Los criterios que siga el analista para evaluar los riesgos, son junto con las características del modelo, los aspectos mas importante; los criterios que puede seguir el analista son los siguientes:

- Modelar todos los escenarios que se pueda imaginar el analista.
- Estudiar los antecedentes del proceso, y modelar los eventos que han ocurrido en el pasado o pudieron ocurrir.
- Identificar los eventos indeseables y modelarlos.
- Identificar los escenarios que resulten de la liberación al ambiente de la sustancia
- Calcular las consecuencias o radios de afectación potenciales.

6.5.8 Metodologías y validación

Para establecer los criterios de modelación, se pueden utilizar los siguientes dos documentos como guía:

- Manual de Técnicas para Evaluar Riesgos Industriales, MTERI, del Banco Mundial
- Risk Management Program Rule RMP, de la EPA (Environmental Protection Agency)

La metodología sugerida por el MTERI, es en general la siguiente:

- Dividir el proceso en los equipos que lo conforman.
- Agrupar los equipos por tipo, p e., bombas, tuberías, etc.

- Evaluar fugas para cada tipo de equipo en la siguiente forma:
 - La ruptura total instantánea del recipiente o tubería.
 - Una fuga de diámetro equivalente al de la línea de mayor diámetro conectada al recipiente.
 - Una fuga equivalente al 20% del diámetro de la línea de mayor diámetro conectada al recipiente.
 - La apertura del sistema de alivio, cuando corresponda.
 - Una BLEVE, cuando se trate de recipientes que contengan sustancias inflamables.

El RMP de la EPA, especifica los siguientes criterios de modelación:

- Modelar un escenario llamado "Peor Caso", para cada sustancia tóxica y para cada sustancia inflamable. El "Peor Caso", es la liberación de todo el inventario que pueda contener el recipiente de almacenamiento más grande, en un tiempo de 10 min., si la sustancia es tóxica, o instantáneamente si es inflamable.
- Modelar, además del Peor Caso, un "Escenario Alternativo", para cada sustancia tóxica, y uno que represente a todas las sustancias inflamables. Un "Escenario Alternativo", es cualquier escenario que tenga una probabilidad razonable de ocurrir, y presente radios de afectación que alcancen a la población.
- Modelar Escenarios Alternativos adicionales, según se requiera, para tener información de afectación para todos los posibles receptores.

El RMP, especifica también consideraciones sobre condiciones ambientales de la zona donde se realice la modelación, según el Peor Caso o el Escenario Alternativo, de acuerdo con la Tabla VI-12.

TABLA VI-12.- CONDICIONES AMBIENTALES DE LA ZONA PARA MODELACION, SEGÚN RMP

| PEOR CASO | ESCENARIO ALTERNO |
|---|---|
| Velocidad del viento / estabilidad | |
| 1.5 m/s y estabilidad F o según el sitio | Según el sitio o 3.0 m/s y estabilidad D. |
| Temperatura / humedad | |
| Temperatura máxima diaria más alta y humedad promedio con base en los últimos 3 años o 25°C y 50%. | Temperaturas y humedades promedio o 25°C y 50% |
| Altura de la emisión | |
| A nivel de piso | Según el escenario o a nivel de piso |
| Topografía | |
| Urbana o rural según aplique | Urbana o rural según aplique |
| Temperatura de la sustancia | |
| Temperatura máxima diaria más alta en el caso de líquidos no refrigerados, con base en los últimos 3 años, o la temperatura del proceso, la que sea mayor. En el caso de gases licuados por refrigeración a presión atmosférica usar sus puntos de ebullición. O bien 25°C o el punto de ebullición de la sustancia | Según la temperatura de proceso o ambiente adecuada al escenario. O bien 25°C o el punto de ebullición de la sustancia |
| Puntos finales | |
| ERPG 2, LOC, 10% IDLH, 0.1LC ₅₀ o 0.01LD ₅₀ para sustancias tóxicas Sobrepresión de 1.0 psi para explosión | ERPG 2, LOC, 10% IDLH, 0.1LC ₅₀ o 0.01LD ₅₀ para sustancias tóxicas. Sobrepresión de 1.0 psi para explosión. 5 Kw/m ² por 40 segundos para incendios. Límite inferior de inflamabilidad |

La validación de un modelo de simulación, es una medida de la confianza en los resultados, que se obtienen con la aplicación del modelo para un fenómeno dado.

Un modelo de simulación, se obtiene por el desarrollo de técnicas analíticas, que simulen mecanismos físicos responsables de un fenómeno p.e., la dispersión de una sustancia liberada. En muchos casos, los modelos solo son ecuaciones o secuencia de éstas, correctas según investigaciones, muchos modelos, toman esas ecuaciones y proporcionan un formato, de manera que el usuario alimente con facilidad la información necesaria, y obtenga los resultados de forma escrita o gráfica.

No obstante lo anterior, la mayoría de los modelos de dispersión no reflejan la realidad deseada para evaluar el riesgo, consecuencias y efectos probables. Las razones principales de lo anterior son las siguientes.

- Complejidad de los fenómenos físicos (complejidad del terreno y condiciones meteorológicas)
- Incertidumbres asociadas a los procesos.

- Los modelos contienen, por lo anterior, muchas simplificaciones y consideraciones.
- Falta de alimentación de datos precisos y detallados, que describan el escenario de la emisión.

Por todo lo anterior, los resultados de los modelos de dispersión conducen a predicciones, que en el mejor de los casos se pueden considerar como estimaciones.

La validación de un modelo de simulación de dispersión, puede realizarse en las formas siguientes:

- Por experiencias anteriores (se requiere una persona experimentada).
- Por la realización de experimentos, liberando materiales de prueba, y midiendo sus concentraciones a diferentes distancias en favor del viento; posteriormente, se hacen simulaciones y se comparan los resultados. Si los resultados de concentraciones son semejantes, entonces se dice que el modelo es válido.

La exactitud de un modelo de simulación, depende de los parámetros o variables que considerará, que incluyen, desde propiedades de la sustancia hasta factores ambientales. Para reflejar mejor las condiciones reales, un modelo debe considerar los siguientes parámetros:

Material. - Se incluyen principalmente las características siguientes:

- Punto de ebullición
- Punto de fusión
- Peso molecular
- Presión de vapor
- Densidad
- Tendencia a polimerizarse
- Reacciones con el aire o con el agua
- Facilidad de modelar mezclas
- Uso de valores absolutos para propiedades
- Incorporación de coeficientes para las ecuaciones de cálculo de las propiedades.

Descarga. - Principales características de la forma en que es descargada la sustancia, p.e.:

- Determinación de la tasa de emisión
- Estado físico al ser liberada
- Variación de temperatura durante la descarga
- Tamaño de las partículas emitidas

- Formación de charcos
- Requerimientos de alimentación por el usuario

Dispersión. - Se deben considerar las diferentes etapas de la dispersión siguientes:

- Expansión turbulenta inicial
- Densidad de la nube
- Dispersión pasiva
- Estabilidad atmosférica
- Velocidad del viento

A la fecha, no hay un protocolo de validación de modelos. La validación, no depende que tan apegadamente refleja la realidad, sino mas bien de lo siguiente:

- Validez de las ecuaciones que utiliza
- Los criterios que usa
- Los parámetros que considera

VII. INSTRUMENTOS DE POLITICA Y GESTION AMBIENTAL

1. PLANEACIÓN Y POLÍTICA AMBIENTAL

Los instrumentos de política ambiental, son las herramientas necesarias en que se sustenta la planeación ambiental, para la aplicación de las políticas ambientales. La naturaleza global e interdependiente de los problemas ambientales, implican un tratamiento, que en algunos casos excede el ámbito de la política nacional.

Puede definirse a la política ambiental, como al conjunto de actividades y procedimientos con que cuentan los diferentes niveles de competencia, para lograr determinados fines de protección del ambiente y conservación de la naturaleza.

La planeación ambiental implica la regulación, promoción, restricción, prohibición, programación, participación, orientación e inducción de acciones, en los campos económicos y social, con objeto de preservar y restaurar el equilibrio ecológico y la protección al ambiente, de acuerdo a la legislación vigente.

Los instrumentos de la política ambiental establecidos en la LGEEPA, son los siguientes:

1. Planeación ambiental.
2. Ordenamiento ecológico del territorio.
3. Instrumentos económicos
4. Regulación ambiental de los asentamientos humanos.
5. Evaluación del impacto ambiental.
6. Normatividad en materia ambiental.
7. Autorregulación y auditorías ambientales.
8. Investigación y educación ecológicas.

Adicionalmente, se tienen otros instrumentos de gestión ambiental, preventivos, correctivos, y auxiliares, entre los que se encuentran los siguientes:

9. ISO-14000.
10. Aseguramiento de calidad
11. Información ambiental y participación social.
12. Etiquetado ecológico (logotipos, sellos).
13. Evaluación del ciclo de vida (ECV)
14. Evaluación del desempeño ambiental.

A continuación se hará una breve discusión de estos instrumentos.

2. ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DEL TERRITORIO

Se define al ordenamiento ecológico del territorio como un instrumento de política ambiental, cuyo objetivo es regular o inducir el uso del suelo y las actividades productivas, con el propósito de lograr la protección del ambiente y la conservación y aprovechamiento del ambiente, y la conservación y aprovechamiento de los recursos naturales.

De acuerdo con la LGEEPA, en el ordenamiento ecológico se consideran los siguientes criterios.

- La naturaleza y características de los ecosistemas existentes.
- La vocación de cada zona o región en función de sus recursos naturales, distribución de población y actividades económicas predominantes.
- Los desequilibrios existentes en los ecosistemas, por efecto de los asentamientos humanos, de las actividades económicas o de otras actividades humanas o fenómenos naturales.
- El equilibrio que debe existir entre los asentamientos humanos y sus condiciones ambientales.
- La afectación ambiental de nuevos asentamientos humanos; vías de comunicación y demás obras o actividades.

Para el ordenamiento ecológico del territorio, se cuenta con cuatro modalidades distintas de ordenamiento, que también tienen funciones normativas distintas.

A. General.- Es el resultado de un proceso en el que se plantean las tendencias deseables, con relación al uso del territorio y de los recursos naturales a nivel nacional, para determinar:

- La regionalización ecológica del territorio nacional, a partir del diagnóstico de características, disponibilidad y demanda de recursos naturales, así como de las actividades productivas que se desarrollen, y de la ubicación y situación de los asentamientos humanos existentes.
- Los lineamientos y estrategias ecológicas para la preservación, protección, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, así como de la localización de actividades productivas y de los asentamientos humanos.

Es obligatorio para el gobierno federal e indicativo para los particulares.

B. Regional.- Puede abarcar o no límites de entidades federativas, solo una parte o incluso dos o más entidades federativas; debe contener la determinación del área o región a ordenar, describiendo sus atributos bióticos y socioeconómicos, así como el diagnóstico de sus condiciones ambientales. Adicionalmente, también debe contener:

- La determinación de los criterios de regulación ecológica para la preservación, protección, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales que se localicen en la región, así como para la realización de las actividades productivas y la ubicación de asentamientos humanos.
- Los lineamientos para su ejecución, evaluación, seguimiento y modificación.

C. Local.- Consiste en la determinación de usos del suelo, atendiendo a su vocación o características a nivel local. Tiene un carácter obligatorio, como las disposiciones contenidas en los planes de desarrollo urbano de los centros de población, incluidos en la legislación de asentamientos humanos.

Son expedidos por las autoridades municipales o el Distrito Federal, con el propósito de:

- Determinar las distintas áreas ecológicas, describiendo sus atributos físicos, bióticos y socioeconómicos, así como el diagnóstico de sus condiciones ambientales y tecnologías utilizadas por los habitantes del área.
- Regular fuera de los centros de población los usos del suelo, con el propósito de proteger el ambiente y preservar, restaurar y aprovechar de manera sustentable los recursos naturales, principalmente en la realización de actividades productivas y localización de asentamientos humanos.
- Establecer los criterios de regulación ecológica para la protección, preservación, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales en los centros de población, para que sean considerados en los planes o programas de desarrollo urbano.

D. Marino.- Regula las actividades productivas y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales del mar, zonas costeras, aguas nacionales y zonas contiguas a estas

El contenido mínimo de un programa de ordenamiento ecológico marino, es el siguiente

- La delimitación precisa del área que incluye el programa

- La determinación de las zonas ecológicas por las características, disponibilidad y demanda de recursos naturales, así como el tipo de actividades productivas que se desarrollen.
- Los lineamientos, estrategias y previsiones para la preservación, protección, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, así como la realización de actividades productivas y obras o actividades, que puedan afectar los ecosistemas.

En general, el ordenamiento ecológico incluye disposiciones que tienen como propósito:

- Garantizar el derecho de los individuos, instituciones, organizaciones sociales y centros educativos, a participar en la formulación y revisión del ordenamiento ecológico local.
- Reconocer a las legislaturas estatales la capacidad para reglamentar los procedimientos y el régimen de coordinación entre autoridades estatales y municipales en la materia, para garantizar la participación social en su formulación.
- Vincular la gestión de los recursos naturales con el ordenamiento ecológico del territorio.
- Hacer compatible el ordenamiento ecológico del territorio con la reglamentación del uso del suelo, derivada de la legislación en materia de asentamientos humanos

3. INSTRUMENTOS ECONÓMICOS

Puede definirse a los instrumentos económicos, como los mecanismos normativos y administrativos de carácter fiscal, financiero o de mercado, mediante los cuales las personas asumen los beneficios y costos ambientales que generan sus actividades, y se les incentiva para realizar acciones que favorezcan al ambiente.

Los mecanismos mencionados, incluyen la facultad de la federación y los estados para diseñar, desarrollar y aplicar instrumentos económicos, que incentiven el cumplimiento de la política ambiental.

Los instrumentos económicos, son un mecanismo adecuado para cumplir dos principios de la política ambiental.

- Quien contamine, haga uso excesivo de recursos naturales o altere los ecosistemas, debe asumir los costos inherentes a su conducta.
- Quien conserve los recursos e invierta en la conservación ecológica, reconstruyendo el capital ambiental, debe recibir un estímulo o una compensación.

También los instrumentos económicos pueden abrir espacios de oportunidad para el logro de objetivos ambientales, permitir mayor equidad social y una real solidaridad intergeneracional, en la distribución de costos y beneficios asociados a la política ambiental.

Los instrumentos económicos, incentivan el cumplimiento de los objetivos de la política ambiental, buscando (de acuerdo con la LGEEPA):

- Promover un cambio en las conductas de las personas que realicen actividades industriales, comerciales y de servicios.
- Fomentar la incorporación de información confiable y suficiente sobre las consecuencias, beneficios y costos ambientales al sistema de precios de la economía.
- Otorgar incentivos a quien realice acciones para la protección, preservación o restauración del equilibrio ecológico. También procurar que quienes dañen al ambiente, hagan un uso indebido de recursos naturales o alteren los ecosistemas, asuman los costos respectivos.
- Promover mayor equidad social en la distribución de costos y beneficios, asociados a los objetivos de la política ambiental.

- Procurar su utilización conjunta con otros instrumentos de política ambiental, cuando se trate de observar límites en la utilización de ecosistemas, de tal forma que se garantice su integridad y equilibrio, la salud y el bienestar de la población.

Son instrumentos económicos de carácter fiscal, los estímulos fiscales que incentiven el cumplimiento de los objetivos de la política ambiental, que no se establecen solo con fines recaudatorios.

Son instrumentos financieros los créditos, las fianzas, los seguros de responsabilidad civil, los fondos y los fideicomisos, cuando sus objetivos estén dirigidos a la preservación, protección, restauración o aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y el ambiente, así como el financiamiento de programas, proyectos, estudios e investigación científica y tecnológica, para la preservación del equilibrio ecológico y protección al ambiente.

Son instrumentos de mercado las concesiones, autorizaciones, licencias y permisos, que corresponden a volúmenes preestablecidos de emisiones de contaminantes al aire, agua o suelo, o bien que establecen los límites de aprovechamiento de recursos naturales o de construcción de áreas naturales protegidas o en zonas cuya preservación y protección se considere relevante, desde el punto de vista ambiental.

Las prerrogativas por los instrumentos económicos de mercado son transferibles, no gravables y quedan sujetos al interés público y al aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.

De acuerdo con la LGEEPA, para el otorgamiento de estímulos fiscales, se consideran prioritarias las actividades relacionadas con:

- La investigación, incorporación o utilización de mecanismos, equipos y tecnologías que tengan por objeto evitar, reducir o controlar la contaminación o deterioro ambiental, así como el uso eficiente de recursos naturales y de energía.
- La investigación e incorporación de sistemas de ahorro de energía y de utilización de fuentes de energía menos contaminantes
- El ahorro y aprovechamiento sustentable y la prevención de la contaminación del agua
- La ubicación y reubicación de instalaciones industriales, comerciales y de servicios en áreas ambientalmente adecuadas.
- El establecimiento, manejo y vigilancia de áreas naturales protegidas.
- En general, las actividades relacionadas con la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.

4. REGULACIÓN AMBIENTAL DE LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS

El propósito fundamental de la regulación ecológica de los asentamientos humanos, es relacionar las acciones que se realicen, para su planeación con la preservación del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.

De acuerdo con la LGEEPA, la planeación del desarrollo urbano y la vivienda debe considerar los siguientes criterios:

- Los planes o programas de desarrollo urbano, deben tomar en cuenta los lineamientos y estrategias contenidas en los programas de ordenamiento ecológico del territorio.
- En la determinación de los usos del suelo, se busca lograr diversidad y eficiencia de los mismos, y evitar el desarrollo de esquemas segregados o unifuncionales, así como tendencias a la suburbanización extensiva.
- En la determinación de áreas para el crecimiento de centros de población, se fomenta la mezcla de usos habitacionales con los productivos, que no represente riesgos o daños a la salud de la población y evitar que se afecten áreas con alto valor ambiental.
- Privilegiar el establecimiento de sistemas de transporte colectivo y otros medios de alta eficiencia energética y ambiental.
- Establecer y manejar en forma prioritaria las áreas de conservación ecológica, en torno a los asentamientos humanos
- En la esfera de su competencia, las autoridades deben promover la utilización de instrumentos económicos, fiscales y financieros de política urbana y ambiental, para inducir conductas compatibles con la protección y restauración del ambiente y con un desarrollo sustentable.
- Al aprovechar el agua para usos urbanos, se debe incorporar de manera equitativa los costos de su tratamiento, considerando la afectación a la calidad del recurso y la cantidad que se utilice.
- En la determinación de áreas para actividades altamente riesgosas, se deben establecer zonas intermedias de salvaguarda, en las que no se permitan usos habitacionales, comerciales u otros que pongan en riesgo a la población.
- La política ecológica, debe buscar la corrección de desequilibrios que no deterioren la calidad de vida de la población, y prever las tendencias de crecimiento del asentamiento humano, para mantener una relación suficiente entre la base de recursos y la población, y cuidar de los factores ecológicos y ambientales, que son parte integrante de la calidad de vida.

5. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL (EIA)

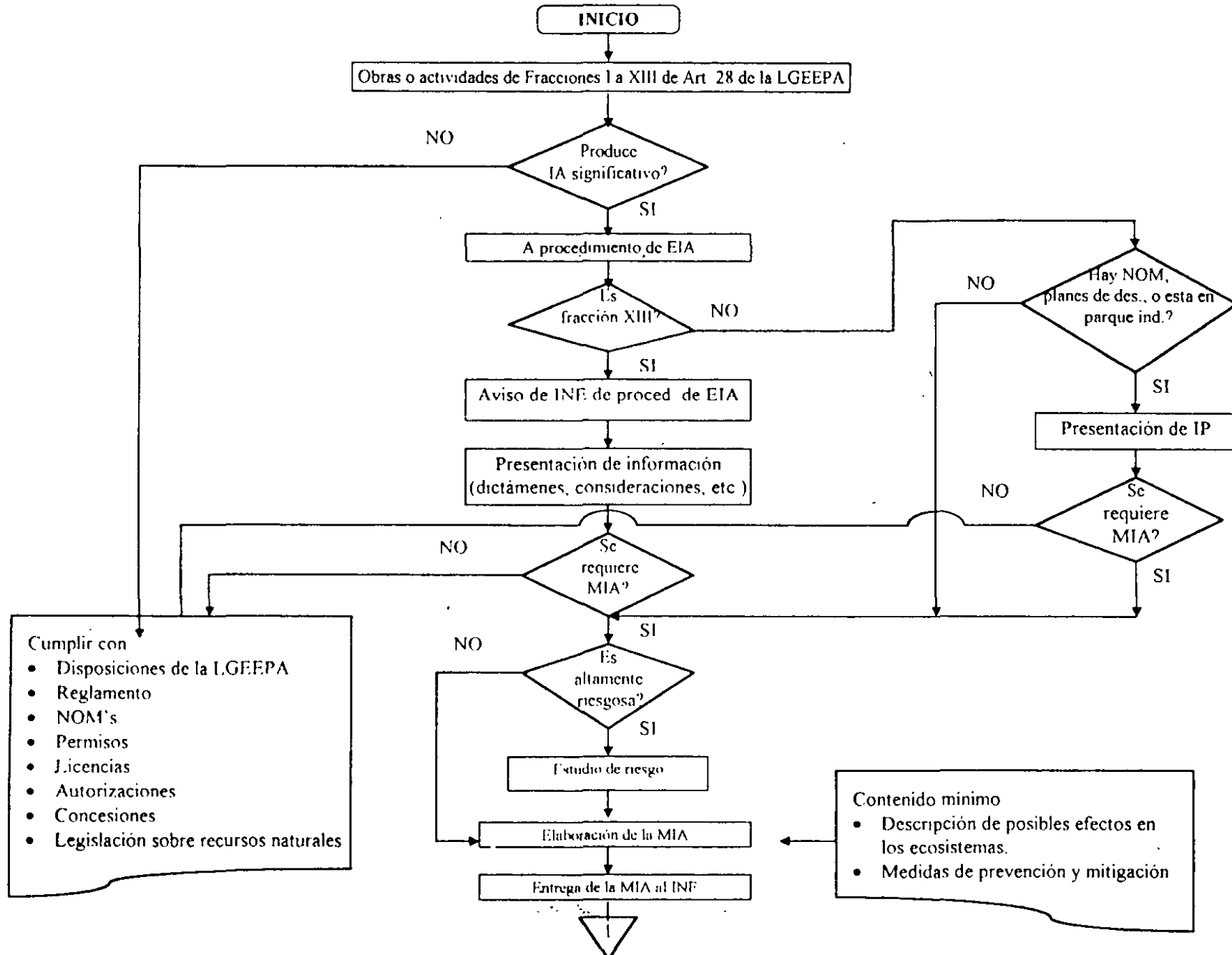
La evaluación del impacto ambiental EIA, es el procedimiento por el cual se establecen las condiciones a que se deben sujetar la realización de obras y actividades, que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidas en las disposiciones aplicables, para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, para evitar o reducir sus efectos negativos sobre el ambiente.

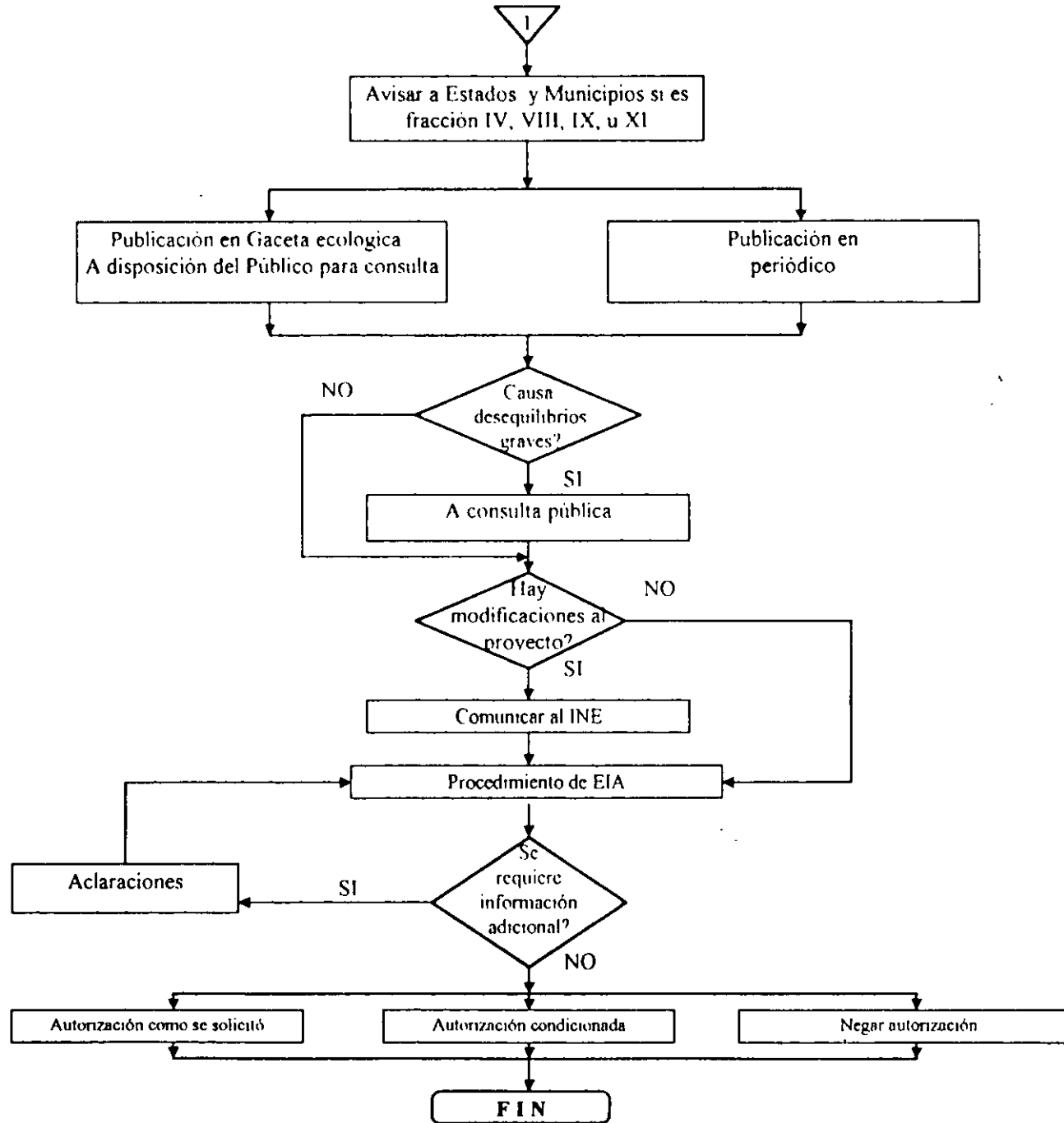
En la Fig. VII-1 se muestra el flujograma de la EIA que a continuación se describe.

Las obras o actividades que requieren autorización previa en materia de impacto ambiental de la SEMARNAP (Artículo 28 de la LGEEPA), cuando lo determine el Reglamento correspondiente de la LGEEPA, son las siguientes:

- i. Obras hidráulicas, vías generales de comunicación, oleoductos, gasoductos, carbo ductos y poliductos.
- ii. Industria del petróleo, petroquímica, química, siderúrgica, papelera, azucarera, del cemento y eléctrica.
- iii. Exploración, explotación y beneficio de minerales y sustancias reservadas a la federación, en los términos de las leyes minera y reglamentaria el artículo 27 constitucional en materia nuclear.
- iv. Instalaciones de tratamiento, confinamiento o eliminación de residuos peligrosos y residuos radioactivos
- v. Aprovechamientos forestales en selvas tropicales y especies de difícil regeneración.
- vi. Plantaciones forestales.
- vii. Cambios de uso del suelo de áreas forestales, así como en selvas y zonas áridas
- viii. Parques industriales, donde se prevea la realización de actividades altamente riesgosas
- ix. Desarrollos inmobiliarios que afecten los ecosistemas costeros.
- x. Obras y actividades en humedales, manglares, lagunas, ríos, lagos y esteros conectados con el mar, así como en sus litorales o zonas federales.
- xi. Obras en áreas naturales protegidas de competencia de la federación.
- xii. Actividades pesqueras, acuícolas o agropecuarias, que puedan poner en peligro la preservación de una o más especies o causar daños a los ecosistemas.
- xiii. Obras o actividades que correspondan a asuntos de competencia federal, que puedan causar desequilibrios ecológicos graves e irreparables, daños a la salud pública o a los ecosistemas o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones jurídicas, relativas a la preservación del equilibrio ecológico y protección al ambiente.

FIG. VII-1.- FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL (EIA)





En el caso de este último punto, la SEMARNAP debe notificar a los interesados su determinación, para someter a la obra o actividad al procedimiento de EIA, explicando las razones que lo justifiquen, con el propósito que presenten los informes, dictámenes y consideraciones en un plazo no mayor de 10 días. Después de recibida la información y en un plazo no mayor de 30 días, la SEMARNAP comunicará si procede o no la presentación de una manifestación de impacto ambiental MIA, la modalidad y el plazo para hacerlo; si no se recibe esta comunicación, se entiende que no es necesaria la MIA.

Las obras o actividades que no deban sujetarse al procedimiento de EIA, previsto en el artículo 28 de la LGEEPA, serán determinados en el reglamento respectivo, considerando que por su ubicación, dimensiones, características o alcances:

- No producen impactos ambientales significativos.
- No causan o pueden causar desequilibrios ecológicos.
- No rebasan los límites y condiciones establecidos en las disposiciones jurídicas, referidas a la preservación del equilibrio ecológico y protección al ambiente.

Para obtener la autorización correspondiente, los interesados deben presentar a la SEMARNAP una MIA, que debe contener como mínimo:

- Una descripción de los posibles efectos en los ecosistemas que pudieran ser afectados por la obra o actividad, considerando el conjunto de los elementos que conforman los ecosistemas.
- Las medidas preventivas, de mitigación y demás necesarias, para evitar y reducir al mínimo los efectos negativos sobre el ambiente.

Cuando se trate de actividades altamente riesgosas, la MIA debe incluir el estudio de riesgo correspondiente.

Los contenidos del informe preventivo y las características y modalidades de las MIA y estudios de riesgo, están establecidos en el reglamento de la LGEEPA en materia de impacto ambiental.

Se requiere la presentación de un informe preventivo y no una MIA, cuando:

- Existan NOM u otras disposiciones que regulen las emisiones, las descargas, el aprovechamiento de recursos naturales y en general todos los impactos ambientales, que puedan producir las obras o actividades.
- Las obras o actividades estén expresamente previstas por un plan parcial de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico, que haya sido evaluado por la SEMARNAP
- Se trate de instalaciones ubicadas en parques industriales autorizados.

Analizando el informe preventivo, se determinará en un plazo no mayor a 20 días si se requiere una MIA en alguna de las modalidades.

Las autorizaciones que expida la SEMARNAP, no obliga a las autoridades locales a expedir las autorizaciones que les corresponda dentro de sus competencias.

A solicitud de cualquier persona de la comunidad de que se trate, la SEMARNAP podrá llevar a cabo una consulta pública, de acuerdo a las siguientes bases:

- La SEMARNAP publicará la solicitud de autorización en materia de impacto ambiental en su gaceta ecológica.
- Dentro de un plazo de 10 días a partir de la solicitud, la SEMARNAP pondrá a disposición del público de la entidad federativa correspondiente la MIA.
- Cuando se trate de obras o actividades que puedan producir desequilibrios ecológicos graves o daños a la salud pública o a los ecosistemas, se podrá organizar una reunión pública de información, en donde el promovente explique los aspectos técnicos ambientales de la obra o actividad.
- Cualquier interesado, dentro del plazo de 20 días de que se ponga a disposición del público la MIA, puede proponer medidas de prevención y mitigación adicionales, además de observaciones.
- Se agregaran las observaciones de los interesados al expediente y consignarán en la resolución que emita el proceso de consulta pública y resultados de observaciones y propuestas formuladas por escrito.

El procedimiento de EIA se inicia después de presentada la manifestación, debiendo cumplir la solicitud con: la LGEEPA, su reglamento y las NOM aplicables. El expediente debe integrarse en un plazo no mayor de 10 días.

La autorización de las obras o actividades, debe sujetarse a lo establecido en:

- Los ordenamientos anteriores.
- Los programas de desarrollo urbano y de ordenamiento ecológico del territorio.
- Las declaratorias de áreas naturales protegidas.
- Otras disposiciones jurídicas aplicables.

Para la autorización, se evalúan los posibles efectos de las obras o actividades en los ecosistemas, considerando el conjunto de elementos que lo conforman y no solo los recursos sujetos a aprovechamiento o afectación.

La resolución de la evaluación, fundada y motivada podrá:

- Autorizar la realización de la obra o actividad en los términos solicitados.

- Autorizar la obra o actividad de forma condicionada a la modificación del proyecto o establecimiento de medidas adicionales de prevención o mitigación, para evitar, atenuar o compensar los impactos ambientales adversos, susceptibles de producirse en la construcción, operación normal y accidente.
- Negar la autorización solicitada cuando:
 - a) Se contravenga lo establecido en la LGEEPA, su reglamento, NOM y demás disposiciones legales.
 - b) La obra o actividad pueda propiciar que una o más especies sean amenazadas o en peligro de extinción o cuando se les afecte.
 - c) Exista falsedad en la información proporcionada por los promoventes, con relación a los impactos ambientales de la obra o actividad.

Se puede exigir el otorgamiento de seguros o garantías respecto del cumplimiento de las condiciones establecidas

La resolución de la SEMARNAP solo se referirá a los aspectos ambientales de las obras o actividades.

A partir de la recepción de la MIA, en un plazo de 60 días se debe emitir la resolución. Se pueden solicitar aclaraciones, rectificaciones o ampliaciones al contenido de la MIA, suspendiéndose el término restante del procedimiento, aunque no puede exceder el plazo de 60 días, siempre que se entregue la información requerida.

Excepcionalmente, por la complejidad y dimensiones de la obra o actividad, se puede requerir un plazo mayor para evaluación hasta por 60 días más.

Las personas que presten servicios de impacto ambiental, son responsables ante la SEMARNAP de los informes preventivos, MIA y estudios de riesgos que elaboren. Esta documentación puede ser presentada por:

- Los interesados.
- Instituciones de investigación
- Colegios o asociaciones de profesionales.

En estos casos, la responsabilidad por el contenido del documento corresponde a quien lo suscribe.

El impacto ambiental de las obras o actividades no comprendidas en el artículo 28 de la LGEEPA, es evaluado por el D.F. o Estados con la participación de los municipios correspondientes, cuando produzcan impactos ambientales significativos al ambiente y estén señalados en la legislación ambiental estatal. En estos casos, la evaluación puede efectuarse dentro de los procedimientos de autorización de uso de suelo, construcciones, fraccionamientos u otros establecidos en las leyes estatales

En general, la EIA es un instrumento necesario para atenuar los efectos por situaciones que se caracterizan por:

- Carencia de sincronización entre el crecimiento de la población y el crecimiento de la infraestructura y los servicios básicos a que sean destinados.
- Demanda creciente de espacios y servicios, consecuencia de la movilidad de la población y el crecimiento del nivel de vida.
- Degradación progresiva del medio natural, con incidencia especial en:
 - i. Contaminación y mala gestión de los recursos atmosféricos, hidráulicos, geológicos y paisajísticos.
 - ii. Ruptura del equilibrio biológico y de las cadenas eutróficas, como consecuencia de la destrucción de diversas especies vegetales y animales.
 - iii. Perturbaciones imputables a desechos o residuos, tanto de origen urbano como industrial.
 - iv. Deterioro y mala gestión del patrimonio histórico-cultural.

Las razones para realizar estudios de EIA, son entre otras las siguientes:

- Detienen el proceso degenerativo.
- Evitan graves problemas ecológicos.
- Mejoran el entorno y calidad de vida.
- Ayudan a mejorar las obras o actividades.
- Defienden y justifican una solución acertada.
- Canalizan la participación ciudadana.
- Su control aumenta la experiencia práctica
- Generan mayor concientización social del problema ecológico.
- Aumentan la demanda social como consecuencia del punto anterior.

La credibilidad de una evaluación de impacto ambiental, depende de tres aspectos fundamentales:

- El prestigio, calidad e independencia del equipo redactor.
- La participación pública verdadera y transparente.
- El rigor, calidad y confiabilidad de la metodología utilizada.

6. NORMATIVIDAD EN MATERIA AMBIENTAL

El diccionario define a la norma como: *“cada una de las reglas que racionalizan y tipifican la producción industrial estableciendo procesos, medidas y calidades estandarizadas”*.

Por su parte la ISO (International Standardization Organization) Organización Internacional de Normalización, define a la norma como:

“Una especificación técnica u otro documento accesible al público, elaborado en cooperación y con el consenso o la aprobación general de todas las partes interesadas, basado en la combinación de los resultados de la ciencia, tecnología y experiencia, cuyo objeto es beneficiar al máximo a toda la comunidad y que ha sido aprobado por un organismo nacional o internacional”.

La LGEEPA establece que la emisión de normas, para garantizar la sustentabilidad de las actividades económicas en materia ambiental y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, tiene los siguientes objetivos.

- Establecer los requisitos, especificaciones, condiciones, procedimientos, metas, parámetros y límites permisibles, que deben observarse en regiones, zonas, cuencas o ecosistemas, en aprovechamiento de recursos naturales, en el desarrollo de actividades económicas, uso y destino de bienes, en insumos y procesos.
- Considerar las condiciones necesarias, para el bienestar de la población y la preservación o restauración de los recursos naturales y la protección al ambiente.
- Estimular o inducir a los agentes económicos, para reorientar sus procesos y tecnologías a la protección al ambiente y desarrollo sustentable.
- Otorgar certidumbre a largo plazo a la inversión, e inducir a los agentes económicos a asumir los costos de la afectación ambiental que ocasionen.
- Fomentar actividades productivas en un marco de eficiencia y sustentabilidad.

La expedición y modificación de las Normas Oficiales Mexicanas NOM en materia ambiental, se sujetan a lo establecido en la Ley Federal de Metrología y Normalización LFMN. Las NOM no implican el uso obligatorio de tecnologías específicas.

Cuando las NOM establezcan el uso de equipos, procesos o tecnologías específicas, los destinatarios de las mismas pueden proponer para aprobación equipos, procesos o tecnologías alternativos, con los cuales se ajusten a las previsiones correspondientes

Las NOM en materia ambiental son de cumplimiento obligatorio y señalan su ámbito de validez, vigencia y gradualidad en su aplicación.

7. AUTORREGULACIÓN Y AUDITORÍAS AMBIENTALES

7.1 Autorregulación

La autorregulación, comprende el conjunto de iniciativas adoptadas por las empresas o sectores industriales, para regularse a si mismos, p.e., a través de la fijación de normas, supervisión y metas para la reducción de la contaminación, etc.

En general la autorregulación puede resultar más económica para la sociedad, que lo que pueden llegar a ser las normas y el control de los instrumentos económicos.

La LGEEPA establece que en el ámbito federal se inducirán o concertarán:

- El desarrollo de procesos productivos adecuados y compatibles con el ambiente, así como sistemas de protección y restauración en la materia, convenidos con las organizaciones afectadas.
- El cumplimiento de normas voluntarias o especificaciones técnicas en materia ambiental, que sean más estrictas que las NOM o que se refieran a aspectos no previstas por éstas.
- El establecimiento de sistemas de certificación de procesos o productos, para inducir patrones de consumo, que sean compatibles o preserven, mejoren o restauren el medio ambiente
- Las demás acciones que induzcan a las empresas, a alcanzar los objetivos de política ambiental superiores a las previstas en la normatividad ambiental establecida.

7.2 Auditorías Ambientales.

Se puede definir a la auditoría ambiental como un proceso de evaluación sistemática, objetiva, independiente y periódica del sistema de protección ambiental de la empresa, en una determinada instalación o actividad, que permite mejorar las actuaciones en materia ambiental y facilita el suministro de información relevante al público

Los objetivos generales de una auditoría ambiental, que se muestran en la Fig. VII-2, pueden resumirse en:

- Conocer la situación ambiental
 - Establecer las necesidades ambientales y determinar las medidas correctivas a aplicar con cierta prioridad.
 - Poder explicar a terceros las actividades de la compañía, con relación a la protección del ambiente.
 - Cumplir con la legislación vigente
-

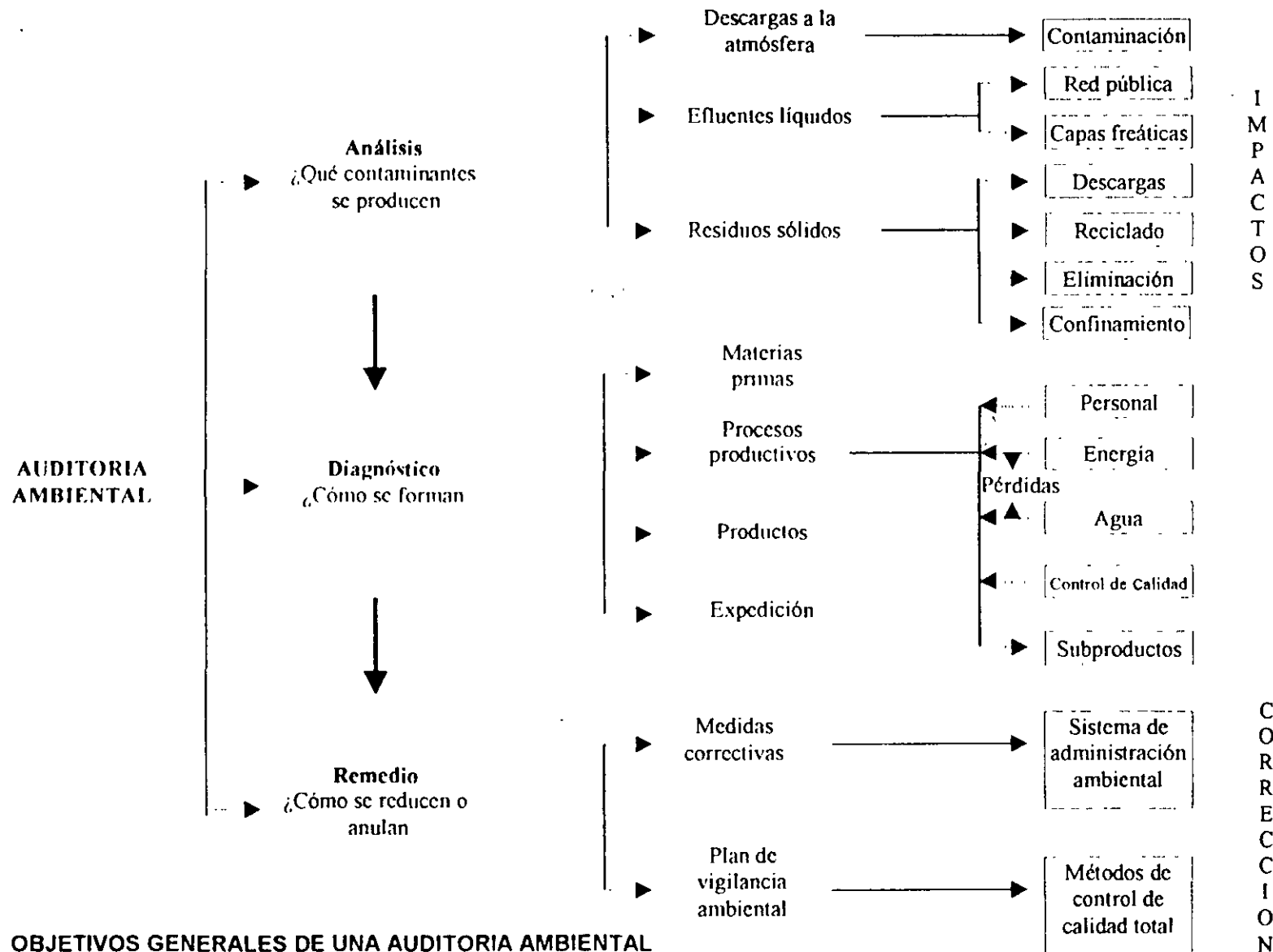


FIG. VII-2 OBJETIVOS GENERALES DE UNA AUDITORIA AMBIENTAL

La LGEEPA en su artículo 38-BIS, establece que la SEMARNAP debe desarrollar un programa para fomentar la realización de auditorías ambientales, y para tal efecto:

- Elaborará los términos de referencia (protocolos), que establezcan la metodología para la realización de las auditorías ambientales.
 - Establecerá un sistema de aprobación y acreditamiento de peritos y auditores ambientales, integrando para tal efecto un Comité Técnico, formado por representantes de instituciones de investigación, colegios y asociaciones profesionales y organizaciones de sector industrial.
 - Desarrollará programas de capacitación en materia de peritajes y auditorías ambientales
 - Instrumentará un sistema de reconocimientos y estímulos, que permita identificar a las industrias que cumplan oportunamente los compromisos adquiridos en las auditorías ambientales.
 - Promoverá la creación de centros regionales de apoyo a la mediana y pequeña industria, para facilitar la realización de auditorías.
 - Convendrá o concertará con personas físicas o morales, públicas o privadas, la realización de auditorías ambientales.
-

8. INVESTIGACIÓN Y EDUCACIÓN ECOLÓGICAS

8.1 Educación ecológica

Puede definirse a la educación ecológica o ambiental, como un proceso en el que los individuos y la colectividad toman conciencia de su medio y adquieren los conocimientos, los valores, las competencias, la experiencia y también la voluntad de hacerlos capaces de actuar, individual y colectivamente, para resolver los problemas actuales y futuros del ambiente.

La educación ecológica incluye, además de la educación propiamente dicha, a otros instrumentos como la información y divulgación, la sensibilización y la formación profesional, tanto regulada como ocupacional. En la Tabla VII-1, se muestran genéricamente los tipos de educación ecológica o ambiental.

Los principios en los que debe basarse la educación ambiental o ecológica son los siguientes:

- El ambiente es el resultado tanto de fenómenos naturales como de la acción del hombre, por lo tanto, su estudio comprende los aspectos físico-naturales y también los factores económicos, políticos, técnicos, históricos, morales y estéticos.
- La educación ambiental requiere un enfoque multidisciplinario, se deben aprovechar los contenidos específicos de varias materias, para construir una perspectiva global y equilibrada del ambiente y hacer posible la solución de los problemas que le afectan.
- Los aspectos ecológicos o ambientales, deben considerarse de manera explícita en los planes de desarrollo y crecimiento, ante la necesidad de utilizar recursos naturales de manera racional.
- Los problemas ambientales son muy complejos, la educación ambiental, debe ayudar a descubrir los síntomas y las causas reales de estos problemas, desarrollando el sentido crítico. Al mismo tiempo, debe tomar en cuenta la forma en que cada individuo puede contribuir con su comportamiento a la mejora del ambiente.
- El ambiente es patrimonio común de la humanidad; la educación ecológica debe insistir en esta dimensión y estimular la cooperación, para prevenir y resolver los problemas ambientales.

Tabla VII-1.- Tipos de la Educación Ambiental o Ecológica.

| IDENTIFICACION TIPO | CATEGORIA | CARACTERISTICAS |
|------------------------|--------------|---|
| REGULADA | Elemental | Proceso orgánico con efectos generales |
| | Media | Proceso orgánico con efectos generales |
| | Profesional | Proceso orgánico con orientación hacia las personas |
| NO REGULADA | Instrumental | Información Divulgación Sensibilización |
| | Extraescolar | Parques Naturales Senderismo e Itinerarios Escuelas de la Naturaleza Granjas Escuelas Campos de Aprendizaje Talleres de Educación Ecológica Urbana Exposiciones-Taller Ecomuseos |
| | Académica | Seminarios Cursos Diplomados |
| | Ocupacional | Programas de • Iniciación • Perfeccionamiento • Reciclaje Formación <<en el trabajo>> Formación del profesorado |
| | Continua | Programas de adaptación |
| | Especial | Programas para colectivos especiales |

La educación ambiental, debe integrarse en el conjunto de los procesos educativos y dirigirse a todas las categorías de la población, es decir:

- Al público en general y a los no especialistas.
- A los profesionales en ciencias sociales, cuya actividad tiene repercusiones importantes sobre el ambiente.
- A los científicos y técnicos, cuyas disciplinas (de ciencias exactas, naturales y sociales) tienen relación con el ambiente, y a los que debe impartirse formación especializada.

A este respecto, la UNESCO-PNUMA ha desarrollado el Programa Internacional de Educación Ambiental (PIEA), en donde se destaca lo siguiente:

- En 1975 iniciaron su contribución a una concientización generalizada de la necesidad de una educación ambiental.
- A partir de 1978, para la formación de personal docente, ha organizado una serie de seminarios regionales, destinados a sensibilizar a los administradores de la educación y a los responsables de los programas de estudios.
- Con relación a la formación de especialistas en materia ambiental, se han llevado a cabo actividades importantes en el marco de programas científicos internacionales, p.e., el Programa sobre el Hombre y la Biosfera.

Algunos de los objetivos de la educación ambiental, que son comunes al conjunto de la comunidad internacional son los siguientes:

- Proporcionar los medios de percibir y comprender los diversos factores biológicos, físicos, sociales, económicos y culturales, cuya interacción en el tiempo y en el espacio determina el ambiente, así como actuar para prevenir y resolver los problemas que se plantean.
- Definir valores y motivaciones, que favorezcan los comportamientos y medidas que contribuyan a la preservación y mejora del ambiente.
- Formación de hábitos, entendidos como resultado de conductas repetidas, que produzcan enriquecimiento en el individuo, en los grupos sociales y en la sociedad, con relación al ambiente.
- En la educación ambiental, la posesión de hábitos como valores finales es el fin de un proceso.
- Solucionar problemas ambientales con perspectiva interdisciplinaria, por la complejidad de los problemas ambientales y la multiplicidad de factores que intervienen.

Los anteriores objetivos de la educación ambiental, infunden al conjunto de individuos nuevas formas de conducta, que se refieren a:

- Conciencia - Ayuda a los grupos sociales e individuos a adquirir conciencia del ambiente global y ayuda a sensibilizarlos por estas cuestiones.
 - Comportamientos - Ayudan a los grupos sociales e individuos a compenetrarse con valores y a sentir interés y preocupación por el ambiente, motivándolos para que puedan participar activamente en la mejora y protección del ambiente.
-

- Aptitudes - Ayudan a los grupos sociales e individuos a adquirir las aptitudes necesarias, para determinar y resolver problemas ambientales.
- Participación.- Proporcionan a los grupos sociales e individuos la posibilidad de participar activamente en las tareas, que tienen por objeto resolver problemas ambientales.

En general, la filosofía conceptual en el establecimiento de estrategias, para el desarrollo de objetivos de la educación y formación ambiental, incluye lo siguiente:

- Acceso a la información
- Investigación y experimentación
- Programas educacionales y materiales didácticos
- Formación del personal
- Enseñanza técnica y profesional
- Educación e información al público
- Formación de especialistas
- Cooperación internacional y regional

La LGEEPA establece, con relación a la educación ambiental o ecológica, a través de las autoridades correspondientes lo siguiente:

- Promover la incorporación de contenidos ambientales en los diversos ciclos educativos
- Promover que las instituciones de educación superior, desarrollen planes y programas para la formación de especialistas y para la investigación de causas y efectos de fenómenos ambientales.
- Que la STPS, promueva el desarrollo de la capacitación y adiestramiento en y para el trabajo, en materia de protección ambiental y de preservación y restauración del equilibrio ecológico. También, propiciar la incorporación de contenidos ecológicos en los programas de las comisiones mixtas de seguridad e higiene.

8.2 Investigación Ecológica o Ambiental

El diccionario define a la investigación: *"como el efecto de hacer diligencias para descubrir una cosa"*.

La investigación del medio físico (aire, agua, tierra, flora, fauna, y paisaje) ayuda a conocer los ecosistemas, las relaciones entre ellos y su interacción con el hombre.

La investigación del medio socioeconómico, es el estudio de la calidad de vida del hombre dentro de su entorno ambiental, es decir, su nivel de calidad ambiental, el medio socioeconómico incluye:

- Usos del suelo
- Estructura de los núcleos habitados
- Infraestructura
- Servicios
- Aspectos culturales y humanos
- Patrimonio artístico
- Economía
- Población

La investigación, como instrumento de política ambiental en sus tres niveles (básica, aplicada, experimental), aunque de forma indirecta y secundaria proporciona resultados, que después de ser aplicados, dan lugar a nuevas tecnologías que posibilitan la disminución de impactos, p.e.:

- Emisiones más limpias
- Reciclado de productos
- Absorción de ruidos molestos

La LGEEPA prevé, por parte del gobierno, el fomento de investigaciones científicas y la promoción de programas para el desarrollo de técnicas y procedimientos que permitan prevenir, controlar y abatir la contaminación, propiciar el aprovechamiento racional de los recursos y proteger los ecosistemas, mediante la celebración de convenios.

9. ISO-14000 (NORMAS)

ISO-14000 es una serie genérica de normas, concebidas para mezclar o armonizar los requerimientos ambientales para todas las compañías en todo el mundo.

Esta serie fue creada por la Organización Internacional de Normalización ISO (International Standard Organization), bajo la guía del comité técnico 207 (TC 207), que esta constituido de varios subcomités y sus grupos individuales de trabajo.

ISO consideró, que si pudo producir una serie genérica de normas globalmente aceptadas para la calidad (serie ISO 9000), también podía crear normas mundiales para la Administración Ambiental.

ISO 14000 fue concebida como un documento general, para guiar el proceso de Administración Ambiental, y la ISO 14001, igual que su prima la Norma Internacional de Calidad de ISO 9001, es la norma con la cual se pueden certificar las organizaciones.

Igual que la serie ISO 9000, la serie ISO 14000, también contiene varios documentos soporte. Estos documentos, están diseñados para aclarar las etapas que una organización debe realizar, para adoptar un Sistema de Administración Ambiental (SAA) básico y responsable.

Muchos consideran al Estándar Británico BS 7750 "Environmental Management Systems", como el anteproyecto para ISO 14000. El BS 7750 se diseño para asegurar, que las practicas ambientales de una organización son congruentes con las metas establecidas, y que su cumplimiento puede ser confirmado por terceras partes.

El BS 7750 y el European Eco-Management and Audit Scheme (EMAS) influyeron mucho en la formulación de ISO 14000.

La serie ISO 14000 tiene muchos beneficios, pero sobre todo hay una ventaja que debe considerarse. la serie ISO 14000, pone la responsabilidad ambiental directamente en manos de la dirección o gerencia.

Aunque la ISO 14000 es voluntaria, se espera que las fuerzas del mercado, los mandatos gubernamentales y la creciente presión de grupos públicos, que urgen a las organizaciones a operar con practicas ambientales sanas, estimulen al éxito de ISO 14000.

La creación de la ISO 14000, estuvo influenciada por la preocupación pública sobre el impacto que tiene la industria sobre el ambiente, tanto local como globalmente. La gente demanda que las organizaciones tomen responsabilidad sobre sus acciones.

El interés público en la ecología desarrollado en la década de los 1970's, ha florecido en una amplia preocupación por el ambiente y han surgido muchos grupos de protección del ambiente.

Todas nuestras actividades tienen un efecto sobre el ambiente. El conducir un carro, usar la estufa, cortar el césped, etc., tienen un efecto sobre el ambiente. Mientras que no hay discusión que estas actividades son necesarias, la cuestión es como aprender a manejar estas actividades y/o minimizar su impacto sobre el ambiente.

La meta de estas normas ambientales es dar a las organizaciones, a nivel gerencial, un marco de trabajo para manejar sus impactos ambientales.

Las normas ISO 14000, caracterizan una variedad amplia de disciplinas ambientales, incluyendo los siguientes seis componentes mayores:

- Sistema de administración ambiental
- Auditoria ambiental
- Evaluación del desempeño ambiental
- Etiquetado ambiental
- Evaluación del ciclo de vida
- Normas de aspectos ambientales en el producto

La serie de normas ISO-14000 desarrolladas, básicamente caen en una de dos categorías.

- Guías (descriptivas)
- Especificaciones (prescriptivas)

Con excepción de la ISO 14001, todas las otras normas son documentos guía.

Las organizaciones se certifican en ISO 14001, la norma especificación que sirve como un anteproyecto para el Sistema de Administración Ambiental (SAA).

Las organizaciones no se certifican en ISO 14000 como una serie, pero usan el resto de las guías de la serie para:

- Aclarar requerimientos
- Buscar definiciones
- Encontrar guías adicionales.

Las normas ISO 14000 pueden también ser divididas en dos clasificaciones:

- Evaluación de la organización. Incluye provisiones para que las organizaciones desarrollen Sistemas de Administración Ambiental (SAA), Auditorías Ambientales y Evaluación del Desempeño Ambiental (EDA).
- Evaluación del producto. Incluye guías para la Evaluación del Ciclo de Vida (ECV), Etiquetado Ambiental y Normas de Aspectos Ambientales del Producto (NAAP).

En las Figs. VII-3, VII-4 y VII-5, se muestran las clasificaciones anteriores.

La serie de normas ISO-14000 establecen herramientas y sistemas, para la administración de numerosas obligaciones ambientales y la realización de evaluaciones del producto, sin prescribir que metas debe alcanzar una organización.

Las normas ISO-14000 buscan proporcionar una guía, para el desarrollo de un enfoque comprensivo para la gestión del ambiente y la estandarización de algunas herramientas clave de análisis ambiental, como la clasificación y evaluación de ciclo de vida.

Las normas ISO-14000 no prescriben un desempeño ambiental a nivel mundial, ni dictan metas ambientales para la prevención de la contaminación, tecnología u otros resultados ambientales deseables.

Las normas ISO-14000 y las ISO-9000, comparten la meta de desarrollar normas de proceso, más que normas de desempeño.

La norma ISO-14001 es la equivalente a las ISO-9001, 9002 y 9003, y se conoce como un documento de especificación, porque proporciona las especificaciones para un Sistema de Administración o Gestión Ambiental (SAA). Si una organización quiere certificarse, debe cumplir estas especificaciones.

El documento guía, para desarrollar y poner en práctica los sistemas de calidad es la norma ISO-9004 en la serie ISO-9000, y la norma ISO-14004 en la serie ISO-14000.

Se define a un Sistema de Administración o Gestión Ambiental SAA como:

“La parte del sistema de administración general que incluye la estructura, actividades de planeación, responsabilidades, prácticas, procedimientos, procesos y recursos para desarrollar, implantar, alcanzar, revisar y mantener la política ambiental”.

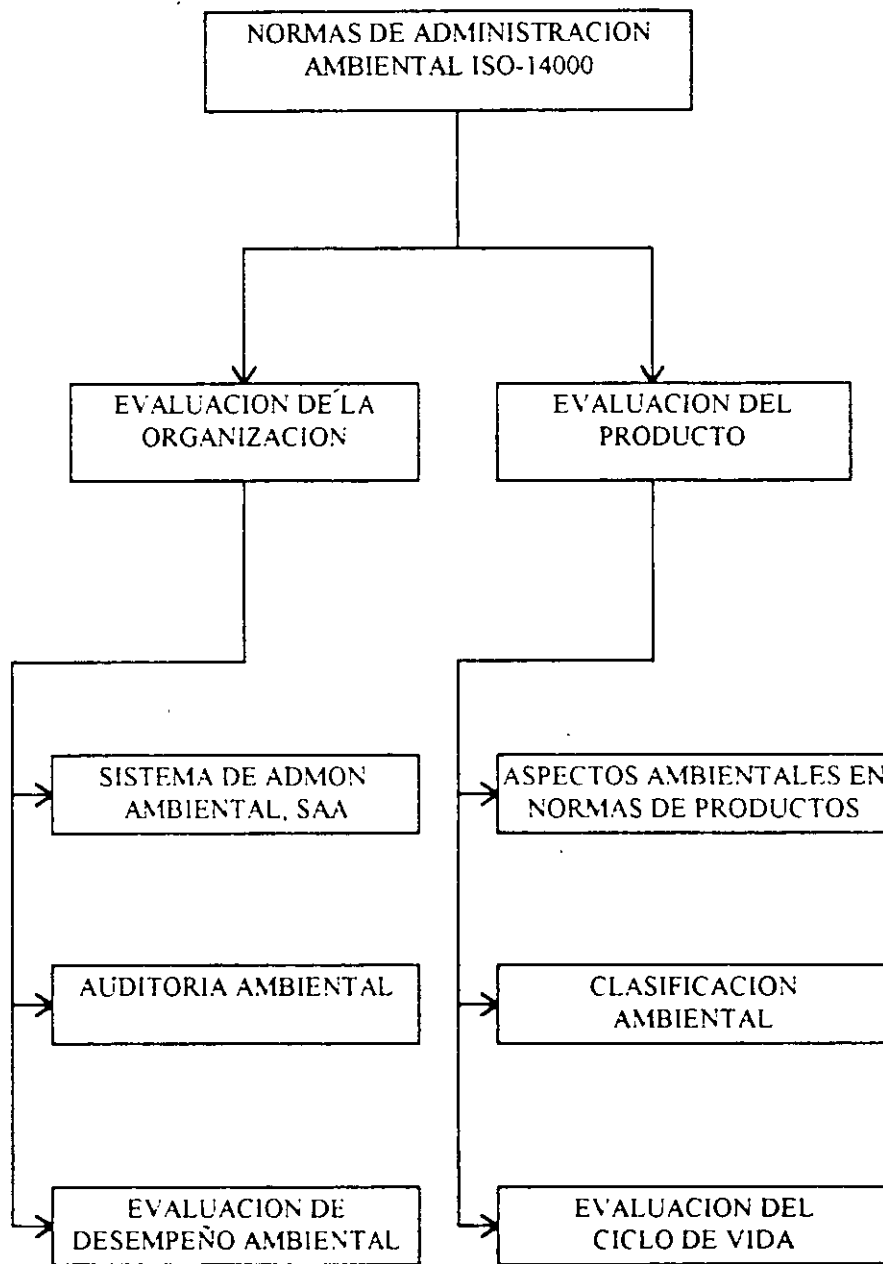


FIG. VII-3.- LA FAMILIA DE NORMAS ISO-14000

- Preparación de planes de emergencia.
- Entrenamiento de personal.

De acuerdo con la etapa en que se encuentre la sustancia, los modelos de simulación pueden clasificarse en la siguiente forma de:

- Proceso.- Predicen la transformación y comportamiento de las sustancias, durante las diferentes etapas del proceso productivo.
- Dispersión.- Predicen el comportamiento y dirección, que seguirán las sustancias cuando sean liberadas; hay modelos separados para dispersión en el aire, en el agua y en el subsuelo, pero no hay un modelo de dispersión en los tres medios simultáneamente.
- Descarga.- Predicen lo que sucederá con el material, al momento de ser liberado al ambiente, y calculan:
 - Si el material se libera como líquido, gas o ambos y sus proporciones.
 - La rapidez de emisión
 - Forma de cambio de su temperatura.
 - Si se forma un charco, sus dimensiones y velocidad de evaporación.
 - La rapidez de mezcla con el medio en que se liberó.
- Explosión.- Calculan el alcance de las ondas de sobrepresión, generadas por la explosión de una nube de vapor.
- Incendio.- Calculan el alcance de niveles de radiación térmica, producida por las flamas de una sustancia.

6.5.7 Aplicabilidad

Las principales características que debe tener un modelo de simulación, a efecto que pueda tener una aplicación útil en el análisis de riesgos, son las siguientes:

- Ser aplicable a sustancias peligrosas, y considerar no únicamente sus propiedades físico-químicas, sino también sus propiedades de toxicidad e inflamabilidad.
- Poderse aplicar a eventos en que la sustancia se libera al ambiente, es decir, debe tomar en cuenta las condiciones ambientales, en donde ocurre el accidente.
- Ser capaz de predecir el comportamiento de la sustancia al ser liberada, es decir, poder predecir la formación de nubes, charcos o neblinas, y definir los cambios que ocurren durante la dispersión, como turbulencia, densidad de la nube e influencia del viento.

- Que la dispersión que modele, identifique el alcance de concentraciones de interés que pueda definir el usuario, o bien que sean concentraciones que señalen algún grado de afectación.
- Definir las distancias para diferentes niveles de afectación por toxicidad, explosividad o inflamabilidad.

Otras características importantes que deben tener los modelos de simulación, son las siguientes:

- Rapidez para realizar los cálculos, que puede significar un ahorro de tiempo.
- Exactitud de los resultados, que puede significar ahorro de recursos, al señalar zonas que no requieren protección, o bien dedicar recursos a zonas que si requieran protección.
- Precisión o reproducibilidad, lo cual asegura confianza en los resultados.
- Costo, que es directamente proporcional al beneficio que pueda generar. De cualquier forma, el costo de un buen modelo puede ser muchas veces menor a los costos de reparar daños, causados por un evento indeseable no evaluado adecuadamente

Los criterios que siga el analista para evaluar los riesgos, son junto con las características del modelo, los aspectos mas importante, los criterios que puede seguir el analista son los siguientes:

- Modelar todos los escenarios que se pueda imaginar el analista.
- Estudiar los antecedentes del proceso, y modelar los eventos que han ocurrido en el pasado o pudieron ocurrir.
- Identificar los eventos indeseables y modelarlos.
- Identificar los escenarios que resulten de la liberación al ambiente de la sustancia.
- Calcular las consecuencias o radios de afectación potenciales.

6.5.8 Metodologías y validación

Para establecer los criterios de modelación, se pueden utilizar los siguientes dos documentos como guía:

- Manual de Técnicas para Evaluar Riesgos Industriales, MTERI, del Banco Mundial.
- Risk Management Program Rule RMP, de la EPA (Environmental Protection Agency)

La metodología sugerida por el MTERI, es en general la siguiente:

- Dividir el proceso en los equipos que lo conforman
- Agrupar los equipos por tipo, p.e., bombas, tuberías, etc.

- Evaluar fugas para cada tipo de equipo en la siguiente forma:
 - La ruptura total instantánea del recipiente o tubería.
 - Una fuga de diámetro equivalente al de la línea de mayor diámetro conectada al recipiente.
 - Una fuga equivalente al 20% del diámetro de la línea de mayor diámetro conectada al recipiente.
 - La apertura del sistema de alivio, cuando corresponda.
 - Una BLEVE, cuando se trate de recipientes que contengan sustancias inflamables.

El RMP de la EPA, especifica los siguientes criterios de modelación:

- Modelar un escenario llamado "Peor Caso", para cada sustancia tóxica y para cada sustancia inflamable. El "Peor Caso", es la liberación de todo el inventario que pueda contener el recipiente de almacenamiento más grande, en un tiempo de 10 min., si la sustancia es tóxica, o instantáneamente si es inflamable.
- Modelar, además del Peor Caso, un "Escenario Alternativo", para cada sustancia tóxica, y uno que represente a todas las sustancias inflamables. Un "Escenario Alternativo", es cualquier escenario que tenga una probabilidad razonable de ocurrir, y presente radios de afectación que alcancen a la población.
- Modelar Escenarios Alternativos adicionales, según se requiera, para tener información de afectación para todos los posibles receptores.

El RMP, especifica también consideraciones sobre condiciones ambientales de la zona donde se realice la modelación, según el Peor Caso o el Escenario Alternativo, de acuerdo con la Tabla VI-12.

TABLA VI-12.- CONDICIONES AMBIENTALES DE LA ZONA PARA MODELACION, SEGÚN RMP

| PEOR CASO | ESCENARIO ALTERNO |
|---|--|
| Velocidad del viento / estabilidad | |
| 1.5 m/s y estabilidad F o según el sitio | Según el sitio o 3.0 m/s y estabilidad D. |
| Temperatura / humedad | |
| Temperatura máxima diaria más alta y humedad promedio con base en los últimos 3 años o 25°C y 50% | Temperaturas y humedades promedio o 25°C y 50% |
| Altura de la emisión | |
| A nivel de piso | Según el escenario o a nivel de piso |
| Topografía | |
| Urbana o rural según aplique | Urbana o rural según aplique |
| Temperatura de la sustancia | |
| Temperatura máxima diaria más alta en el caso de líquidos no refrigerados, con base en los últimos 3 años, o la temperatura del proceso, la que sea mayor. En el caso de gases licuados por refrigeración a presión atmosférica usar sus puntos de ebullición. O bien 25°C o el punto de ebullición de la sustancia | Según la temperatura de proceso o ambiente adecuada al escenario. O bien 25°C o el punto de ebullición de la sustancia |
| Puntos finales | |
| ERPG 2, LOC, 10% IDLH, 0.1LC ₅₀ o 0.01LD ₅₀ para sustancias tóxicas Sobrepresión de 1.0 psi para explosión | ERPG 2, LOC, 10% IDLH, 0.1LC ₅₀ o 0.01LD ₅₀ para sustancias tóxicas Sobrepresión de 1.0 psi para explosión. 5 Kw/m ² por 40 segundos para incendios Límite inferior de inflamabilidad. |

La validación de un modelo de simulación, es una medida de la confianza en los resultados, que se obtienen con la aplicación del modelo para un fenómeno dado.

Un modelo de simulación, se obtiene por el desarrollo de técnicas analíticas, que simulen mecanismos físicos responsables de un fenómeno p.e., la dispersión de una sustancia liberada. En muchos casos, los modelos solo son ecuaciones o secuencia de éstas, correctas según investigaciones; muchos modelos, toman esas ecuaciones y proporcionan un formato, de manera que el usuario alimente con facilidad la información necesaria, y obtenga los resultados de forma escrita o gráfica

No obstante lo anterior, la mayoría de los modelos de dispersión no reflejan la realidad deseada para evaluar el riesgo, consecuencias y efectos probables. Las razones principales de lo anterior son las siguientes:

- Complejidad de los fenómenos físicos (complejidad del terreno y condiciones meteorológicas)
- Incertidumbres asociadas a los procesos.

- Los modelos contienen, por lo anterior, muchas simplificaciones y consideraciones.
- Falta de alimentación de datos precisos y detallados, que describan el escenario de la emisión.

Por todo lo anterior, los resultados de los modelos de dispersión conducen a predicciones, que en el mejor de los casos se pueden considerar como estimaciones.

La validación de un modelo de simulación de dispersión, puede realizarse en las formas siguientes:

- Por experiencias anteriores (se requiere una persona experimentada).
- Por la realización de experimentos, liberando materiales de prueba, y midiendo sus concentraciones a diferentes distancias en favor del viento; posteriormente, se hacen simulaciones y se comparan los resultados. Si los resultados de concentraciones son semejantes, entonces se dice que el modelo es válido.

La exactitud de un modelo de simulación, depende de los parámetros o variables que considera, que incluyen, desde propiedades de la sustancia hasta factores ambientales. Para reflejar mejor las condiciones reales, un modelo debe considerar los siguientes parámetros:

Material. - Se incluyen principalmente las características siguientes:

- Punto de ebullición
- Punto de fusión
- Peso molecular
- Presión de vapor
- Densidad
- Tendencia a polimerizarse
- Reacciones con el aire o con el agua
- Facilidad de modelar mezclas
- Uso de valores absolutos para propiedades
- Incorporación de coeficientes para las ecuaciones de cálculo de las propiedades.

Descarga. - Principales características de la forma en que es descargada la sustancia, p.e.:

- Determinación de la tasa de emisión
- Estado físico al ser liberada
- Variación de temperatura durante la descarga
- Tamaño de las partículas emitidas

- Formación de charcos
- Requerimientos de alimentación por el usuario

Dispersión.- Se deben considerar las diferentes etapas de la dispersión siguientes:

- Expansión turbulenta inicial
- Densidad de la nube
- Dispersión pasiva
- Estabilidad atmosférica
- Velocidad del viento

A la fecha, no hay un protocolo de validación de modelos. La validación, no depende que tan apegadamente refleja la realidad, sino mas bien de lo siguiente:

- Validez de las ecuaciones que utiliza
- Los criterios que usa
- Los parámetros que considera

VII. INSTRUMENTOS DE POLITICA Y GESTION AMBIENTAL

1. PLANEACIÓN Y POLÍTICA AMBIENTAL

Los instrumentos de política ambiental, son las herramientas necesarias en que se sustenta la planeación ambiental, para la aplicación de las políticas ambientales. La naturaleza global e interdependiente de los problemas ambientales, implican un tratamiento, que en algunos casos excede el ámbito de la política nacional.

Puede definirse a la política ambiental, como al conjunto de actividades y procedimientos con que cuentan los diferentes niveles de competencia, para lograr determinados fines de protección del ambiente y conservación de la naturaleza.

La planeación ambiental implica la regulación, promoción, restricción, prohibición, programación, participación, orientación e inducción de acciones, en los campos económicos y social, con objeto de preservar y restaurar el equilibrio ecológico y la protección al ambiente, de acuerdo a la legislación vigente.

Los instrumentos de la política ambiental establecidos en la LGEEPA, son los siguientes:

1. Planeación ambiental
2. Ordenamiento ecológico del territorio.
3. Instrumentos económicos
4. Regulación ambiental de los asentamientos humanos.
5. Evaluación del impacto ambiental.
6. Normatividad en materia ambiental.
7. Autorregulación y auditorías ambientales
8. Investigación y educación ecológicas.

Adicionalmente, se tienen otros instrumentos de gestión ambiental, preventivos, correctivos, y auxiliares, entre los que se encuentran los siguientes:

9. ISO-14000.
10. Aseguramiento de calidad
11. Información ambiental y participación social.
12. Etiquetado ecológico (logotipos, sellos).
13. Evaluación del ciclo de vida (ECV).
14. Evaluación del desempeño ambiental.

A continuación se hará una breve discusión de estos instrumentos.

2. ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DEL TERRITORIO

Se define al ordenamiento ecológico del territorio como un instrumento de política ambiental, cuyo objetivo es regular o inducir el uso del suelo y las actividades productivas, con el propósito de lograr la protección del ambiente y la conservación y aprovechamiento del ambiente, y la conservación y aprovechamiento de los recursos naturales.

De acuerdo con la LGEEPA, en el ordenamiento ecológico se consideran los siguientes criterios.

- La naturaleza y características de los ecosistemas existentes.
- La vocación de cada zona o región en función de sus recursos naturales, distribución de población y actividades económicas predominantes.
- Los desequilibrios existentes en los ecosistemas, por efecto de los asentamientos humanos, de las actividades económicas o de otras actividades humanas o fenómenos naturales.
- El equilibrio que debe existir entre los asentamientos humanos y sus condiciones ambientales.
- La afectación ambiental de nuevos asentamientos humanos, vías de comunicación y demás obras o actividades.

Para el ordenamiento ecológico del territorio, se cuenta con cuatro modalidades distintas de ordenamiento, que también tienen funciones normativas distintas.

A. General.- Es el resultado de un proceso en el que se plantean las tendencias deseables, con relación al uso del territorio y de los recursos naturales a nivel nacional, para determinar:

- La regionalización ecológica del territorio nacional, a partir del diagnóstico de características, disponibilidad y demanda de recursos naturales, así como de las actividades productivas que se desarrollen, y de la ubicación y situación de los asentamientos humanos existentes
- Los lineamientos y estrategias ecológicas para la preservación, protección, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, así como de la localización de actividades productivas y de los asentamientos humanos.

Es obligatorio para el gobierno federal e indicativo para los particulares.

B. Regional.- Puede abarcar o no límites de entidades federativas, solo una parte o incluso dos o más entidades federativas; debe contener la determinación del área o región a ordenar, describiendo sus atributos bióticos y socioeconómicos, así como el diagnóstico de sus condiciones ambientales. Adicionalmente, también debe contener:

- La determinación de los criterios de regulación ecológica para la preservación, protección, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales que se localicen en la región, así como para la realización de las actividades productivas y la ubicación de asentamientos humanos.
- Los lineamientos para su ejecución, evaluación, seguimiento y modificación.

C. Local - Consiste en la determinación de usos del suelo, atendiendo a su vocación o características a nivel local. Tiene un carácter obligatorio, como las disposiciones contenidas en los planes de desarrollo urbano de los centros de población, incluidos en la legislación de asentamientos humanos.

Son expedidos por las autoridades municipales o el Distrito Federal, con el propósito de:

- Determinar las distintas áreas ecológicas, describiendo sus atributos físicos, bióticos y socioeconómicos, así como el diagnóstico de sus condiciones ambientales y tecnologías utilizadas por los habitantes del área.
- Regular fuera de los centros de población los usos del suelo, con el propósito de proteger el ambiente y preservar, restaurar y aprovechar de manera sustentable los recursos naturales, principalmente en la realización de actividades productivas y localización de asentamientos humanos.
- Establecer los criterios de regulación ecológica para la protección, preservación, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales en los centros de población, para que sean considerados en los planes o programas de desarrollo urbano.

D. Marino.- Regula las actividades productivas y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales del mar, zonas costeras, aguas nacionales y zonas contiguas a estas.

El contenido mínimo de un programa de ordenamiento ecológico marino, es el siguiente.

- La delimitación precisa del área que incluye el programa.

- La determinación de las zonas ecológicas por las características, disponibilidad y demanda de recursos naturales, así como el tipo de actividades productivas que se desarrollen.
- Los lineamientos, estrategias y previsiones para la preservación, protección, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, así como la realización de actividades productivas y obras o actividades, que puedan afectar los ecosistemas.

En general, el ordenamiento ecológico incluye disposiciones que tienen como propósito:

- Garantizar el derecho de los individuos, instituciones, organizaciones sociales y centros educativos, a participar en la formulación y revisión del ordenamiento ecológico local.
- Reconocer a las legislaturas estatales la capacidad para reglamentar los procedimientos y el régimen de coordinación entre autoridades estatales y municipales en la materia, para garantizar la participación social en su formulación.
- Vincular la gestión de los recursos naturales con el ordenamiento ecológico del territorio.
- Hacer compatible el ordenamiento ecológico del territorio con la reglamentación del uso del suelo, derivada de la legislación en materia de asentamientos humanos.

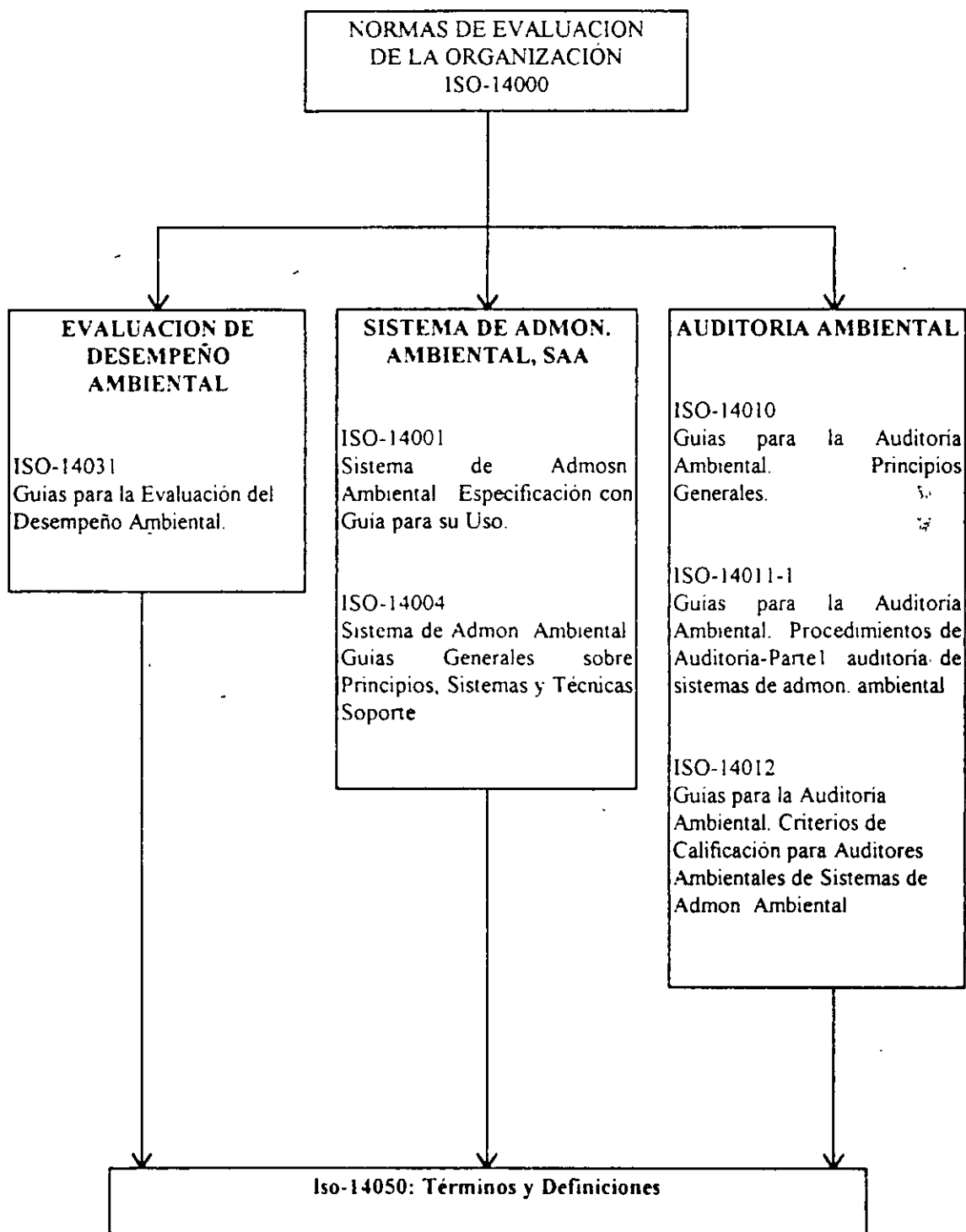


FIG. VII-4.- NORMAS ISO-14000 PARA EVALUACION DE LA ORGANIZACION

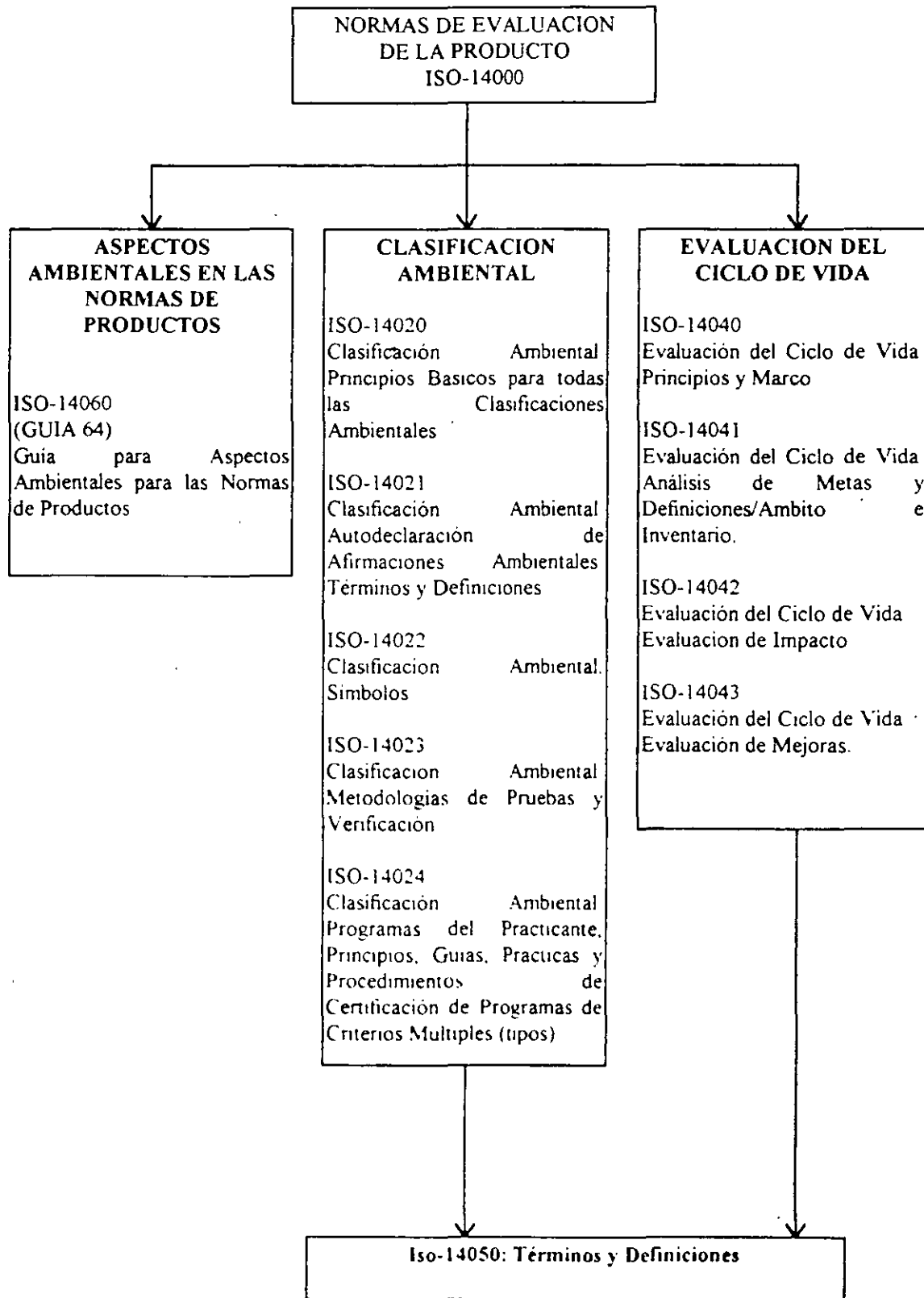


FIG. VII-5.- NORMAS ISO-14000 PARA LA EVALUACION DEL PRODUCTO

La ISO-14001.- Las definiciones contenidas están dirigidas a ayudar a los usuarios, a lograr una interpretación y puesta en práctica uniforme de sus requerimientos. Se redactó para que tenga aplicación en organizaciones geográficas, sociales y culturales diferentes, ya que los requisitos de tecnología no son una parte de la norma. Los elementos principales asociados con el SAA, como se establece en ISO-14001, se muestran en la Fig. VII-6, siguiente:

Los subsistemas que apoyan al SAA para la evaluación de una organización son las siguientes:

- Auditoría ambiental (ISO-14010, ISO-14011 e ISO-14012)

- Evaluación del desempeño ambiental (ISO-14031)

La norma ISO-14043 de "evaluación del ciclo de vida" puede ser una herramienta soporte muy útil al SAA, especialmente para apoyar actividades cubiertas por las normas ISO-14031, ISO-14020, 14021 y 14024 (clasificación ambiental) y la guía 64 o ISO-14060 (aspectos ambientales en normas de productos)

Los requerimientos del SAA establecidos en ISO-14001 son los siguientes:

- Política ambiental (4.2)

- Planeación (4.3)
 - Aspectos ambientales (4.3.1)
 - Requisitos legales y otros (4.3.2)
 - Objetivos y metas (4.3.3)
 - Programa(s) de administración ambiental (4.3.4)

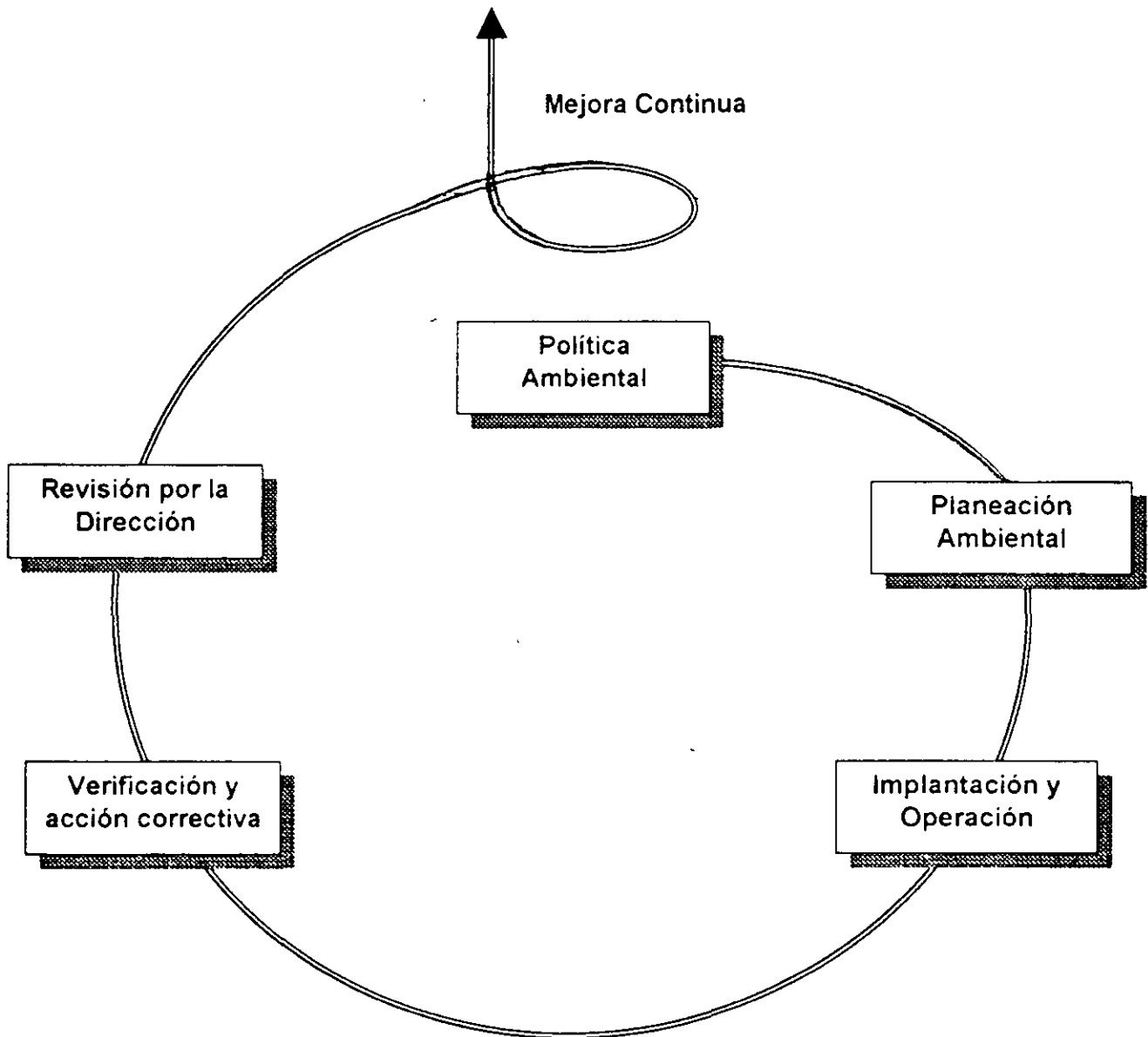


FIG. VII-6.- LOS ELEMENTOS PRINCIPALES DE UN SAA (ISO-14001)

- Implantación y operación (4.4)
 - Estructura y responsabilidad (4.4.1)
 - Capacitación, conciencia y competencia (4.4.2)
 - Comunicación (4.4.3)
 - Documentación del SAA (4.4.4)
 - Control de documentos (4.4.5)
 - Control de operaciones (4.4.6)
 - Preparación y respuesta a emergencias (4.4.7)

- Verificación y acción correctiva (4.5)
 - Supervisión y medición (4.5.1)
 - No conformidad y acciones correctivas y preventivas (4.5.2)
 - Registros (4.5.3)
 - Auditoría del SAA (4.5.4)

- Revisión por parte de la dirección

Sobre la política ambiental, la ISO-14001 establece lo siguiente:

“La alta dirección debe definir la política ambiental de la organización y asegurar que:

- a) sea adecuada a la naturaleza, escala e impactos ambientales de sus actividades, productos o servicios,

- b) incluya un compromiso para la mejora continua y la prevención de la contaminación;

- c) incluya un compromiso para cumplir con la legislación y regulaciones ambientales aplicables y otros requerimientos que adopte la organización;
- d) constituya el marco para establecer y revisar los objetivos y metas ambientales;
- e) este documentada, implantada, se mantenga y se comunice a todos los empleados;
- f) este disponible al público”.

Se considera que las normas ISO-14000 son muy importantes porque serán un factor del desarrollo y el comercio internacional por las siguientes razones:

- Las normas facilitan el comercio y eliminan barreras comerciales.
- La creación de estas normas mejorarán el desempeño ambiental a nivel mundial.
- Estas normas establecen un consenso mundial de que existe una necesidad de administración ambiental y una terminología común para los SAA.

10. ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

Orígenes de la ISO

La Organización Internacional para la Normalización (ISO) tiene sus orígenes en la Federación Internacional de Asociaciones Nacionales de Normalización que operó de 1926 a 1939.

De 1943 a 1946 el Comité Coordinador de las Naciones Unidas para la Normalización (UNSCC) actuó como organización interina.

En Octubre de 1946, en Londres, se acordó el nombre de la Organización Internacional para la Normalización (ISO, por sus siglas en Inglés).

La organización, conocida como "ISO", celebró su primera reunión en Junio de 1947, en Zurich, Suiza.

Para mayor información consultar:

- "The International Standards Movement" del Editor Dickson Reck
- "National Standards in a Modern Economy" de Harper & Brothers (Capítulo 5).

"ISO" en la actualidad

La "ISO" (International Standards Organization) es un organismo no gubernamental con sede en Ginebra, y más de 100 agrupaciones o países miembros.

La "ISO" no está afiliada a las Naciones Unidas ni a ninguna organización Europea.

Los representantes de países en "ISO", son nombrados por las autoridades de dichos países.

El término "ISO", utilizado para hacer referencia a la organización y sus normas, no es una sigla, sino el subfijo que significa "igual".

Por tradición "ISO" hacía énfasis en normas técnicas de productos y seguridad, que a través de los años han fomentado el comercio internacional, la uniformidad de productos e interconexión.

Todas las normas desarrolladas por "ISO", son voluntarias, por consenso y del sector privado.

Las labores de ISO son desarrolladas en Comités Técnicos establecidos por el Consejo de Administración Técnica (Technical Management Board, TMB).

En la década de 1980 "ISO" emprendió la tarea de estandarizar un aspecto de la administración organizacional. La Administración de Calidad.

Esta fue la primera ocasión en que "ISO" creaba normas que no eran, en esencia, de bases técnicas y/o científicas.

El Comité Técnico (TC) 176 recibió el reto de desarrollar dichas normas, que a la postre resultaron las más populares y exitosas en la historia de "ISO".

Las normas serie "ISO"-9000 de forma oficial existe desde 1987, cuando la Organización Internacional para la Normalización (International Standards Organization, ISO) publicó en Ginebra, Suiza, los cinco principales documentos de que consta esta serie.

Los cinco principales documentos de la serie ISO-9000-9004

- ISO-9000-1 (NMX-CC-02) - Normas de aseguramiento y administración de la calidad. lineamientos para la selección y uso
- ISO-9001 (NMX-CC-03) - Sistemas de calidad - modelo para el aseguramiento de la calidad en el diseño, desarrollo, producción, instalación y servicio
- ISO-9002 (NMX-CC-04) - Sistemas de calidad. modelo para el aseguramiento de la calidad en la producción, instalación y servicio.
- ISO-9003 (NMX-CC-05) - Sistema de Calidad modelo para el aseguramiento de la calidad en inspección y pruebas finales
- ISO-9004-1 (NMX-CC-06) - Elementos de administración y sistemas de calidad: lineamientos

El enfoque de la calidad aplicado a la gestión ambiental es relativamente nuevo y existe alguna confusión en lo que significa la calidad.

Las principales definiciones relacionadas con la calidad, establecidas en las normas mexicanas (NMX)-CC y que son equivalentes a las ISO de la serie 9000 respectivas son las siguientes:

Calidad.- Conjunto de características de un elemento, que le confieren la aptitud para satisfacer necesidades explícitas e implícitas.

Control de Calidad - Técnicas y actividades de carácter operacional, utilizadas para cumplir los requisitos para la calidad.

Aseguramiento de la Calidad.- Conjunto de actividades planeadas y sistemáticas, implantadas dentro del Sistema de Calidad y demostradas según se requieren, para proporcionar confianza adecuada de que un elemento cumplirá los requisitos para la calidad.

Sistema de Calidad.- Es la estructura organizacional, los procedimientos, los procesos y los recursos necesarios, para implantar la administración de la calidad.

La documentación de un sistema de calidad, en donde se plasma la planeación de las actividades para el aseguramiento de calidad, está compuesta por lo siguiente:

- Manual de Calidad
- Procedimientos del Sistema
- Instrucciones de Trabajo
- Documentación de soporte (leyes, normas, códigos, especificaciones, etc.)

Lo establecido en esta documentación debe implantarse, y un organismo acreditado de acuerdo con la LFMN debe certificarlo, para proporcionar confianza adecuada que el producto o servicio cumplirá los requisitos para la calidad.

La certificación se hace contra normas, que en el caso de las ISO 9000 existen tres certificables:

- ISO-9001 (NMX-CC-003) - Para diseño, desarrollo, producción, instalación y servicio.
- ISO-9002 (NMX-CC-004) - Para producción, instalación y servicios
- ISO-9003 (NMX-CC-005) - Para inspección y pruebas finales

De estas normas, la más completa es la 9001 que incluye los 20 requisitos siguientes, para el diseño, desarrollo, producción, instalación y servicio de un producto:

- Responsabilidad de la dirección.
- Sistema de Calidad
- Revisión del contrato
- Control del diseño
- Control de documentos y datos
- Adquisiciones
- Control de productos proporcionados por el cliente
- Identificación y rastreabilidad del producto
- Control del proceso
- Inspección y prueba
- Control de equipo de inspección, medición y prueba
- Estado de inspección y prueba
- Control de producto no conforme
- Acción correctiva y preventiva
- Manejo, almacenamiento, empaque, conservación y entrega
- Control de registros de calidad
- Auditorías de calidad internas
- Capacitación
- Servicio
- Técnicas estadísticas.

11. INFORMACION AMBIENTAL Y PARTICIPACION SOCIAL

11.1 Información Ambiental

La difusión de conocimientos generales y especializados sobre el ambiente, y la toma de conciencia por parte de la comunidad, de la necesidad de un enfoque adecuado de los problemas ambientales, tienen una importancia que puede ser decisiva, tanto para la continuación del desarrollo económico, como para la utilización de los recursos en beneficio de toda la humanidad.

La utilización de los medios de información con fines educativos, contribuirá a generalizar la toma de conciencia y la comprensión de las cuestiones ambientales.

En la actualidad, el intercambio de información y de experiencias, son indispensables para la universalización del cuidado y preservación del ambiente, sin embargo, las estrategias predominantes de información, no son las más adecuadas para hacer frente a estas necesidades. Es fundamental, buscar los enfoques de mayor eficacia para acceder a la información, reorganizarla y difundirla en función de los diferentes usuarios.

Debido a la problemática surgida entre las actividades humanas, la contaminación y el ambiente, se hace necesario:

- Una información veraz, oportuna y actualizada, a los ciudadanos sobre los problemas ambientales.
- Crear canales que permitan a los ciudadanos, recibir información y divulgar conocimientos ambientales, para lograr la prevención y/o solución de los problemas del entorno.
- Informar y concientizar a diferentes niveles de la sociedad, de la importancia del ambiente y de las acciones realizadas por el hombre, que lo deteriora e incluso lo destruye de forma irreversible

La interacción de las personas con su ambiente es un fenómeno complejo, que depende en gran medida de componentes cognoscitivos y efectos individuales, que en su mayoría son influenciados culturalmente.

La actuación del hombre sobre el ambiente esta en función de la representación que sobre el se tiene, y la comprensión del entorno depende de la capacidad para interpretar y asimilar la información que éste proporciona.

En éste contexto de información, no interesa tanto el aprendizaje de determinados conceptos o actitudes, como la modificación sistemática de la sintonización de la comunicación con el entorno.

La información política, económica y cultural de los medios de comunicación es nominativa, mientras que la información ambiental es con frecuencia anónima, a veces en coro y en pocas ocasiones tiene rostros identificables por el gran público.

Los medios de comunicación, favorecen el posicionamiento activo de los distintos sectores sociales implicados en las decisiones ambientales, convirtiéndose en portavoces de la opinión pública ante los responsables de los procesos de decisión.

Sobre las publicaciones (de temas ambientales), hay las que tienen un carácter puntual (libros) y las periódicas (revistas). Las primeras, a pesar de que ofrecen en su mayoría información muy valiosa, no permiten establecer un verdadero proceso comunicativo. Las revistas por lo general suelen facilitar la comunicación, pero el inconveniente es que al no ser especializadas en educación ambiental, tratan el tema de forma aislada y discontinua.

Las actitudes o tendencias habituales de los medios de comunicación, ante las informaciones de tipo ambiental, pueden resumirse en la siguiente forma:

- Superficialidad
- Catastrofismo
- Estimación de responsabilidades
- Mínima especialización
- Objetivos persuasivos (publicidad)

Debido a lo complejo de los problemas ambientales, tanto en la clarificación de sus causas como en la explicación de sus consecuencias, requieren del informador una actitud responsable caracterizada por lo siguiente:

- Documentación exhaustiva sobre el hecho, con intervención en todas las funciones útiles.
- Narración del hecho con antecedentes y consecuencias, así como actores implicados.
- Valoración crítica del hecho
- Inserción del hecho informativo (problema ambiental), en un contexto amplio que supere la escala local.
- Humanización de la información.- Escribir de tal forma que la información tenga sentido para el lector, es decir, implicar al receptor y hacerlo partícipe de la información.

Con relación a la información ambiental, el PNUMA hace la siguiente recomendación:

“Para hacer frente a los problemas ambientales, es fundamental que los medios de comunicación dispongan de la mejor información sobre la materia y después la transmitan adecuadamente al público. El éxito de la comunicación ambiental, no se mide por la aceptación pública de las soluciones formuladas por los encargados de tomar decisiones; se alcanza cuando un público bien informado, escoge las mejores soluciones con conocimiento de causa. Una de las funciones más importantes de los medios de comunicación, es ampliar el público que participa en el debate sobre una cuestión concreta”.

La participación social y la información ambiental están establecidas en la LGEEPA (1996), Título Quinto, Artículos del 157 al 159 BIS 6. En esta parte, se instituyen los aspectos que se describen a continuación:

Con relación al derecho a la información ambiental, la SEMARNAP desarrollará las siguientes acciones:

- Elaborar un sistema nacional de información ambiental y de recursos naturales, para: registrar, organizar, actualizar y difundir la información ambiental nacional, que se coordina y complementa con el sistema de cuentas nacionales del INEGI.
- En el sistema anterior, integrará entre otras cosas, información relativa a:
 - i. Inventarios de recursos naturales existentes.
 - ii. Mecanismos y resultados obtenidos del monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo.
 - iii. Ordenamiento ecológico del territorio.
 - iv. Inventarios, registros e información de autorizaciones, licencias o permisos, como se establece en el artículo 109 BIS de la LGEEPA.
 - v. Registros, programas y acciones realizadas para la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.
 - vi. Documentos e informes relevantes de actividades científicas, académicas, trabajos técnicos o de otra índole en materia ambiental y de preservación de recursos naturales realizados en el país.
- Elaborar y publicar bianualmente un informe detallado de la situación general existente en el país, en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente.

- Editar una gaceta en la que se publiquen (independientes de la publicación en el diario oficial de la federación):
 - i. Disposiciones jurídicas
 - ii. Normas Oficiales Mexicanas (NOM's)
 - iii. Decretos
 - iv. Reglamentos
 - v. Acuerdos
 - vi. Otros actos administrativos.
 - vii. Información de interés general en materia ambiental.
 - viii. Información oficial relacionada con las áreas naturales protegidas.
 - ix. Preservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.

- Toda persona tiene derecho, a que las dependencias gubernamentales pongan a su disposición la información ambiental que les soliciten, en los términos previstos por la LGEEPA, debiendo el solicitante cubrir los gastos que se originen, identificarse por nombre o razón social y domicilio en forma escrita. Se considera información ambiental.
 - i. Cualquier información escrita, visual o en forma de base de datos, que dispongan las autoridades ambientales en materia de agua, aire, suelo, flora, fauna y recursos naturales en general.
 - ii. Actividades o medidas que les afecten o puedan afectarlos.

- Las autoridades ambientales negaran la entrega de información cuando:
 - i. Por disposición legal la información es confidencial o su difusión afecta la seguridad nacional
 - ii. Sea de procedimientos judiciales o de inspección y vigilancia pendientes de resolución, cuando su difusión ponga en riesgo la adecuada aplicación de la ley
 - iii. Sea información aportada por terceros que no estén obligados legalmente a proporcionarla.
 - iv. Sea información de inventarios, insumos y tecnologías de proceso, incluyendo su descripción.

- La autoridad ambiental debe contestar por escrito las solicitudes de información en un plazo no mayor de 20 días. En caso de negativa se deben señalar las razones.

Transcurrido el plazo anterior si no se emite respuesta, se entenderá resuelta en sentido negativo.

La autoridad ambiental debe notificar al generador o propietario de la información, del recibo de la solicitud en un plazo de 10 días.

- Los afectados por actos de la SEMARNAP en materia de información ambiental, pueden impugnarlos interponiendo el recurso de revisión conforme a la LGEEPA y la ley federal de procedimiento administrativo.
- Quien reciba información ambiental de las autoridades competentes, es responsable de su adecuada utilización y debe responder por los daños y perjuicios que ocasione su indebido manejo.

11.2 Participación Social

Sobre la política ambiental y los recursos naturales, el gobierno federal debe promover la participación corresponsable de la sociedad en la:

- Planeación
- Ejecución
- Evaluación
- Vigilancia

Para el propósito anterior, la SEMARNAP debe realizar las siguientes acciones:

- Convocar, en el ámbito del sistema nacional de planeación democrática, a las organizaciones y personas interesadas, para que manifiesten su opinión y propuestas
- Celebrar convenios con diversas organizaciones, comunidades, instituciones educativas, representaciones sociales y particulares interesados en la preservación y restauración del equilibrio ecológico para la protección del ambiente.
- Celebrar convenios con medios de comunicación masiva para la difusión, información y promoción de acciones de preservación del equilibrio ecológico y protección al ambiente
- Promover reconocimientos a los esfuerzos mas destacados de la sociedad, para preservar y restaurar el equilibrio ecológico y proteger el ambiente.
- Impulsar el fortalecimiento de la conciencia ecológica, mediante acciones conjuntas y convenios con la comunidad.
- Concertar acciones e inversiones con instituciones, organizaciones y demás personas físicas y morales interesadas, para la preservación y restauración del equilibrio ecológico y protección al ambiente.
- Integrar órganos de consulta con participación de entidades y dependencias de la administración pública, instituciones académicas y organizaciones sociales y empresariales, para asesorar, evaluar y dar seguimiento a la política ambiental y emitir opiniones y observaciones.

12. ETIQUETADO ECOLÓGICO (LOGOTIPOS, SELLOS)

El etiquetado ecológico es un instrumento de la gestión ambiental, para distinguir en alguna forma a los productos que respetan el ambiente y que han reducido la contaminación al mínimo; tiene una función distintiva e informativa que:

- Facilita la información, la capacidad de selección y el criterio objetivo de los consumidores.
- Impulsa a productores y distribuidores a ganar mayores cuotas de mercado, mejorando los procesos productivos y disminuye las afectaciones ambientales.

Aún cuando en la realidad no existe un producto con cero contaminación, también es cierto que las afectaciones ambientales en las etapas de producción, utilización y desecho pueden reducirse a un mínimo.

En base a la premisa anterior, se establece la necesidad de tener instrumentos que permitan a los consumidores, identificar fácilmente los productos que presentan poca agresividad sobre el ambiente. Para este propósito, algunos países han creado sistemas de etiquetado ecológico.

En la Tabla VII-2, se muestra los tipos de programas de etiquetado ecológico respectivamente.

Los objetivos que el etiquetado ecológico permite alcanzar, en función de los principios fundamentales de las políticas ambientales, son principalmente los siguientes

- Facilitar información exacta y verídica.
- Sensibilizar a los consumidores.
- Ayudar a los consumidores en la selección de productos o servicios
- Mejorar las ventas y/o imagen de un producto o servicio
- Infundir a los fabricantes y diseñadores de productos y servicios, el sentimiento de responsabilidad ambiental
- Proteger el ambiente

El proceso de evaluación para conceder la etiqueta ecológica a un producto o servicio, incluye la definición exacta de categoría de productos sujeta al programa de etiquetado, es decir, la relación de productos que los integran. Las fases o etapas que conforman la evaluación, son las siguientes:

- Preselección de categorías o familias de productos. Se enmarcan los productos sujetos al programa de etiquetado ambiental en categorías de productos, que sirven para fines similares y tienen usos equivalentes. Se excluyen los productos con riesgos para la salud humana y los farmacéuticos y alimentos, que están sujetos a reglamentación especial y sus etiquetas ofrecen otro tipo de información.
- Evaluación de la afectación ambiental en todo el ciclo de vida de los productos de una categoría, grupo o familia.
- Definición de los estándares para la evaluación de un producto. Los criterios valorativos, se sintetizan al establecer los estándares o valores de calidad ambiental mínimos en el ciclo de vida del producto, es decir, fijar las afectaciones umbrales que no deben ser sobrepasados durante el ciclo de vida. Los estándares deben ser superiores y las afectaciones inferiores a los marcados por la normatividad vigente aplicable.

La intervención gubernamental en los programas de etiquetado ecológico es muy diferente de un país a otro, desempeñando alguna de las siguientes funciones:

- Regulación o financiamiento simple
- Gestor activo o dirigente del programa
- Inspección y control en la mayor parte de los casos

La ejecución de programas de ecoetiquetado, significa costos importantes, en lo que se refiere a investigación, corrección de impactos, difusión, publicidad y personal. El financiamiento puede ser por parte de los propietarios de los productos como beneficiados por la etiqueta, por el estado como medida institucional de protección al ambiente, o bien por ambos, mediante diferentes modalidades.

TABLA VII-2.- TIPOS DE PROGRAMAS DE ETIQUETADO ECOLÓGICO.

| Modalidad | Programa | Descripción |
|-------------|------------------------------------|--|
| DISTINTIVA | Etiqueta distintiva | Etiqueta anexa al producto, donde se exponen los efectos de éste sobre el ambiente. |
| | Logotipo | Símbolos característicos que distinguen a los productos que los emplean. Están respaldados por organismos y/u organizaciones de reconocida solvencia y prestigio e identifican a los productos ecológicamente asumibles y menos importantes. |
| | Sello de aprobación | Acuñación, que distingue productos o servicios que son menos perjudiciales para el ambiente que otros productos o servicios similares o de la misma familia y con la misma función. |
| INFORMATIVA | Certificación individual | Certificado que presentan algunos productos, en los que un tercero, independiente, ha validado alguna característica ambiental, a instancias del productor |
| | Tarjetas y folletos informativos | Folletos o tarjetas individuales, que ofrecen a los consumidores una información neutral acerca del comportamiento ambiental del producto y en su caso de la actividad objeto del programa. |
| | Revelación de información | Prospecto que revela algo acerca del producto y que no ha sido especificado en la información facilitada por el fabricante. Se diferencia de los folletos y tarjetas en que se rigen por una norma o reglamento concreto |
| | Advertencias de riesgo y/o peligro | Son avisos y mensajes precautorios - obligatorios- concernientes a los impactos ambientales, incluida la salud humana, de los productos. Pueden considerarse <i>etiquetas negativas</i> |
| | Libros y/o publicaciones | Información publicada acerca de los impactos ambientales producidos durante el ciclo de vida de un producto. Pueden presentar carácter específico respecto a un solo producto o de tipo general respecto a un grupo de productos. La información puede ser de tipo positivo o negativo |

Aún cuando la legislación es diferente en cada país, el etiquetado ecológico presenta aspectos jurídicos semejante:

- Registro de la marca objeto del etiquetado y el anagrama correspondiente.
- Contratos referentes a la utilización y difusión de la etiqueta, precisando derechos y obligaciones.
- Depósito administrativo para protección contra utilización por persona moral no autorizada.
- Control: procedimientos a seguir en caso de abuso o incumplimiento del contrato, etc.

Visto desde el punto de vista que el etiquetado ambiental, es para seleccionar productos con impactos ambientales inferiores a los de otros productos de la misma categoría, se le considera discriminatorio y selectivo.

Visto desde la óptica que el sello ecológico significa calidad o bondad ambiental, no se le puede considerar negativo, aunque pudiera utilizarse para crear obstáculos parciales, no tarifarios y de aranceles.

La reglamentación de un sistema de etiqueta ecológica, debe tener los siguientes propósitos:

- Promover el diseño, producción, comercialización y utilización de productos que tengan afectaciones reducidas en el ambiente durante todo su ciclo de vida.
- Proporcionar a los consumidores mejor información sobre las afectaciones ecológicas de los productos.

El reglamento no debe aplicarse a los siguientes productos:

- Alimentos, bebidas y productos farmacéuticos.
- Sustancias y preparados clasificados como nocivos y/o riesgoso para el ambiente
- Productos para los que algún proceso de su ciclo de vida (obtención de materia prima, consumo de energía, producción, distribución, uso y desecho) no se ajuste a los requisitos ambientales, incluyendo la seguridad y salud humanas y produzcan afectaciones ambientales por arriba del umbral establecido.

Los problemas que es necesario resolver para lograr un desarrollo adecuado de etiquetado ecológico, son los siguientes:

- Conocimiento de los ámbitos productivos afectados (industria, comercio y servicios).
- Conocimiento de la realidad social y la opinión pública. Actitud del consumidor, expectativas, nivel de información, opinión ante el mercado ecológico y papel de las asociaciones ambientalistas.
- Desarrollo del funcionamiento de un grupo de trabajo de etiquetado ecológico.
- Garantizar la independencia y neutralidad del organismo competente, para credibilidad y prestigio del sistema.

Aun cuando en México no existe estrictamente una etiqueta ecológica, si existe una certificación por parte de la PROFEPA de "Industria limpia" para quienes han cumplido satisfactoriamente todas las recomendaciones de una auditoría ambiental

13. EVALUACIÓN DEL CICLO DE VIDA (ECV)

13.1 General

La evaluación del ciclo de vida (ECV), ecobalance o análisis de la "cuna a la tumba" (cradle to grave) de un producto, es otro instrumento de gestión muy valioso para conocer las afectaciones ambientales de un producto.

Las evaluaciones del ciclo de vida, son inventarios que permiten a un fabricante cuantificar la cantidad de energía, agua y materia prima que se utilizan y cuales son, cualitativa y cuantitativamente, los residuos sólidos, líquidos y gaseosos generados en cada una de las fases del proceso de fabricación, en el uso o consumo y en su eliminación final, o sea, en su ciclo de vida completo. Una segunda etapa de ECV consiste en valorar los resultados.

La realización de una ECV exige mediciones correctas y analíticas durante la fabricación de un artículo, desde la obtención de materias primas hasta la determinación de los rendimientos energéticos y uso del agua. También la eficiencia de los procesos, incluyendo la generación de subproductos, desechos y residuos finales, así como su tratamiento, reciclaje y eliminación.

Las evaluaciones del ciclo de vida son imprescindibles para el etiquetado ecológico de un material, equipo o producto. Son trabajos de mucha utilidad, ya que permiten identificar fácilmente áreas del proceso de fabricación y gestión de la empresa en las que puedan introducirse mejoras; éstas evaluaciones suelen integrarse en las revisiones ambientales y en las auditorías.

La afectación ambiental total de un producto, responde a la suma de los impactos que produce durante su ciclo de vida, porque durante las diversas etapas de la vida de un producto, la afectación producida varía tanto en caracterización como en intensidad.

La evaluación del impacto en el ciclo de vida de un producto, puede efectuarse mediante matrices específicas o mediante matrices para la ejecución del estudio de impacto ambiental. matriz de efectos, matriz de importancia, matriz de valoración cuantitativa, etc.

Si la ECV incorpora una contabilidad de costos ambientales, probablemente se observe que muchos de los mejoramientos ambientales también producen ahorros.

La ECV puede hacerse a productos o servicios, aunque normalmente se hace a productos, sin embargo, la mayoría de los conceptos pueden también aplicarse a servicios. Un ejemplo de servicio de relevancia especial en términos de la ECV es el servicio de tratamiento, almacenamiento y facilidades de disposición de desechos peligrosos.

13.2 Manufactura del producto

La etapa que trata con la manufactura del producto es la más complicada y puede dividirse en varias subetapas, relacionadas con la manufactura y transportación del producto; muchos consumidores, suponen incorrectamente que todos los impactos están asociados con la fabricación. Aunque esto es obvio, sin embargo en el uso y disposición del producto, también resultan muchos impactos.

En las siguientes subetapas se identifican los impactos ambientales y las evaluaciones que deben hacerse durante la fabricación del producto.

Planeación y diseño - Por lo general hay muy pocos impactos, que la mayoría son menores como el uso de papel, electricidad y servicios; la significación real es que el diseño para el ambiente debe ser implementado en esta parte. Si se eliminan los impactos potenciales durante la fase de diseño, se ayudará al ambiente y a ahorrar dinero en el proceso.

Extracción de materia prima - Los impactos pueden ser significativos y podrían incluir:

- Disturbio del ambiente durante el minado
- Desarrollos petroleros
- Aserraderos
- Otras operaciones

Ejemplos de impactos que deben ser evaluados, incluyen los siguientes:

- Erosión
- Pérdida de ecosistemas, especies o hábitat
- Calidad del aire como por polvos fugitivos
- Descargas en cuerpos de agua

Transporte de materia prima - Por lo general la materia prima debe procesarse antes de incorporarla al producto final, y este procesamiento no se hace en el punto original de la materia prima por lo que se requiere su transportación. Los impactos asociados con la transportación incluyen

- Uso de combustible para vehículos
- Escapes de los vehículos
- Construcción de caminos
- Consumo de agua y desechos por servicio a vehículos
- Desechos por retiro de vehículos

Procesamiento de materia prima - El procesamiento de materia prima crea impactos al ambiente ya sea que se trate de carbón, petróleo, gas, madera, minerales u otras sustancias.

En el caso del petróleo y su refinación, únicamente pocas etapas del proceso se realizan en la descarga del pozo y la mayoría se hace lejos a muchos kilómetros, en una refinería. Los impactos que se producen en ésta etapa incluyen.

- Aire, agua, atmósfera, flora y fauna silvestres.
- Desechos sólidos y peligrosos.

Transporte de materia prima procesada - Pueden ocurrir los mismos impactos mencionados de transportación, aunque el grado puede ser diferente, p.e., pueden ser menos kilómetros de viaje, el material está ahora concentrado y pueden requerirse menos vehículos.

Por el lado negativo hay que considerar que el material está ahora concentrado y podría resultar en impactos ambientales mayores si el material se derrama o se cae fuera del vehículo.

Fabricación de componentes con la materia prima - Una vez procesada la materia prima se puede incorporar a los componentes que es la primera etapa del proceso de fabricación, una parte puede necesitar ser formada, plateada y unida a otra parte.

Con frecuencia este proceso requiere químicos y genera desechos peligrosos, de forma que el proceso completo de fabricación debe ser evaluado.

Transporte de componentes - Son del mismo tipo de impactos de transportación anteriores que deben evaluarse y agregarse, los componentes no crean impactos grandes si se caen o derraman del transporte.

La mayor variable que determina el nivel de impacto por uso de combustible, es la distancia al fabricante.

Manufactura del producto primario - Normalmente en la manufactura de productos, el énfasis de la operación es en el ensamble, que es una etapa automática o de mano de obra intensiva para llegar al producto final.

Por lo general esta etapa afecta menos a la tierra con la generación de algunos químicos y desechos peligrosos, sin embargo, se crean algunos impactos, especialmente si algunos componentes se limpian, mejoran o se les hacen algunos cambios. Se deben identificar y cuantificar todos los impactos como los asociados con:

- Soldadura de plomo
- Limpieza con solventes
- Generación de desechos sólidos

Transportación del producto primario.- El impacto es similar a los anteriores de transportación; una diferencia grande es que el nivel del impacto de transportación en esta parte, es considerablemente mayor debido al hecho que muchos productos se distribuyen en forma amplia.

13.3 Uso y disposición del producto

Uso del producto por el consumidor primario.- Estos impactos también deben evaluarse y pueden incluir:

- Uso de agua y energía
- Emisiones al aire

La cantidad de impacto puede ser pequeño sobre la base de unidad, pero si se consideran todos los consumidores puede ser muy grande, para algunos productos, el impacto por su uso sobrepasa los impactos en todas las otras fases del ciclo de vida. El hábitat personal del consumidor, puede reducir o incrementar grandemente el nivel del impacto

Transportación del producto de regreso al fabricante para reparación.- Puede ocurrir algún impacto de transportación, que es difícil de cuantificar porque el regreso de un solo producto, puede ser por varios medios desde diferentes tipos de localizaciones. Aunque el impacto individual puede ser bajo, si gran número de productos requieren reparación, el impacto total puede ser significativo.

Reparación del producto.- La reparación de productos es en si mismo una acción ambientalmente sana ya que permite el reuso del producto, sin embargo, las operaciones de reparaciones pueden usar químicos como solventes, que se vuelven desechos peligrosos, también pueden estar involucradas descargas al aire, agua y tierra. Los impactos anteriores, necesitan ser evaluados junto con el uso de recursos para la reparación

Algunos productos no son reparables y deben ser reciclados o enviados a los rellenos de tierras, estas acciones también generan impactos

Transportación del producto reparado de regreso al consumidor.- Ocurren algunos de los mismos impactos señalados anteriormente en la transportación, como el uso de combustible y las emisiones al aire.

Algunos productos reparados se envían de regreso en vehículos que regresan al área para otros propósitos, y en este caso los impactos pueden reducirse al hacer los cálculos.

Reuso por el consumidor del producto reparado.- El reuso de productos es sano para el ambiente, porque evita los impactos iniciales en el ciclo de vida como los asociados con la extracción de materia prima.

En donde se reusa un producto viejo o use uno nuevo, el tipo de impactos por el "uso del producto" necesita agregarse al total para tener una evaluación completa.

Transportación de producto no reparable.- Cuando el producto no puede ser reparado o reusado, debe ser transportado de nuevo y entonces ocurren impactos al aire y energía. La transportación puede ser al fabricante, reciclador o a un sitio de disposición.

La estimación de impactos es difícil en esta etapa, porque la transportación puede hacerse por diferentes organizaciones, además que el consumidor puede desarmar el producto, manejarlo, transportarlo en diferentes formas.

Reciclamiento del producto para valores de materia prima.- La mayoría de los productos que no funcionan, deben reciclarse y no enviarse a rellenos; los valores de salvamento o "deshuesado" varían, sin embargo, la mayoría de los componentes (aún los plásticos), tienen suficiente valor para hacer el reciclamiento económico y bueno para el ambiente.

Todas las acciones humanas crean algún impacto al ambiente, incluyendo las buenas acciones como el reciclado o reuso; el reciclado impacta al agua, aire, tierra y uso de recursos. Algunos de estos impactos son significativos, sobre todo si se tienen que fundir metales o refinar productos de petróleo.

Transportación de materia prima reciclada.- Los impactos por transportación en esta etapa son similares a los mencionados anteriormente.

La relación de lo que se transporta al fabricante de componentes, contra tratamiento/rellenos varía de producto a producto. El uso de combustible y las emisiones al aire son los impactos primarios a considerar.

Tratamiento de algunos materiales de desecho.- Durante el reciclado, se crean algunos materiales de desecho que pueden considerarse peligrosos, y durante el reuso o uso, subproductos peligrosos, que pueden ser tratados antes de su disposición. Existen numerosas alternativas de tratamiento, que pueden ser clasificadas en los siguientes tipos:

- **Concentración.**- Se obtiene por una reducción de volumen y por lo general es la menos cara, la filtración es un ejemplo de una tecnología de concentración.
- **Destoxicación.**- Se destruyen los componentes tóxicos o se reducen a una forma menos tóxica y por lo general es mas cara; la incineración, es un ejemplo de tecnología de destoxicación
- **Fijación.**- Se reduce la movilidad de la toxina: la vitrificación de un desecho en una matriz de vidrio es un ejemplo de una tecnología de fijación.

Muchas corrientes de desechos utilizan una combinación de varios tipos de tratamiento. La mayoría de las alternativas de tratamiento crean impactos o utilizan recursos, p.e., la descarga de gases de un incinerador junto con las cenizas que se producen son impactos potenciales, sin embargo, en la mayoría de los casos el tratamiento debe hacerse aún si la acción crea también impactos.

Por lo general, un tratamiento de desechos es mejor para el ambiente que un desecho sin tratar, aún si se generan varios impactos durante el proceso de tratamiento.

Transporte de algo de material de desecho.- Como es muy raro que haya un relleno cerca de la facilidad de tratamiento, se requiere su transportación y el impacto puede ser mas significativo que en otras fases de transportación, debido al hecho de distancias más grandes por el número limitado de facilidades de tratamiento y disposición de desechos peligrosos.

En adición a lo anterior, el potencial por los impactos se incrementa debido a la naturaleza del material, se deben considerar los derrames, drenajes de fugas y soplado de partículas

Disposición.- La disposición de componentes de desecho de productos, pueden crear impactos de larga duración que deben evaluarse; en cualquier tipo de facilidad de disposición, siempre hay la posibilidad que en el futuro el agua de lluvia pueda percolarse y arrastrar contaminantes al agua subterránea. La generación de gases como el metano también es un impacto en algunos rellenos.

El tipo de grado de impactos a considerar, depende del tipo de sitio de disposición en donde finalizan los desechos; los tres tipos de facilidades de disposición son los siguientes:

- Clase I.- Sitio llamado "Unidad de manejo de desechos para desechos peligrosos". Acepta solo residuos de tratamiento de desechos peligrosos; los controles especiales del sitio incluyen:
 - Pozos de monitoreo de agua subterránea
 - Sistemas de detección de fugas
 - Cubiertas
 - Camisas
 - Sistemas de recolección de lechadas
- Clase II.- Sitio llamado "Unidad de manejo de desechos para desechos designados". Acepta solo ciertos desechos sólidos peligrosos, como suelos con baja contaminación, asbestos y postes de electricidad con tratamiento preservativo; tiene solo algunos de los controles de los sitios de Clase I.
- Clase III.- Sitio llamado "Rellenos para desechos no peligrosos". Son rellenos municipales, que aceptan basura común doméstica y escombros de construcción. En muchos casos se llevan desechos peligrosos por error, ignorancia, intención criminal o falta de cuidado, produciendo daños significativos al ambiente por los pocos sistemas de control que ahí se tienen.

14. EVALUACION DEL DESEMPEÑO AMBIENTAL (EDA)

La evaluación del desempeño ambiental (EDA), es un método para medir los resultados del manejo de una organización de los aspectos ambientales de sus actividades, productos o servicios.

La EDA se basa en la aseveración de que: "lo que puede medirse, puede manejarse". Una organización puede tener muy buenas intenciones, pero si no tiene un sistema de evaluación y medición, no realizará muchas de las muy buenas intenciones. Por lo general la EDA se lleva a cabo por la organización sobre una base continua.

Básicamente la EDA es una herramienta o proceso de gestión, para ayudar a una organización a mejorar su comportamiento ambiental sobre una base actual. La evaluación y el mejoramiento real se comparan con el criterio de la meta del comportamiento ambiental.

La EDA es el proceso de revisión de los aspectos ambientales de una organización, para ver si se están logrando los objetivos, estos objetivos, se relacionan con la minimización de los impactos sobre el ambiente de la organización.

Una parte muy crítica del proceso de EDA es la selección de indicadores con significancia. Un indicador, es una herramienta para medir y expresar el impacto de varias acciones de la organización sobre el ambiente, que pueden estar relacionadas con:

- Los sistemas administrativos o gerenciales
- Los sistemas operacionales
- El estado del ambiente

El indicador es realmente el corazón de todo el proceso de la EDA; si se seleccionan con cuidado, la EDA tendrá más significado y resulta en mejoramiento ambiental positivo.

Cuando se realiza adecuadamente la EDA tiene muchos beneficios, entre los que se encuentran los siguientes:

- Mejoramiento del ambiente (el de mayor importancia)
- Comunicación de la información ambiental
- Ayuda a identificar oportunidades para la prevención de la contaminación
- Resalta oportunidades estratégicas de negocios

La EDA se enfoca a técnicas que evalúan objetivos y criterios por la gerencia de la organización. Un enfoque principal de la EDA es evaluar las cargas en el ambiente (aspectos e impactos), que están bajo el control o influencia de la organización.

No obstante que la EDA puede evaluar muchos factores, los aspectos ambientales deben ser aplicados para que la EDA sea completa. Por lo general las cargas o aspectos que se evalúan son las descargas, emisiones y uso de recursos.

El enfoque de la EDA debe también concentrarse en los controles ambientales del proceso, que incluye sistemas como los controles de emisiones, reducción en el uso de energía, limpieza, reciclado y entrenamiento o capacitación.

La EDA es apropiada para todas las organizaciones, independientemente de su localización, tamaño, tipo y complejidad, ya que todas las actividades crean algún impacto, no importa donde se localicen y la EDA ayuda a determinar si el impacto es significativo.

La EDA se aplica a los aspectos creados por la producción de la organización, por sus productos y por sus servicios y que están asociados con la operación de la organización, las facilidades y los equipos.

En términos de la EDA las palabras objetivo y beneficio están relacionadas; antes de obtener un beneficio particular, este podría ser considerado un objetivo. Después de que se obtiene el objetivo, se realiza el beneficio.

La EDA ayuda a una organización a evaluar y comprender sus impactos sobre el ambiente; este es uno de los más importantes objetivos o beneficios de la EDA. Si esto no es logrado cuando menos en parte, realmente no hay razón para hacer una EDA; la evaluación debe proveer tanto información cualitativa como cuantitativa.

La información se obtiene por la recolección y análisis de varios datos ambientales que conciernen a los aspectos de la organización; si son menores o se están reduciendo agresivamente, se puede probablemente concluir que su desempeño ambiental es al menos aceptable.

Los aspectos ambientales pueden ser muy complicados y pueden impactar ambientes locales, regionales y aún internacionales; el proceso de EDA provee herramientas y técnicas para hacer la evaluación más comprensible y significativa.

Algunas organizaciones hacen un esfuerzo importante para identificar y evaluar problemas e impactos y luego fallan porque los minimizan, p.e., normalmente las auditorías ambientales identifican problemas que necesitan ser arreglados, la mayoría son impactos al ambiente, sin embargo, las auditorías se archivan lejos y no se corrigen los problemas. Cuando se hacen las correcciones, el ambiente se mejora, ya se trate de una auditoría o una EDA.

La ISO-14031, Evaluación del Desempeño Ambiental (EDA), es una guía y por lo tanto no es un requisito para certificación, sin embargo, es una herramienta o técnica clave que las organizaciones necesitan utilizar para obtener la certificación ISO-14001.

La EDA se define como el "proceso de medir, analizar, evaluar, informar y comunicar el comportamiento ambiental de una organización contra un criterio establecido por su gerencia".

Los "indicadores", son la forma recomendada para que una organización estudie y comunique su desempeño ambiental; los indicadores deben estar basados en aspectos ambientales significativos asociados con la organización

Las subdivisiones mayores sugeridas para la EDA son las siguientes:

- Areas gerenciales
- Areas operacionales
- Estado del ambiente

Los principales aspectos que se evalúan en una EDA, son principalmente las siguientes:

- Reducción de descargas/emisiones
- Cumplimiento con la legislación
- Minimización de desechos y ahorro de costos
- Aceptación pública
- Aceptación de agencias gubernamentales
- Reducción de desechos sólidos peligrosos; reuso, reciclado y recompra de material reciclado.

En la Fig. VII-8, se muestra el flujograma del proceso de evaluación del desempeño ambiental (EDA).

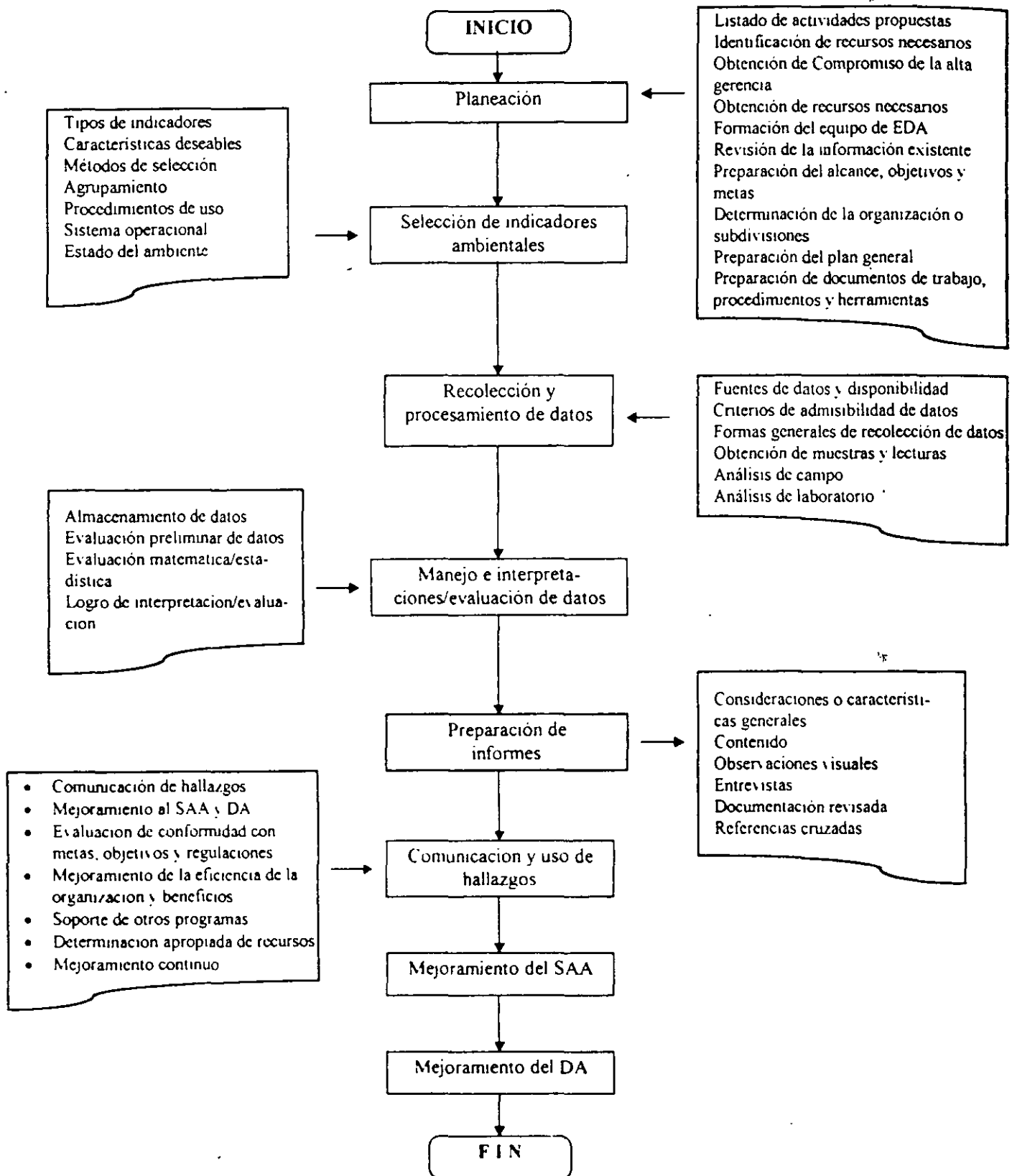


FIG. VII-8.- FLUJOGRAMA DE LA EVALUACION DEL DESEMPEÑO AMBIENTAL (EDA)

VIII. PREVENCIÓN Y ATENUACIÓN DE ACCIDENTES INDUSTRIALES MAYORES (AIM)

1. CAUSAS DE SITUACIONES DE RIESGO Y PELIGRO (INDUSTRIALES)

Las causas de situaciones de riesgos o peligros, se determinan inicialmente definiendo e identificando claramente las instalaciones de riesgo mayor, partiendo de una lista de sustancias peligrosas que manejan, para cada una de las cuales se fija una cantidad límite, de tal forma que las instalaciones industriales comprendidas en la definición, se reconozcan que pueden causar un accidente muy grave, capaz de afectar a las personas que se encuentren en el lugar de trabajo y fuera del mismo, así como al ambiente.

La lista y las cantidades máximas tolerables de sustancias peligrosas o categorías de sustancias peligrosas, se establecen según las prioridades de cada país, que deben incluir las siguientes:

a.- Productos químicos muy tóxicos como:

- Isocianato de metilo
- Fosgeno

b.- Productos químicos tóxicos como:

- Acrilonitrilo
- Amoniaco
- Cloro
- Bióxido de azufre
- Sulfuro de hidrógeno
- Cianuro de hidrógeno
- Bisulfato de carbono
- Fluoruro de hidrógeno
- Hidrocloruro
- Trióxido de azufre

c.- Líquidos y gases inflamables.

d.- Sustancias explosivas, como

- Nitrato de amoniaco
- Nitroglicerina
- Trinitrotolueno

En México, los listados completos de actividades altamente riesgosas se han publicado dos veces en el diario oficial de la federación: el primer listado el 28 de marzo de 1990 y el segundo listado el 4 de mayo de 1992. El primero también se publicó en la gaceta ecológica número 9 y el primer y segundo listado en la gaceta ecológica número 36 de Septiembre de 1995.

Las instalaciones de riesgo mayor o altamente riesgosas, según el tipo y la cantidad de sustancias químicas existentes, pueden ser las siguientes:

- Fabricas químicas y petroquímicas
- Refinerías de petróleo
- Lugares en que se almacena gas licuado de petróleo
- Grandes depósitos de gas y de líquidos inflamables
- Depósitos de sustancias químicas
- Fabricantes de fertilizantes.
- Instalaciones de tratamiento de agua que utilizan cloro

Cuando se identifican las instalaciones de riesgo mayor por las causas de situaciones de riesgos o peligros industriales, se requiere realizar las actividades necesarias para establecer un sistema de control de riesgos de accidentes mayores, por parte de las autoridades competentes; éstas actividades requieren la atención de:

- Las autoridades competentes, como organismos gubernamentales de seguridad y servicios de inspección del estado.
- Las autoridades locales.
- La dirección de la empresa.
- Los trabajadores y sus representantes
- La policía.
- Los servicios de lucha contra incendios
- Las autoridades de sanidad.
- Los proveedores de tecnologías que entrañan riesgos mayores
- Otras organizaciones locales, con arreglo a disposiciones específicas.

Las instalaciones de riesgo mayor, por causa de la naturaleza y cantidad de sustancias peligrosas utilizadas, pueden ocasionar un accidente mayor dentro de una de las siguientes categorías generales.

- El escape de sustancias tóxicas, en toneladas que sean mortales o nocivas, incluso a distancias considerables del punto de escape.
- El escape de sustancias sumamente tóxicas, en kilogramos, que sean mortales o nocivas, incluso a distancias considerables del punto de escape.

- El escape de líquidos o gases inflamables, en toneladas, que puedan arder produciendo altos niveles de radiaciones térmicas o formar una nube de vapor explosivo.
- La explosión de materiales inestables o reactivos.

En las instalaciones de riesgo mayor, además de las precauciones normales relativas a la seguridad y salud en el trabajo, se debe dedicar atención especial para establecer un sistema de prevención de accidentes mayores.

En el análisis por la dirección de la fábrica de los posibles accidentes, se debe considerar y señalar lo siguiente:

- Los más graves que cabe imaginar,
- Los sucesos que pueden desembocar en los mismos;
- El tiempo que pueden tardar en producirse los accidentes menos graves, que pueden desembocar en los accidentes más graves;
- La magnitud de los accidentes menos graves si se detiene su desarrollo;
- La probabilidad relativa de los accidentes;
- Las consecuencias de cada uno de ellos

Se debe obtener información sobre las propiedades nocivas de las sustancias peligrosas, en caso necesario de los propios proveedores de las mismas. Además deben consultarse, cuando proceda, las publicaciones del Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas del PUMA, la OIT y la OMS, para obtener consejos prácticos sobre, por ejemplo, el almacenamiento, la utilización y la eliminación de sustancias químicas en condiciones de seguridad. En la identificación de las instalaciones de riesgo mayor, las autoridades competentes deben.

- Formular una definición de instalación de riesgo mayor. Esta definición basada en la lista de sustancias peligrosas, con la indicación de sus cantidades máximas tolerables, debe ser clara e inequívoca.
- Confirmar esa definición como parte integrante de la legislación sobre los riesgos de accidente mayor, con objeto de identificar las instalaciones de riesgo mayor existentes y las que estén en proyecto.
- Tomar en consideración la posibilidad de identificar instalaciones de riesgo mayor ya existentes, con medios no reglamentarios, valiéndose de criterios empíricos, al principio de la labor de identificación.

2. ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PREVENCIÓN DE (AIM)

En la sección anterior se han descrito los diversos accidentes principales que pueden producirse y que han inducido al establecimiento del concepto de un "riesgo de accidente mayor", como una actividad industrial que requiere otras medidas de control de las aplicadas en las actividades industriales normales, para proteger a los trabajadores y a las personas que viven y trabajan fuera de la fábrica de que se trate. Esas medidas forman un conjunto integrado -un sistema de control contra los riesgos de accidentes mayores- que tienen por objeto no sólo prevenir los accidentes, sino también, y ello es sumamente importante, mitigar las consecuencias de cualquier accidente que pueda producirse.

Debido a la complejidad de las actividades industriales de que se trata, el control de riesgos de accidentes mayores tiene que basarse sobre un método sistemático.

Los componentes esenciales de este sistema son los siguientes: (2.1 a 2.8)

2.1 Determinación de las instalaciones sujetas a riesgos de accidentes mayores.

Es preciso determinar las instalaciones que, según la definición, pueden corresponder a los criterios establecidos para la clasificación de las instalaciones que implican riesgos mayores. Las autoridades y la dirección de las empresas, deben instituir la determinación de las instalaciones que implican un alto riesgo sobre una base prioritaria.

Esa determinación se puede realizar de acuerdo con las orientaciones indicadas en la sección anterior.

2.2 Información sobre las instalaciones La dirección de todas las instalaciones que entrañan riesgos mayores, deben notificar a las autoridades competentes los detalles de sus actividades. La dirección de la fábrica debe preparar un informe en materia de seguridad, para las instalaciones de riesgo mayor que estén comprendidas en la definición antes citada. Se debe disponer de:

- Información técnica sobre el diseño y el funcionamiento de la instalación;
- Detalles sobre el funcionamiento de su sistema de seguridad,
- Información sobre las situaciones de riesgo que entrañe la instalación, detallándolas sistemáticamente y documentándolas por medio de estudios de seguridad;
- Información sobre las precauciones en materia de seguridad que se tomen, para impedir accidentes mayores y las disposiciones para casos de emergencia, que deben apuntar a reducir los efectos de tales accidentes.

La dirección de la fábrica debe poner esa información, a la disposición de las partes que intervienen en los sistemas de prevención de riesgos de accidente mayor, entre ellos los trabajadores, sus representantes, las autoridades competentes y las autoridades locales, cuando proceda. Dichas partes, deben respetar el carácter confidencial de la información obtenida en el desempeño de sus funciones, en consonancia con la legislación y la práctica nacional. Para la dirección de la fábrica, la información debe:

- Desembocar en un nivel adecuado de seguridad, que se mantenga o actualice en función de los nuevos datos de que se disponga;
- Servir para informar y capacitar a los trabajadores;
- Utilizarse en la solicitud de autorización o licencia, de ser ésta necesaria,
- Servir para la preparación de un plan en casos de emergencia en la propia instalación y fuera de ella (cuando sea pertinente).

Esa información debe hacer ver a los trabajadores de todo tipo, la necesidad de tomar precauciones adecuadas en materia de seguridad en el lugar de trabajo. A las autoridades competentes, esa información debe servir para:

- Darles una idea de la instalación y de sus riesgos posibles;
- Proceder a una evaluación de los mismos;
- Determinar las condiciones para la concesión de licencias o autorizaciones, cuando proceda;
- Fijar un orden de prioridad para la inspección de las instalaciones de riesgo mayor en los planes nacional o regional;
- Preparar planes para casos de emergencia fuera de la instalación (cuando proceda).

La información se debe presentar de un modo sistemático, con objeto de que queden claramente precisadas las partes de la instalación que tienen importancia decisiva para su seguridad, si fuera posible utilizando sistemas de clasificación rápida

La información debe detallar las actividades que se llevan a cabo en la instalación. La dirección de la fábrica debe velar por que esa información se ponga al día, periódicamente y cuando haya cambios importantes.

La población cercana debe disponer de la información pertinente en la forma más adecuada.

2.3 Evaluación de las situaciones de riesgo La dirección de la fábrica y, en función de las condiciones locales, las autoridades competentes deben proceder a una evaluación de las instalaciones de riesgo mayor.

En esa evaluación, se deben definir los sucesos imprevisibles que pueden provocar un incendio o una explosión o un escape de sustancias tóxicas. Esto se debe hacer de un modo sistemático, por ejemplo, mediante un estudio de las situaciones de riesgo y funcionamiento anormal o con listas de verificación, y referirse tanto a las operaciones normales como al arranque de la instalación.

Se deben evaluar, mediante datos y técnicas apropiados, las consecuencias de una posible explosión, incendio o escape tóxico, precisando lo siguiente:

- estimación de las ondas de choque, la sobrepresión y los materiales proyectados en los casos de explosión;
- estimación de las radiaciones térmicas en los casos de incendio;
- estimación de las concentraciones y de las dosis tóxicas en los casos de escape tóxico.

Se debe dedicar particular atención a la posibilidad de un efecto <<dominó>> entre una instalación y otra. En esa evaluación, se debe estudiar la idoneidad de las medidas de seguridad adoptadas, con respecto a los riesgos que se han identificado, con objeto de cerciorarse de que dichas medidas son suficientes.

En la evaluación de las situaciones de riesgo grave, se debe tener en cuenta la probabilidad de que se produzca un accidente mayor, aunque no necesariamente en forma de un análisis de riesgos plenamente cuantificado.

2.4 Prevención de las causas de accidentes industriales mayores. La dirección de la fábrica debe prevenir las situaciones de riesgo mayor, por ejemplo mediante adecuadas medidas técnicas y de gestión, que incluyen:

- Buen diseño, construcción y montaje de la instalación, incluida la utilización de componentes de buena calidad.
- Mantenimiento periódico de la instalación.
- Buen funcionamiento de la instalación
- Buena gestión del sistema de seguridad en el lugar del trabajo.
- Inspección periódica de la instalación, con actividades de reparación y sustitución de componentes cuando sea necesario.

La dirección de la fábrica debe tomar en consideración las causas posibles de accidentes mayores, a saber:

- Fallas o averías de los componentes.
- Funcionamiento anormal.
- Errores humanos y de organización.
- Accidentes que se produzcan por causa de actividades cercanas o en instalaciones vecinas.
- Sucesos y catástrofes naturales y actos malintencionados.

La dirección de la fábrica debe evaluar periódicamente dichas causas, teniendo en cuenta toda modificación del diseño y del funcionamiento de la fábrica. Además, esta evaluación debe comprender cualquier información con la que se cuente, como consecuencia de los avances tecnológicos y de los accidentes ocurridos en el mundo

La dirección de la fábrica, debe disponer la instalación y mantenimiento de dispositivos de seguridad e instrumental de control de las operaciones, en un nivel tal, que se tenga plenamente en cuenta su importancia para la seguridad de toda instalación de riesgo mayor

2.5 Funcionamiento en las debidas condiciones de seguridad de las instalaciones de riesgo mayor La dirección de la fabrica debe:

- Vigilar que el funcionamiento y mantenimiento de la instalación sea en las debidas condiciones de seguridad.
- Cerciorarse que los trabajadores que se ocupan de la instalación han sido adecuadamente capacitados para sus tareas.
- Investigar los accidentes que ocurran o hayan estado a punto de ocurrir.

2.6 Planeación para casos de emergencia. La dirección de la fabrica debe:

- Junto con las autoridades competentes considerar la planeación para casos de emergencia, como un elemento esencial del sistema de prevención de riesgos de accidente mayor
- Realizar la planeación para casos de emergencia en la propia instalación Según cuáles sean las características locales, conjuntamente con las autoridades locales, encargarse de la planeación para los casos de emergencia fuera de la instalación

Los objetivos de la planeación para casos de emergencia, deben ser los siguientes.

- Localizar toda situación de emergencia que pueda surgir y, si fuera posible, reducirla
- Reducir al mínimo los efectos nocivos de una situación de emergencia para las personas, los bienes y el medio ambiente.

Se deben establecer planes para cada uno de los posibles casos de emergencia en la instalación y fuera de ella, dando detalles sobre los procedimientos técnicos y orgánicos más idóneos, para mitigar los efectos y los daños

- Para las personas, los bienes y el medio ambiente.
- Dentro y fuera de la instalación

El plan para casos de emergencia debe ser preciso y bien definido y estar siempre listo, para poder aplicarlo rápida y eficazmente cuando se produzca un accidente mayor. Procede coordinar los planes en la instalación y fuera de ella, para conseguir la eficacia máxima.

En las zonas industriales en las cuales se disponga de mano de obra y material limitados para casos de emergencia, la dirección de la fábrica debe intentar tomar medidas con miras a una ayuda mutua entre instalaciones industriales vecinas en los casos de accidente mayor.

2.7 Ubicación y urbanización.

Las autoridades competentes deben intentar, en la medida de lo posible, cerciorarse de que haya la distancia apropiada entre las instalaciones de riesgo mayor y:

- Aeropuertos, depósitos de gases o líquidos, etc.
- Instalaciones de riesgo mayor cercanas.
- Viviendas y otros núcleos de población cercanos

2.8 Inspección de las instalaciones de riesgo mayor.

Se debe proceder periódicamente a una inspección de las instalaciones de riesgo mayor, de modo que funcionen con arreglo a las normas de seguridad estipuladas. Esa inspección debe ser realizada por un equipo de seguridad que incluya a los trabajadores y a sus representantes, y por inspectores dependientes de las autoridades locales. Ambos tipos de inspección pueden realizarse por otros medios, cuando corresponda.

El personal de seguridad de la instalación incluido en el equipo de seguridad, debe ser independiente de la dirección de producción y tener acceso a la dirección de la fábrica.

Los inspectores dependientes de las autoridades competentes, deben tener derecho legal al libre acceso a toda la información existente en la instalación, que necesiten para el ejercicio de sus funciones y a consultar a los representantes de los trabajadores.

3. SISTEMA DE PREVENCIÓN DE AIM

3.1. Requisitos previos. Los requisitos previos para el funcionamiento de un sistema de prevención de accidentes mayores, son los siguientes:

- Personal calificado de la propia industria y de las autoridades, incluidos expertos exteriores en caso necesario.
- Material y equipo adecuados.
- Fuentes de información.

3.2. Responsabilidades. Las autoridades competentes deben definir objetivos de seguridad apropiados, así como un sistema de prevención de riesgos de accidentes mayores para su aplicación.

Aunque la prevención de los peligros graves ha de incumbir fundamentalmente a la dirección de la empresa que tenga una instalación de riesgo mayor, las autoridades competentes, en consulta con todas las partes interesadas, deben establecer el sistema de prevención de los accidentes mayores. Ese sistema debe entrañar:

- a) El establecimiento de una infraestructura;
- b) La identificación e inventario de las instalaciones de riesgo mayor,
- c) La obtención y evaluación de los informes de seguridad;
- d) La planeación para casos de emergencia y la información al público;
- e) Un plan de ubicación y urbanización;
- f) La inspección de las instalaciones
- g) La notificación de los accidentes mayores;
- h) La investigación de los accidentes mayores y sus consecuencias en corto y en largo plazo.

3.3 Funciones de la dirección de la fábrica. La dirección de una fábrica que tenga una instalación de riesgo mayor debe

- Establecer una norma de seguridad muy alta
- Organizar y llevar a la práctica la vertiente *in situ*, del sistema de prevención de riesgo de accidente mayor
- Contribuir a la elaboración y aplicación de un plan de emergencia fuera de la fábrica.

- Proceder a un análisis de las situaciones de riesgo que se deriven de una instalación de riesgo mayor. Este análisis debe bastar para:
 - Analizar el sistema de seguridad, con objeto de descubrir posibles fallas del mismo;
 - Determinar el riesgo residual con el sistema de seguridad existente;
 - Adoptar medidas óptimas para la protección técnica y organizativa, en el caso de un funcionamiento anormal de las instalaciones industriales.

Se debe aplicar un método adecuado para el análisis de las situaciones de riesgo, a saber:

- Análisis preliminar de riesgo (APR)
- Análisis What if
- Análisis HAZOP
- Análisis de modos de falla y efectos (AMFE)
- Análisis de la lista de verificación
- Arbol de fallas

Se debe escoger el método, que debe tener en cuenta tanto la protección de los trabajadores, como la de la población y el ambiente, en función de las características y la complejidad de la instalación de riesgo mayor

3.4. Obligaciones y derechos de los trabajadores. Los trabajadores deben:

- Llevar a cabo su trabajo en las debidas condiciones de seguridad, y no poner en peligro su capacidad de hacerlo ni tampoco la de otras personas.
- Junto con sus representantes cooperar con la dirección de la fábrica, para fomentar el interés por la seguridad y la intercomunicación sobre los asuntos correspondientes, así como en la investigación de los accidentes mayores que hayan ocurrido o estado a punto de ocurrir.
- Estar obligados a comunicar sin demora a la dirección de la fábrica toda situación que, a su juicio, pudiese representar una desviación de las condiciones de funcionamiento normales, especialmente una situación que pudiese dar lugar a un accidente mayor.
- Dentro del alcance de su trabajo, interrumpir de la forma más segura posible la actividad que estén desarrollando, si tienen razones válidas para creer que existe un riesgo serio o inminente para los trabajadores, la población o el ambiente

- Asimismo advertir lo antes posible a la dirección de la fábrica o hacer funcionar la alarma, según corresponda, en caso de un riesgo serio o inminente.
- No encontrarse en situación de desventaja, por haber tomado las medidas mencionadas en el párrafo anterior.

Los trabajadores y sus representantes deben tener derecho a recibir una información completa, en relación con los riesgos y situaciones de peligro en su lugar de trabajo. En particular, se les debe informar sobre:

- La denominación química y la composición de las sustancias peligrosas.
- Las propiedades nocivas de esas sustancias
- Los riesgos y peligros de las instalaciones, así como sobre las precauciones que deben tomarse
- Datos completos sobre el plan de emergencia en los casos de accidente mayor en la instalación
- Detalles completos sobre sus obligaciones en los casos de emergencia cuando se produzca un accidente mayor.

Se debe consultar a los trabajadores y a sus representantes, antes de tomar decisiones relacionadas con las situaciones de accidentes mayores, en particular sobre la evaluación de riesgos y situaciones de peligro, la evaluación de las fallas y averías y el examen de toda condición de funcionamiento anormal grave.

3.5. Responsabilidades del proveedor internacional de una tecnología que entraña riesgos mayores.

El proveedor de tecnología y maquinaria, debe indicar a las autoridades competentes y a la dirección de la fábrica del país que reciba esa tecnología o maquinaria, si a la misma aplica una clasificación como de riesgo mayor en el país del proveedor o, de saberse, en cualquier otro país.

Cuando una tecnología o maquinaria pueda crear una situación de riesgo mayor, el proveedor de la misma debe facilitar, además, información sobre los siguientes aspectos

- a) Identificación de las sustancias peligrosas, sus propiedades, las cantidades y el modo en que se almacenan, elaboran o producen.
- b) Características completas de la tecnología o maquinaria para indicar:
 - El modo en que pueden producirse fallas de control y contención de las sustancias peligrosas
 - La forma en que pueden ocurrir accidentes.
 - Las consecuencias de los mismos

- La vulnerabilidad de la instalación a fenómenos externos anormales, como bajadas de tensión o interrupción del suministro de electricidad, inundaciones, terremotos, condiciones meteorológicas insólitas o sabotajes y sus efectos.
 - Las medidas que cabe tomar para contrarrestar esos posibles accidentes.
- c) El modo de organizar los sistemas para impedir que ocurran accidentes, y más concretamente mediante:
- Normas de diseño
 - Establecimiento de dispositivos de protección
 - Requisitos de mantenimiento
 - Inspección y pruebas periódicas
 - Supervisión de toda modificación de la instalación
 - Procedimientos de funcionamiento
 - Capacitación necesaria
 - Medidas de protección para prevenir todo funcionamiento anormal
- d) Una planeación de emergencia, basada sobre las consecuencias de posibles accidentes evaluados en el punto b) anterior, a saber:
- Procedimiento para dar la alarma
 - Precauciones y responsabilidad de los trabajadores en los casos de emergencia
 - Precauciones y procedimientos necesarios en materia de lucha contra incendios
 - Procedimientos para limitar un accidente y atenuar sus consecuencias
 - Servicios, procedimientos y suministros médicos de emergencia
 - Procedimientos de paro de la instalación
 - Procedimientos que deben seguirse para volver a entrar en la instalación después de un accidente mayor
- e) Historial en materia de seguridad y accidentes en otras instalaciones similares de otros lugares, en caso de que se cuente con uno.

En virtud de sus obligaciones contractuales, el proveedor debe suministrar información al día sobre la seguridad en cuanto se disponga de ella y asistencia, según la necesidad

3.6. Utilización de servicios consultivos.

La dirección de la fábrica y las autoridades competentes deben recurrir a servicios consultivos, si su competencia técnica no les permite atender todas las tareas que han de llevarse a cabo en un sistema de prevención de accidente mayor. Por otra parte, los servicios consultivos deben seguir contando con la competencia técnica de la administración local.

Los servicios consultivos pueden proporcionar diferentes especialidades, a saber:

- Evaluación de las situaciones de riesgo
- Seguridad en el diseño y el funcionamiento
- Análisis de los posibles accidentes
- Formulación de planes de emergencia en la instalación y en sus cercanías
- Preparación de informes
- Capacitación sobre la prevención de accidentes mayores
- Prestación de ayuda para los casos de emergencia que impliquen riesgos graves
- Aseguramiento de la calidad

Los consultores deben tener gran experiencia en la tecnología pertinente de la instalación de riesgo mayor, con objeto de poder prestar asesoramiento independiente a las organizaciones que soliciten su ayuda

4. PREVENCIÓN DE LAS CAUSAS DE AIM

4.1. Disposiciones generales. La dirección de la fábrica tiene la responsabilidad principal, en cuanto al control de las causas de accidentes industriales mayores.

El análisis de las situaciones de riesgo, debe desembocar en la determinación de las diversas fallas posibles de la maquinaria y de sus programas de funcionamiento, así como de los errores humanos, en la instalación y en sus cercanías, que debe prevenir la dirección de la fábrica.

Al determinar las fallas o averías que puedan tener importancia para una instalación, habrá que tomar en consideración las siguientes causas posibles:

- Fallas o averías de componentes
- Condiciones anormales de funcionamiento
- Errores humanos y de organización
- Interferencias accidentales del exterior
- Fuerzas naturales
- Actos malintencionados y sabotajes

4.2. Averías y fallas de componentes. Como requisito indispensable para un funcionamiento en las debidas condiciones de seguridad, los componentes deben resistir todas las circunstancias de funcionamiento especificadas, a fin de contener cualquier sustancia peligrosa que se utilice.

En ese análisis habrá que examinar, por ejemplo, las siguientes causas de fallas y averías:

- a) Diseño inapropiado en relación con la presión interna, las fuerzas externas, la corrosión, la electricidad estática y la temperatura.
- b) Deterioro mecánico de componentes tales como recipientes y tuberías, debido a la corrosión o a choques externos
- c) Mal funcionamiento de componentes tales como bombas, compresores, ventiladores y mezcladores.
- d) Funcionamiento defectuoso de sistemas y dispositivos de control (detectores de presión y temperatura, reguladores de nivel, medidores de flujo, unidades de control, computadoras de uso industrial).
- e) Funcionamiento defectuoso de sistemas y dispositivos de seguridad (válvulas de seguridad, diafragmas protectores, sistemas para reducir la presión, sistemas de neutralización, torres para la contención de gases residuales).

4.3. Condiciones de funcionamiento anormales. Se debe efectuar un análisis a fondo de los procedimientos de funcionamiento (manuales y automáticos), para determinar las consecuencias de todo funcionamiento anormal. Este examen debe tomar en consideración, por ejemplo, las siguientes fallas o averías:

- a) Falla en la vigilancia de los parámetros críticos de las operaciones (presión, temperatura, flujo, cantidad, proporciones de mezcla) y en el tratamiento automático de esos parámetros en sistemas de control.
- b) Fallas en la alimentación manual de sustancias químicas.
- c) Fallas en elementos como los siguientes:
 - i. Insuficiencia de líquido enfriador para reacciones exotérmicas.
 - ii. Insuficiencia de vapor o agente clarificador.
 - iii. Falta de electricidad.
 - iv. Falta de gas inerte.
 - v. Falta de aire comprimido (aire para instrumentos).
- d) Fallas o averías en los procedimientos de arranque o paro, que puedan engendrar condiciones de riesgo en la instalación.
- e) Formación de subproductos, residuos, agua o impurezas que puedan causar reacciones secundarias (por ejemplo de polimerización).

Una vez localizadas las fallas y sus posibles consecuencias principales, se deben tomar medidas para contrarrestarlas, por ejemplo, mejorando el control de las operaciones, los procedimientos de funcionamiento, la frecuencia de las inspecciones y los programas de verificación y prueba.

4.4. Errores humanos y de organización. Como los factores humanos tienen una importancia fundamental en la dirección de una instalación de riesgo mayor, tanto en las muy automatizadas como en las que requieren todavía muchas operaciones manuales, la dirección de la fábrica debe examinar detalladamente, en cooperación con los trabajadores y sus representantes, los errores humanos y de organización y sus consecuencias para la seguridad.

En ese examen, se deben estudiar errores como los siguientes:

- a) Error de operador (por ejemplo, cuando se pulsa un botón que no es el indicado o se emplea una válvula que no es la adecuada)
- b) Desconexión de los sistemas de seguridad por ser muy frecuentes las falsas alarmas
- c) Confusión de sustancias peligrosas.
- d) Error en la comunicación
- e) Trabajo inadecuado de reparación o mantenimiento
- f) Procedimiento no autorizado, por ejemplo, trabajo en caliente, modificaciones.

En ese examen, se deben tomar también en consideración las causas de los errores humanos, que pueden consistir en lo siguiente:

- Los trabajadores desconocen esos peligros.
- Falta o inadecuación de procedimientos de trabajo.
- Los trabajadores han recibido una información inadecuada para las actividades que tienen que realizar.
- Condiciones de trabajo impropias.
- Persecución de fines contrapuestos en materia de seguridad y de producción.
- Exceso de horas extraordinarias o de trabajo por turnos.
- Concepción inadecuada o dispositivos inadecuados de un trabajo, como por ejemplo el hecho de que haya una sola persona en ciertos puntos.
- Contradicciones entre el trabajo de producción y el de mantenimiento.
- Consumo de drogas o de alcohol mientras se trabaja.

Para reducir los errores humanos y de organización, se debe proporcionar a los trabajadores una información periódica, y darles instrucciones de funcionamiento claras y precisas.

4.5. Interferencias accidentales externas. Para lograr un funcionamiento en las debidas condiciones de seguridad en las instalaciones de riesgo mayor, se deben examinar cuidadosamente las posibles interferencias exteriores accidentales en relación con.

- a) El transporte por carretera, ferrocarril y barco (especialmente de sustancias peligrosas).
- b) Las estaciones de carga de sustancias peligrosas.
- c) El tráfico aéreo.
- d) Las instalaciones cercanas, especialmente aquellas en donde se manejen sustancias inflamables o explosivas.
- e) Impactos mecánicos como los causados por la caída de una grúa

Se deben tener en cuenta esas posibles interferencias exteriores al concebir y situar partes sensibles de la instalación, como la sala de control y los grandes recipientes de almacenamiento.

4.6. Fuerzas naturales. En función de las condiciones locales, se deben tomar en consideración las siguientes fuerzas naturales al diseñar la instalación:

- a) Viento.
- b) Inundaciones.
- c) Terremotos
- d) Hundimiento del terreno como consecuencia de la realización de actividades mineras.
- e) Heladas extremas.
- f) Insolación extrema.
- g) Rayos

Si existen tales riesgos en el entorno natural de la instalación, habrá que tomar precauciones adecuadas contra ellos.

4.7. Actos malintencionados y de sabotaje. Toda instalación de riesgo mayor puede ser objeto de actos malintencionados o de sabotaje. Al concebir la instalación, se debe tener presente la necesidad de tomar medidas de protección contra tales actos, incluidas las de vigilancia del emplazamiento.

4.8. Funcionamiento en condiciones de seguridad.

4.8.1 Disposiciones generales El funcionamiento de las instalaciones de riesgo mayor en las debidas condiciones de seguridad, debe ser una de las obligaciones de las dirección de la fábrica, que debe:

- Cerciorarse que toda instalación de riesgo mayor funcione dentro de los límites impuestos por sus planos y diseño
- Tener en cuenta todas las instalaciones de peligro determinadas en el análisis, conjuntamente con las medidas de control técnico y de organización.

Las medidas que se adopten para prevenir los peligros deben corresponder, cuando proceda, a los siguientes aspectos:

- Diseño de componentes;
- Fabricación y montaje de componentes,
- Montaje de la instalación;
- Control del proceso,
- Sistemas de seguridad;
- Vigilancia de las operaciones;
- Gestión de los cambios,
- Inspección, mantenimiento y reparaciones;
- Capacitación de los trabajadores;
- Supervisión,
- Control de las actividades subcontratadas.

5. PLANEACION PARA LOS CASOS DE EMERGENCIA

5.1. Disposiciones generales. Las autoridades competentes, las autoridades locales y la dirección de la fábrica, deben considerar la planeación para los casos de emergencia, como un elemento esencial en todo sistema de prevención de los riesgos de accidente mayor.

Los planes de emergencia para las instalaciones de riesgo mayor deben referirse al modo de actuar en tales casos de emergencia, tanto en la fábrica como fuera de ella.

La dirección de la fábrica debe cerciorarse de que se cumplen las normas necesarias, de acuerdo con lo establecido en la legislación sobre seguridad. Asimismo, debe tener siempre presente que la planeación de emergencia no elimina la necesidad de mantener normas adecuadas en la instalación

Al hacer planes para los casos de emergencia, las autoridades competentes y la dirección de la fábrica, deben tener en cuenta el manual del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) APELL : *Concientización y preparación para emergencias a nivel local: UN proceso para responder a los accidentes tecnológicos*, concebido con la finalidad de ayudar a los responsables y a los técnicos de riesgo mayor y planear las situaciones de emergencias locales.

5.2. Objetivos. Los objetivos de planeación para los casos de emergencia deben ser los siguientes:

- a) Localizar los casos de emergencia que puedan surgir y, si fuera posible, impedir que se produzcan.
- b) Reducir al mínimo los efectos nocivos de los mismos para las personas, los bienes y el ambiente

5.3. Determinación y análisis de las situaciones de riesgo. En la fase inicial de planeación o para los casos de emergencia, tanto en la fábrica como fuera de ella, la dirección de la misma debe determinar y evaluar sistemáticamente los accidentes que pueden producirse en sus instalaciones y provocar una situación de emergencia.

Para planeación de los casos de emergencia, tanto en la fábrica como fuera de ella, este análisis debe basarse en los accidentes que tienen mayor probabilidad de producirse, pero deben también considerarse otros hechos menos notables que pueden tener graves consecuencias

5.4. Planeación para los casos de emergencia en la propia fábrica.

5.4.1. Formulación del plan. Toda instalación de riesgo mayor debe tener un plan para los casos de emergencia en su propio recinto.

Ese plan debe ser formulado por la dirección de la fábrica y estar relacionado con una estimación de las consecuencias potenciales de los accidentes mayores.

En el caso de instalaciones muy sencillas, el plan de emergencia puede consistir simplemente en poner a los trabajadores en situación de alerta y en requerir la ayuda de servicios de emergencia exteriores.

Tratándose de instalaciones complejas, el plan debe tener mucha mayor amplitud, tomando en consideración todos los riesgos mayores y sus posibles interacciones, con inclusión de los siguientes elementos.

- a) Evaluación de la importancia y la índole de los accidentes potenciales y de la probabilidad relativa de que ocurran.
- b) Formulación del plan y mantenimiento de un enlace con las autoridades, entre ellas los servicios de emergencia
- c) Procedimientos para dar la alarma y para comunicarse dentro y fuera de la instalación
- d) Nombramiento, en particular de un supervisor de accidentes en la instalación y del supervisor principal de la fábrica, especificando sus deberes y encomiendas.
- e) Ubicación y organización del centro de control, actuación de los trabajadores en la instalación durante la situación de emergencia, incluidos los procedimientos de evacuación.
- f) Actuación de los trabajadores y otras personas fuera de la instalación, durante la situación de urgencia

En el plan se debe indicar el modo en que los trabajadores designados en el lugar del accidente pueden solicitar instrucciones complementarias, tanto fuera como dentro de la instalación, en el momento oportuno. En particular, procede precisar en el plan las disposiciones pertinentes, para intentar garantizar la seguridad de la parte de la instalación afectada, por ejemplo, parando el funcionamiento

En el plan se debe detallar el orden completo, en el que se debe llamar al personal esencial de otras partes de la instalación o del exterior

5.5. Planeación para los casos de emergencia fuera de la instalación.

5.5.1. Disposiciones generales. En función de las disposiciones locales, las autoridades locales y la dirección de la fábrica deben asumir la responsabilidad de un plan, para los casos de emergencia fuera de la instalación.

Ese plan debe basarse en los accidentes especificados por la dirección de la fábrica, que puedan afectar a la población y al ambiente fuera de la instalación.

Por consiguiente, el plan debe derivarse, lógicamente, de la evaluación que sirvió de fundamento en la formulación de un plan de emergencia para la propia instalación.

Es muy importante dar al plan la flexibilidad suficiente, para poder adaptarlo a situaciones de emergencia que no estén específicamente previstas en él.

6. PROGRAMA DE PREVENCIÓN DE ACCIDENTES, PPA.

Las grandes catástrofes industriales que han ocurrido con pérdidas de vidas humanas y graves problemas industriales, los rápidos avances tecnológicos y el riesgo potencial de que ocurran accidentes mayores, han impulsado la creación de grupos en el mundo dedicados a la solución de estos problemas.

En México, en 1989 se creó el "Comité de Análisis y Aprobación de los Programas para la Prevención de Accidentes," COAAPPA, para disminuir y enfrentar las contingencias derivadas de las actividades consideradas altamente riesgosas. En el COAAPPA participan:

- La Secretaría de Energía (SE)
- La Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI)
- La Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS)
- La Secretaría de Salud (SSA)
- La Secretaría de Gobernación (SEGOB) Dirección General de Protección Civil y Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED.
- Instituto Nacional de Ecología (INE)
- La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA)
- Departamento del Distrito Federal (DDF)

La determinación del riesgo define el tipo de programa que se requiere elaborar, en la siguiente forma:

- Riesgo Alto: Programa de Prevención de Accidentes, PPA.
- Riesgo Medio: Programa Interno de Protección Civil.

La COAAPPA emitió una "Guía para la elaboración de los Programas para Prevención de Accidentes", que es un documento de trabajo para el proponente. En esta guía, se define al Programa para la Prevención de Accidentes, PPA, de la siguiente forma:

"Un PPA es el programa formado para los planes, procedimientos, organización, recursos y acciones, para proteger a la población y sus bienes, así como al ambiente y sus ecosistemas, de los accidentes que pudieran ser ocasionados en la realización de las actividades altamente riesgosas (AAR), según el Capítulo IV artículo 147, de la LGEEPA".

El INE requiere a las empresas que realizan AAR, la presentación de un PPA, el cual es analizado y evaluado en el seno del COAAPPA.

Los PPA ingresan al INE vía el Procedimiento de Impacto y Riesgo Ambiental para nuevos proyectos, mientras que los PPA de las empresas ya instaladas lo hacen a través del Programa Nacional de Prevención de Accidentes de Alto Riesgo Ambiental

Los PPA se requieren en los dictámenes en materia de Impacto y Riesgo Ambiental, emitidos por la Dirección General de Normatividad Ambiental, DGNA, del INE.

El estudio de riesgo siempre se presenta antes que el PPA, sin embargo, la presentación de un estudio de riesgo en cualquier modalidad, no implica el requerimiento de un PPA.

La Guía para la elaboración de los Programas para la Prevención de Accidentes PPA, está constituida por dos partes con el siguiente contenido.

GUIA PARA LA ELABORACION DE LOS PROGRAMAS PARA LA PREVENCION DE ACCIDENTES, PPA.

CONTENIDO

INTRODUCCION

PRIMERA PARTE

I. OBJETIVOS

II BASES LEGALES

III CRITERIOS PARA LA ELABORACION DE LOS PROGRAMAS PARA LA PREVENCION DE ACCIDENTES.

1. Criterios Generales.
2. Antecedentes del proponente Marco referencial para desarrollar el Programa para la Prevención de Accidentes (PPA).
3. El Programa de Prevención de Accidentes de Nivel Interno.
4. El Programa de Prevención de Accidentes de Nivel Externo
5. Organización de la empresa para la Prevención de Accidentes causados por la realización de actividades altamente riesgosas.
6. Organización intersectorial para la Prevención de Accidentes causados por actividades altamente riesgosas.
7. El centro de operaciones de la organización para la Prevención de Accidentes de la Empresa

SEGUNDA PARTE

LINEAMIENTOS PARA LA ELABORACION DE LOS PROGRAMAS PARA LA PREVENCION DE ACCIDENTES.

I. ANTECEDENTES GENERALES DEL PROPONENTE

1. Datos Generales de la Empresa
2. Datos Generales del Sitio.
3. Evaluación de Riesgo de la Planta

II. PROGRAMA PARA LA PREVENCION DE ACCIDENTES DE NIVEL INTERNO.

4. Organización para la Prevención de Accidentes de la Planta/Empresa. Unidad de Coordinación
5. Equipos y Servicios de Emergencia
6. Procedimientos Específicos de Respuesta Emergencias
7. Sistema(s) de Comunicación y Alarma
8. Procedimientos para el Retorno a Condiciones Normales y Recuperación
9. Programa de Capacitación y Entrenamiento.
10. Programa de simulacros
11. Actualización del Programa para la Prevención de Accidentes de Nivel Interno.

III. PROGRAMA PARA LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES DE NIVEL EXTERNO.

12. Organización Local para la Prevención de Accidentes. Comité Local de Ayuda Mutua.
13. Equipos y Servicios de Emergencias
14. Procedimientos de Respuesta a Emergencias. Plan de Emergencias del Comité Local de Ayuda Mutua.
15. Sistema (s) de Comunicación y Alarma.
16. Procedimiento para el Retorno a Condiciones Normales y Recuperación.
17. Programa de Capacitación y Entrenamiento.
18. Programa de Simulacros.
19. Educación Pública.
20. Actualización del Programa para la Prevención de Accidentes de Nivel Externo.

ACRONIMOS

GLOSARIO

ANEXOS

1. Formato para los datos generales de la Empresa.
2. Hojas de Datos de Seguridad de Sustancias.

La evaluación de los accidentes probables, deben estar contenidos en un informe donde se indique:

- Los peores accidentes eventuales.
- La ruta de esos peores accidentes.
- El tiempo necesario para reducir los efectos de esos accidentes.
- La magnitud de los acontecimientos de menor importancia si se detiene su desarrollo
- La probabilidad relativa de ocurrencia de los accidentes.
- Las consecuencias de cada accidente.

Los accidentes se deben evaluar en función de la cantidad de materiales que pueden liberarse y de su peligrosidad, el flujo de liberación y los efectos del escape (radiación térmica de un incendio, bola de fuego, nube de gas tóxico, etc.), en función de la distancia de la planta.

En México un determinante del grado de riesgo de una empresa, lo especifican los listados de actividades altamente riesgosas publicadas en el Diario Oficial del 28 de marzo de 1990 y del 4 de mayo de 1992

En general, los criterios para solicitar un PPA son los siguientes:

- El manejo de una o más sustancias de las que aparecen en los Listados de Actividades Consideradas como Altamente Riesgosas, en cantidades tales que en caso de producirse su liberación, puedan ocasionar afectación significativa al ambiente, a la población o a sus bienes.
- Su proximidad a centros de población, previendo las tendencias de expansión del respectivo asentamiento y la creación de nuevos asentamientos, los impactos que tendría un posible evento extraordinario, sobre los centros de población y sobre los recursos naturales, la compatibilidad con otras actividades de las zonas, la infraestructura existente y necesaria para la atención de emergencias ecológicas y accidentes mayores, así como la infraestructura para la dotación de servicios básicos
- El apego en la realización de actividades industriales comerciales o de servicios altamente riesgosos a las normas oficiales mexicanas existentes, o las que expidan en forma coordinada la SEMARNAP, SE, SECOFI, SSA y STPS y criterios técnicos de seguridad y operación, así como la existencia de equipos e instalaciones que corresponda con arreglo a dichas normas y criterios.
- Los antecedentes de las instalaciones en que se realicen actividades altamente riesgosas en materia de accidentes mayores y emergencias ecológicas, en cuyo caso el requerimiento del PPA es inminente.
- Las que la SEMARNAP determine en situaciones no previstas y de común acuerdo con la industria, comercio o servicio de que se trate y cuya presentación implique seguridad social y particular.

La SEMARNAP puede solicitar la elaboración de un PPA a quien realice actividades altamente riesgosas (AAR), una vez evaluados los estudios de Impacto Ambiental y Riesgo Ambiental. Los PPA se someten a la revisión del COAAPP, que es coordinado por la SEMARNAP.

Algunas de las características de la Guía para la elaboración de los Programas para la Prevención de Accidentes, PPA, son las siguientes.

Marco de Referencia.

Está constituido por los Datos generales de la empresa, los datos del sitio en donde se realizan las actividades AAR y el resumen del estudio de riesgos.

El PPA interno.

Comprende a las acciones y planes de respuesta a emergencias para proteger y auxiliar a los trabajadores, personas, instalaciones e infraestructura de la empresa, cuando se presente un accidente y comprende:

- Organización para la prevención de Accidentes de la empresa. Unidad de coordinación.
- Equipos y servicios de Emergencia.
- Procedimientos específicos de Respuesta a Emergencias.
- Sistemas de comunicación y alarma.
- Procedimientos para el retorno a condiciones normales y recuperación.
- Programa de Capacitación y entrenamiento.
- Programa de simulacros
- Actualización del PPA interno.

El PPA a nivel externo

En el se considera que el accidente afecta al entorno, alertando a la población vecina e involucrando la intervención de Protección Civil, Autoridades locales, Población y Empresas aledañas potencialmente afectables, así como a otras instancias para proteger al ambiente y a la población. Este programa comprende:

- Organización local para la prevención de accidentes. Comité Local de Ayuda Mutua.
- Equipos y Servicios de Emergencias
- Procedimientos de Respuesta a Emergencias. Plan de Emergencias del Comité Local de Ayuda Mutua
- Sistemas de Comunicación y Alarma.
- Procedimientos para el retorno a condiciones normales y recuperación.
- Programa de Capacitación y Entrenamiento.
- Programa de Simulacros
- Educación Pública.
- Actualización del PPA a nivel externo

7. PROGRAMA (INTERNO) DE PROTECCION CIVIL

Debido a que México es un país expuesto a varios riesgos de desastre, se requiere de un programa que oriente las acciones de prevención y mitigación de riesgos en toda la república, que consolide estructuras y mecanismos de operación, que permita proteger la integridad y la vida de los habitantes, así como el bienestar y el patrimonio de las familias.

El artículo 3º del decreto aprobatorio del Plan Nacional de Desarrollo (PND) 1995-2000, dispone en el marco de la Ley de Planeación, que:

“Las dependencias y entidades de la administración pública federal, realizarán y promoverán las acciones pertinentes para la elaboración y ejecución de los programas sectoriales y, en su caso, institucionales, regionales y especiales tendientes al logro de los objetivos de dicho Plan”

Dentro de esta declarativa se encuentra el Programa de Protección Civil.

La Secretaría de Gobernación, (SEGOB), que es la coordinadora del Sistema Nacional de Protección Civil, SNPC, en base al documento propuesta de la Comisión Consultiva y de Participación Social para la Protección Civil, elaboró el Programa de Protección Civil (PPC) 1995-2000, para contribuir al logro de objetivos del PND. El programa recoge las orientaciones del PND y las constituye en políticas para normar sus acciones. el PPC

- Se enmarca en la política social del PND 1995-200
- Reconoce que no hay una cultura consolidada en aspectos de auto protección.
- Se inscribe dentro del marco de modernización de la administración pública que contempla el PND

El SNPC creado en 1986, se concibió como.

“Un conjunto orgánico y activado de estructuras, relaciones funcionales, métodos y procedimientos que establecen las dependencias y entidades del sector público entre sí, con las organizaciones de los diversos grupos sociales y privados y con las autoridades de los estados y municipios, a fin de efectuar acciones de común acuerdo destinadas a la protección de los ciudadanos contra los peligros y riesgos que se presentan en la eventualidad de un desastre. ”

Esta concepción sistemática es con la intención de integrar en el SNPC a los sectores público, social y privado, en los ámbitos federal, estatal y municipal, entendiéndose siempre que:

***La protección civil es una responsabilidad compartida
entre gobierno y sociedad.***

El propósito del PPC 1995-2000 es:

- Determinar necesidades-
- Planear objetivos, estrategias, líneas de acción y metas

Lo anterior para el desarrollo armónico sustentable y de protección para todos, cumpliendo con el propósito de crear condiciones para proteger a las personas, sus bienes y el ambiente ante la eventualidad de un desastre, posibilitando la autoprotección.

A continuación se citan algunos ejemplos de riesgos, y acciones realizadas para evitarlos:

- Mucha actividad sísmica y volcánica por encontrarse el país en el cinturón de fuego del pacífico. Los volcanes Popocatepetl, Colima, Tacaná y Everman han tenido actividad recientemente, se tiene un sistema de monitoreo para vigilar permanentemente los dos primeros, y se han elaborado programas de emergencia para ambos

Los sismos de magnitud significativa ocurren con frecuencia debido a que el país se encuentra en la conjunción de las placas tectónicas de Cocos, Rivera y Pacífico y las del Caribe y Norteamérica.

- Por la ubicación del país en la región intertropical se producen en las costas del mar Caribe, Océano Pacífico y Golfo de México, huracanes que ocasionan daños a las poblaciones, y vientos, marejadas, precipitaciones pluviales que provocan desbordamiento de ríos, deslaves, desgajamiento de cerros, ruptura de bordos e inundaciones.
- Entre junio y octubre, los vientos del este llevan gran humedad del Golfo de México, que al llegar a las montañas producen precipitaciones importantes que causan inundaciones
- Los frentes fríos durante el invierno encuentran aire húmedo o más caliente, que provocan precipitaciones intensas e inundaciones en el noroeste
- La entrada de ciclones también ocasionan graves daños a la agricultura y a la población.

- La Comisión Nacional del Agua, (CNA), tiene la responsabilidad del monitoreo de huracanes, ciclones y precipitaciones, para proporcionar al SNPC información oportuna y suficiente, para la toma de decisiones.
- Debido a cambios climáticos y a eventos globales como corrientes perturbadoras de océanos, se tiene el fenómeno de las sequías, aceleradas por la acción del hombre en el efecto invernadero, reducción de la capa de ozono en la atmósfera y la desertización.
- Incendios forestales, asociados con las sequías y altas temperaturas; aún cuando las sequías son inestables, en el caso de los incendios forestales se tiene un servicio de detección y alerta temprana, contando con el Programa Nacional contra los Incendios Forestales, a cargo de la SEMARNAP.
- Las enfermedades gastrointestinales y bronquiorespiratorias ocasionadas por problemas sanitarios. El SNPC participa coordinadamente con el Sistema Nacional de Salud, para la atención sanitaria y epidemiología.
- Para el caso de la prevención de las enfermedades asociadas con la contaminación ambiental, se creó en 1992 el Programa Integral para el Control de la Contaminación Ambiental, PICCA, que ha declarado varias veces contingencia ambiental. El SNPC solo intervendrá cuando se rebasen los niveles de los índices IMECA de contingencia establecidos.
- En la producción, almacenamiento, transporte y utilización de materiales peligrosos y el manejo y tratamiento de sus residuos, ante el riesgo de accidentes, es necesario la determinación de zonas con mayores riesgos y problemas, así como el desarrollo de acción de emergencia y rehabilitación de áreas dañadas. Instalaciones obsoletas y falla de mantenimiento, son las principales causas de accidentes.
- En la transportación, las unidades en mal estado y la falta de identificación del material, son la causa de que algunos eventos tomen dimensiones mayores; también ha influido la ignorancia en su manejo o la inexperiencia en el uso de guías
- Los riesgos en la actividad de generación y manejo de energía, representan también un problema importante, para prevenir y atender riesgos por esta actividad, en el caso de nucleoelectricas, se creó el Programa de Emergencia Radiológica Externo, PERE, que ha desarrollado acciones preventivas de equipamiento, capacitación y difusión, ejercicios y simulacros.

La SEGOB creó en 1988 el Centro Nacional de Prevención de Desastres, CENAPRED, cuya sede fue construida en 1990; en 1989 creó la Subsecretaría de Protección Civil y de Prevención y Readaptación Social, así como la Dirección General de Protección Civil.

En 1990 se constituyó el grupo Colegiado Consejo Nacional de Protección Civil, CNPC, que ha efectuado acciones importantes como:

- La creación de Comités de Auxilio y Recuperación, de Solidaridad Externa y de Presupuesto.
- Creación de un almacén de insumos para la atención inmediata de emergencias
- Desarrollo de acciones de capacitación y equipamiento de los cuerpos de bomberos en el país
- Puesta en marcha de grupos de apoyo técnico para atención de emergencia.

A partir de 1992 se elaboró, editó y distribuyó el Atlas Nacional de Riesgos. En 1994 se editó el documento Diagnóstico general de Riesgos de los Estados de la República, que sirvió como material de apoyo para los "atlas locales de riesgos" de los estados.

En 1994 se instaló la Comisión Consultiva y Participación Social para la Protección Civil, como órgano auxiliar del CNPC, para la planeación de la protección civil.

Para mejorar la cultura de protección civil, se han elaborado y difundido entre la ciudadanía material técnico-normativo sobre protección civil. También se han invertido recursos para apoyar la investigación científica en fenómenos geológicos, hidrometeorológicos y químicos.

Objetivos, estrategias y políticas

El objetivo básico del SNPC es el siguiente:

"Proteger a la persona y a la sociedad ante la eventualidad de un desastre provocado por agentes naturales o humanos, a través de acciones que reduzcan o eliminen la pérdida de vidas humanas, la destrucción de bienes materiales y el daño a la naturaleza así como la interrupción de las funciones esenciales de la sociedad".

Para precisar este objetivo, es útil anotar la definición de desastre:

"El desastre se puede definir como el evento concentrado en tiempo y en espacio, en el cual la sociedad o una parte de ella sufre un daño severo y pérdidas para sus miembros de tal manera que la estructura social se desajusta y se impide el cumplimiento de las actividades de la misma"

La estrategia global del CNPC, consiste en fortalecer la operación de las unidades de protección civil estatales y municipales y las unidades internas de las dependencias y entidades federales con el concurso y participación gubernamental y organizaciones privadas y sociales

El programa de Protección Civil creado por la SEGOB (coordinación del SNPC) dentro del marco del Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000, ha dado origen a las Leyes de Protección Civil y sus respectivos Reglamentos, como son las del D.F. y del Estado de México.

La Ley de Protección Civil para el D.F., define a la protección civil en la siguiente forma:

“Conjunto de principios, normas, procedimientos, acciones y conductas incluyentes, solidarias, participativas y corresponsales que efectúan coordinada y concertadamente la sociedad y las autoridades, para la prevención, mitigación, preparación de auxilio, rehabilitación, restablecimiento y reconstrucción, tendientes a salvaguardar la integridad física de las personas, sus bienes y entorno frente a una eventualidad de un riesgo, emergencia, siniestro o desastre”.

En la ley de Protección Civil para el D.F., se establecen normas, bases, definiciones y principios básicos, para llevar a cabo las acciones de protección civil en el Distrito Federal, como son la prevención y mitigación, auxilio y restablecimiento ante las amenazas de riesgo y en los casos de emergencia, siniestro o desastre. Fue publicada el 2 de febrero de 1996 en el Diario Oficial y en ella se indica, que es necesario presentar ante las autoridades de Protección Civil Delegacionales, un “PROGRAMA INTERNO DE PROTECCION CIVIL” de la empresa que no sea considerada de alto riesgo

EL PROGRAMA INTERNO DE PROTECCION CIVIL lo define ésta ley como: *Aquel que se circunscribe al ámbito de una dependencia, entidad, institución u organismo pertenecientes de los sectores público, privado o social del Distrito Federal*

Este programa Interno debe tomar en cuenta las estrategias, objetivos, políticas y líneas de acción establecidas en los programas *“General de Protección Civil para el Distrito Federal”, “Delegación de Protección Civil” y en su caso al “Programa Especial de Protección Civil”*

EL PROGRAMA ESPECIAL DE PROTECCION CIVIL, es aquel específico para riesgos derivados de un evento o actividad especial en una área determinada, donde se considere un alto riesgo y que es implementado por particulares, áreas sustantivas y estratégicas de la Administración Pública del Distrito Federal.

Es importante poner atención a éste tipo de programas, ya que el Programa externo de Prevención de Accidentes que se llegue a derivar del PPA, se puede encontrar dentro de los Programas Especiales de Protección Civil.

Los Programas internos de protección civil establecen la obligación de contar con un Programa Interno, a los propietarios de los inmuebles con las siguientes actividades (art. 24):

- Viviendas plurifamiliares
- Conjuntos habitacionales
- Teatros
- Cines
- Bares
- Discotecas
- Restaurantes
- Bibliotecas
- Centros comerciales
- Estadios, centros deportivos y gimnasios
- Escuelas públicas y privadas
- Hospitales y sanatorios
- Templos
- Establecimientos de hospedaje
- Juegos eléctricos, electrónicos o mecánicos
- Baños públicos
- Panaderías
- Estaciones de servicio
- Establecimientos de almacenamiento y distribución de hidrocarburos
- Laboratorios de procesos industriales
- Los demás que sean de alto riesgo y que exista usualmente una concentración de mas de 50 personas, incluyendo a los trabajadores del lugar.

Para establecimientos de bajo riesgo, el Artículo 25 los obliga a contar con un extintor tipo ABC de 4 5 o 6 Kilogramos, colocar instructivos oficiales para caso de sismo o incendio y dar mantenimiento anual a las instalaciones eléctricas y de gas.

Ley y Reglamento de Protección Civil del Estado de México

La normatividad del Estado de México en materia de Protección Civil, establece que se deberán efectuar simulacros de evacuación en las siguientes instalaciones:

- Edificios Públicos
- Escuelas
- Comercios
- Oficinas
- Fábricas

- Industrias
- Unidades Habitacionales
- Centros de espectáculos y diversiones
- Establecimientos abiertos al público
- Transportes escolares y de personal

También establece que se deben colocar en lugares visibles lo siguiente:

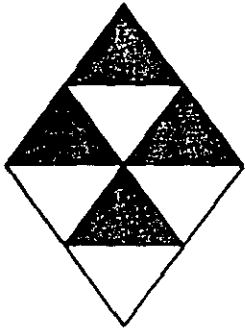
- Señalización adecuada
- Instructivos para casos de Emergencias
- Señalar las zonas de seguridad
- Señalar las salidas de emergencia

Los inmuebles que reciban una influencia masiva y permanente de personas, se encuentran obligados a preparar un Programa específico de Protección Civil.

MODELO DE UN PROGRAMA INTERNO DE PROTECCION CIVIL CONFORME A LA "LEY DE PROTECCION CIVIL PARA EL D. F. "

Aspectos Generales:

1. Identificación y Evaluación de riesgos
 - 1.1. Riesgos internos.
 - 1.2. Riesgos del entorno.
2. Evaluación de Vulnerabilidad.
 - 2.1. Vulnerabilidad interna
 - 2.2. Vulnerabilidad externa
3. Evaluación y determinación de rutas de evacuación y zonas de menor riesgo.
 - 3.1. Internos.
 - 3.2. Externos:
4. Elaboración de Planes específicos de emergencia de acuerdo al tipo de riesgo identificado y evaluado.
 - 4.1. Plan de emergencia por sismo
 - 4.1.1. Con alerta sísmica activada
 - 4.1.2. Sin activación de la alerta sísmica
 - 4.2. Plan de emergencia por incendio
 - 4.3. Plan de emergencia por fenómenos hidrometeorológicos
 - 4.4. Plan de emergencia por amenaza de bomba
 - 4.5. Plan de emergencia por fenómeno socio-organizativos
 - 4.6. Plan de emergencia por accidente personal
 - 4.7. Plan general de evacuación
- 5 Integración del Comité Interno de Protección Civil
 - 5.1. Políticas del Comité
 - 5.2. Funciones de los miembros del Comité
 - 5.2.1 Funciones del jefe del edificio y de sus suplentes
 - 5.2.2 Funciones de los jefes de piso o área y de sus suplentes
 - 5.3. Acta Constitutiva
 - 5.4. Integración y Funciones de las Brigadas
 - 5.4.1. Brigadas de Evacuación
 - 5.4.2 Brigada de Primeros Auxilios
 - 5.4.3 Brigadas de Combate de Incendios
 - 5.4.4. Brigada de Rescate
 - 5.4.5. Brigada de Comunicaciones
6. Procedimientos específicos de actuación de los miembros del comité, empleados, directivos y población flotante.
 - 6.1.1. Procedimientos por sismo
 - 6.1.2. Procedimientos por incendio
 - 6.1.3. Procedimientos por fenómeno Hidrometeorológico.
 - 6.1.4. Procedimientos por amenaza de bomba
 - 6.1.5. Procedimientos por fenómeno socio-organizativo
 - 6.1.6. Procedimiento por accidente personal
 - 6.4.7 Procedimiento del plan general de evacuación
7. Capacitación al personal y a las brigadas
8. Programa de simulacros periódicos
9. Evaluación del Programa Interno de Protección Civil



GRUPO MAR

CONSULTORES EN CAPACITACION Y SERVICIOS EN LAS
AREAS DE:

- ADMINISTRACION AMBIENTAL (ISO 14000)
- RIESGO AMBIENTAL
- ASEGURAMIENTO DE CALIDAD (ISO 9000)
- SISTEMAS DE AHORRO DE ENERGIA
- MEJORAMIENTO DE PLANTAS INDUSTRIALES

Calle Nube #53
Col. Lomas Quebradas
Del. Magdalena Contreras
C.P. 10610, México, D.F.
Tel.: 55-95-3220
Fax: 55-95-5623
e-mail: 9aguilar@df1.telmex.net.mx

ANEXOS

A-1 Indices de Fallas

INDICES DE FALLAS DE COMPONENTES MECANICOS

| NUM | COMPONENTES | MODO DE FALLA | INDICES DE FALLA |
|-----|---|---|--|
| 1. | Bombas (incluyendo propulsor). | Falla a arrancar en demanda. Falla a operar, arrancada (ambiente normal) Falla a operar, arrancada (ambiente interno, externo, post-accidente) Falla a operar, arrancada (después de recuperación ambiental, post-accidente) | $1 \times 10^{-3}/d$ $3 \times 10^{-5}/h$ $1 \times 10^{-3}/h$ $3 \times 10^{-4}/h$ |
| 2. | Válvulas a) Operadas con motor. b) Operada con solenoide. c) Operada con aire | Falla a operar (incluyendo propulsor) Falla a permanecer abierta (tapada) Rotura Falla a operar Falla a permanecer abierta (tapada) Rotura Falla a operar Falla a permanecer abierta (tapada) Rotura | $1 \times 10^{-3}/d$ $1 \times 10^{-4}/d$ $1 \times 10^{-6}/h$ $1 \times 10^{-3}/d$ $1 \times 10^{-4}/d$ $1 \times 10^{-6}/h$ $3 \times 10^{-4}/d$ $1 \times 10^{-4}/d$ $1 \times 10^{-6}/h$ |
| 3. | Válvulas check | Falla a operar Fuga interna (severa) Rotura | $1 \times 10^{-4}/d$ $3 \times 10^{-7}/h$ $1 \times 10^{-6}/h$ |
| 4. | Válvula de vacío | Falla a operar | $3 \times 10^{-5}/d$ |
| 5. | Válvula manual | Falla a permanecer abierta (tapada) Rotura | $1 \times 10^{-4}/d$ $1 \times 10^{-6}/h$ |
| 6. | Válvula de alivio | Falla a abrir Apertura prematura | $1 \times 10^{-5}/d$ $1 \times 10^{-5}/h$ |
| 7. | Válvulas de prueba, medidores de flujo, orificios | Falla a permanecer abierta (tapada) Ruptura | $3 \times 10^{-4}/d$ $1 \times 10^{-6}/d$ |
| 8. | Tubería a) Tubo ≤ 75 cm., de diám., por sección. b) Tubo > 75 de diám., por sección. | Ruptura/tapada Ruptura | $1 \times 10^{-6}/h$ $1 \times 10^{-6}/h$ |
| 9. | Clutch mecánico | Falla a operar | $3 \times 10^{-4}/d$ |
| 10. | Varillas de scram (sencillas). | Falla a insertarse | $1 \times 10^{-4}/d$ |

INDICES DE FALLAS DE EQUIPO ELECTRICO

| NUM | COMPONENTE | MODO DE FALLA | INDICES DE FALLA |
|-----|--|--|--|
| 1. | Clutch eléctrico | Falla a operar Desenganche prematuro | $3 \times 10^{-7}/d$ $1 \times 10^{-6}/h$ |
| 2. | Motores eléctricos | Falla a arrancar Falla a operar, arrancado (ambiente normal) Falla a operar, arrancado (ambiente externo) | $3 \times 10^{-7}/d$ $1 \times 10^{-6}/h$ $1 \times 10^{-6}/h$ |
| 3 | Relevadores | Falla de energizarse Falla de contactos NA a cerrar, energizados Falla de contactos NC a abrir, sin energizarse Corto a través de contactos NA/NC Bobina abierta Corto en bobina a potencia | $1 \times 10^{-7}/d$ $3 \times 10^{-7}/h$ $1 \times 10^{-7}/h$ $1 \times 10^{-6}/h$ $1 \times 10^{-7}/h$ $1 \times 10^{-6}/h$ |
| 4. | Interruptores | Falla a transferir Transferencia prematura | $1 \times 10^{-7}/d$ $1 \times 10^{-6}/h$ |
| 5. | Switches a) Limite b) Par c) Presión d) Manual | Falla a operar Falla a operar Falla a operar Falla a transferir | $3 \times 10^{-7}/d$ $1 \times 10^{-7}/d$ $1 \times 10^{-7}/d$ $1 \times 10^{-6}/d$ |
| 6. | Contactos de switch | Falla de contactos NA a cerrar con switch operado Falla de contactos NC a abrir con switch operado Corto a través de contactos NA/NC | $1 \times 10^{-7}/h$ $3 \times 10^{-6}/h$ $1 \times 10^{-6}/h$ |
| 7. | Sistema de potencia de baterías (celda húmeda) | Falla a suministrar la salida apropiada | $3 \times 10^{-6}/h$ |
| 8. | Transformadores | Circuito primario o secundario abierto Corto primario o secundario | $1 \times 10^{-6}/h$ $101 \times 10^{-6}/h$ |
| 9 | a) Dispositivos de estado sólido, aplicaciones de alta potencia (diodos transistores, etc) b) Dispositivos de estado sólido, aplicaciones de baja potencia | Falla a funcionar Falla con corto Falla a funcionar Falla con corto | $3 \times 10^{-6}/h$ $1 \times 10^{-6}/h$ $1 \times 10^{-6}/h$ $1 \times 10^{-7}/h$ |
| 10 | a) Diesels (planta completa) b) Diesels (solo la máquina) | Falla a arrancar Falla a operar, en condiciones de emergencia, arrancada Falla a operar, en condiciones de emergencia, arrancada. | $3 \times 10^{-7}/d$ $3 \times 10^{-3}/h$ $3 \times 10^{-4}/h$ |
| 11 | Instrumentación general (incluye transmisores amplificadores y dispositivos de salida. | Falla a operar Cambio en calibración | $1 \times 10^{-6}/h$ $3 \times 10^{-5}/h$ |
| 12 | Fusibles | Falla a abrir Apertura prematura | $1 \times 10^{-5}/d$ $1 \times 10^{-6}/h$ |
| 13 | Alambres (circuitos típicos, juntas vanas) | Circuito abierto Corto a tierra Corto a potencia | $3 \times 10^{-6}/h$ $3 \times 10^{-7}/h$ $1 \times 10^{-6}/h$ |
| 14. | Terminales en tableros | Conexiones abiertas Corto en circuitos adyacentes | $1 \times 10^{-7}/h$ $1 \times 10^{-6}/h$ |

PROBABILIDADES DE ERRORES HUMANOS BASICOS

| NUM | TAREA | PROBABILIDAD DE ERROR HUMANO |
|-----|---|---|
| 1. | Inspección de rondin: reconocer estatus incorrecto usando check list correctamente | 0.01(0.005-0.05) |
| 2. | Inspección de rondin: reconocer estatus incorrecto usando check list incorrectamente | 0.1(0.05-0.5) |
| 3. | Inspección de rondin: reconocer estatus incorrecto, sin check list, en primer rondin | 0.9(0.5-0.99) |
| 4. | Uso correcto de check list | 0.5 (0.1-0.9) |
| 5. | Seguir políticas o procedimientos establecidos | 0.0.1(0.003-0.03) |
| 6. | Inspección pasiva | 0.1(0.05-0.5) |
| 7. | Responder a una alarma (una a una) | 0.0001(0.0005-0.001) |
| 8. | Leer lampara de alarma | 0.001(0.00005-0.005) |
| 9. | Leer despliege (display) digital | 0.001(0.0005-0.005) |
| 10. | Leer medidor analógico | 0.003(0.001-0.01) |
| 11. | Leer gráfica de registrador analógico | 0.006(0.002-0.02) |
| 12. | Leer diagramas o gráficas | 0.01(0.005-0.05) |
| 13. | Leer impresiones de registros | 0.05(0.01-0.2) |
| 14. | Registrar mas de tres dígitos | 0.001(0.0005-0.005) |
| 15. | Detectar una desviación de medidor con marcas limites durante inicio | 0.05(0.01-0.1) |
| 16. | Checar lecturas de medidores especificos con marcas limite | 0.001(0.0005-0.005) |
| 17. | Checar medidores de lecturas especificas sin marcas limite | 0.003(0.001-0.01) |
| 18. | Checar lámpara indicadora de error en un grupo de lámparas similares | 0.003(0.001-0.01) |
| 19. | Observar estatus incorrecto de una lámpara indicadora(en un grupo) | 0.99(0.98-0.998) |
| 20. | Observar estatus incorrecto de una leyenda en lampara (en un grupo) | 0.98(0.96-0.996) |
| 21. | Recordar instrucciones orales, una a una | 0.001(0.0005-0.005) |
| 22. | Seleccionar panel de control equivocado a) Entre un grupo de controles similares b) Si esta funcionalmente agrupado c) Si es parte de un panel tipo mimico | 0.003(0.001-0.01) 0.001(0.0005-0.005) 0.0005(0.0001-0.01) |
| 23. | Ajustar un switch de posición múltiple | 0.001(0.001-0.1) |
| 24. | Acoplar un conector | 0.01(0.005-0.05) |
| 25. | Girar control en dirección equivocada a) Si no hay violación de estereotipo de población b) Si se viola el estereotipo de población | 0.0005(0.0001-0.001) 0.05(0.01-0.1) |
| 26. | Checar cada parte en una lista corta (10 partes o menos) usando verificación (check off) | 0.001(0.0005-0.005) |
| 27. | Checar cada parte en una lista grande (mas de 10 partes) usando verificación (check off) | 0.003(0.001-0.01) |
| 28. | Checar cada parte en una lista corta (10 partes o menos) sin usar verificación (check off) | 0.003(0.001-0.01) |
| 29. | Checar cada parte en una lista grande (mas de 10 partes) sin usar verificación (check off) | 0.01(0.005-0.5) |

INDICES GENERALES REPRESENTATIVOS DE FALLAS (POR HORA)

| NUM | PARTE | INDICE DE FALLA POR 10 ⁶ |
|-----|---------------------------------------|---|
| 1. | Acumulador | 500.0 |
| 2. | Actuador | 0.3-405.4 |
| 3. | Batería | 676.8 |
| 4. | Cojinete | 12.6-53.2 |
| 5. | Freno (magnético) | 241.5 |
| 6. | Dispositivo de protección de circuito | 28.5 |
| 7. | Instrumento (medición) / control | 37.5-269.6 |
| 8. | Ventilador | 9.1 |
| 9. | Filtro | 26.0-49.5 |
| 10. | Empaque / sello | 2.4-31.6 |
| 11. | Generador (CD) | 205.9 |
| 12. | Giroscopo | 300.0 |
| 13. | Cambiador de calor | 38.4 |
| 14. | Manguera y accesorios | 3.9-32.9 |
| 15. | Lampara incandescente | 18.6 |
| 16. | Dispositivo mecánico | 1.7-986.6 |
| 17. | Bomba | 1.7-395.0 |
| 18. | Regulador | 3.0-136.2 |
| 19. | Sensor | 76.6 |
| 20. | Solenoide | 65.6 |
| 21. | Switch | 18.6-95.0 |
| 22. | Tanque | 108.8-159.3 |
| 23. | Transductor | 57.9-100.0 |
| 24. | Válvula | 10.1-133.5 |
| 25. | Elementos estructurales | 0.00004-0.004 (depende de complejidad) |
| 26. | Aviones | 500.0-1.000.0 (depende de parte, Tecnología/complejidad) |

PROBABILIDADES O FRECUENCIAS DE EVENTOS

| NUM | INSTALACION O ACTIVIDAD | MODO DE FALLA | INDICE DE FALLA |
|-----|---|--|--|
| 1. | Recipientes a presión (GLP, amoniaco, HF) | Frecuencia de falla espontánea de recipiente a presión | 10^{-5} y 10^{-4} /año |
| 2. | Circuito a presión (HF) | Frecuencia de falla espontanea de circuito a presión Frecuencia de liberación debido a falla operacional Frecuencia de penetración de circuito a presión por misil | 10^{-4} /año 10^{-4} /año 10^{-4} /año |
| 3 | Maquina rotatona de alta veloc. | Frecuencia de desintegración del rotor | 10^{-4} y 10^{-3} /año |
| 4. | Tubería (GLP) | Frecuencia de falla de tubería (instalación completa) | 5×10^{-3} /año |
| 5 | Bomba (GLP) | Frecuencia de falla catastrófica de la bomba | 10^{-4} /año |
| 6. | Punto de llenado de GLP | Frecuencia de gran liberación de vapor | 5×10^{-3} /año |
| 7. | Tanque sobre el piso | Frecuencia de falla seria por fatiga Frecuencia de sobrepresión por sobrellenado Frecuencia de sobrerodado involucrando daño estructural | 2×10^{-4} /año 10^{-5} y 10^{-4} /año 10^{-5} y 10^{-4} /año |
| 8. | Tubería de muelles | Frecuencia de falla catastrófica de tubería de muelles | 10^{-4} y 10^{-3} /año |
| 9 | Fuego | Frecuencia de fuego mayor (en una refinería) | 0 1/ y |
| 10. | Explosión | Frecuencia de explosion (en refinería) por fuego mayor | 0.5 |
| 11 | Proyectiles | Probabilidad de generación de proyectiles, por explosión en refinería Frecuencia de explosión generadora de misiles en refinerías Probabilidad de que un proyectil golpee una esfera grande de almacenamiento a 300m | 0 1 5×10^{-3} /y 10^{-3} |
| 12 | Explosión de nube de vapor no confinada | Frecuencia de explosión de nube de vapor no confinada en una refinería | 10^{-3} /año |
| 13 | Tubería (con butano) | Frecuencia de falla de tubería (15/20cm de diámetro) | 3×10^{-4} /km año |
| 14 | Transporte por ferrocarril | Frecuencia de descarrilamiento de carro-tanque Probabilidad de volteo en descarrilamiento | 1×10^{-8} /tren km viajado 0 2 |
| 15 | Transporte por carretera | Frecuencia de accidente de camion-tanque, con derrame | 16×10^{-8} /km viajado |
| 16 | Transporte por mar (Londres) | Frecuencia de colisiones barco-barco de moderada severidad por movimiento del puerto Frecuencia de contacto en amarre Frecuencia de encallamiento Frecuencia de derrame por movimientos de puerto (con amoniaco) Frecuencia de fuego Frecuencia de colisión barco-barco, de severidad moderada por tránsito en el estuario Frecuencia de derrame por colisión barco-barco en tránsito (amoniaco) | 0.5×10^{-4} /movim de puerto 1.5×10^{-4} /movim de puerto 0.3×10^{-4} /movim de puerto 3.1×10^{-5} /movim de puerto 0.5×10^{-4} /movim de puerto 2.3×10^{-5} /movim de puerto |
| 17 | Incidentes en muelles | Frecuencia de explosion de un buque en el muelle (amoniaco) Frecuencia de fuego o explosión en el muelle | 10^{-4} /movimiento en puerto 4×10^{-5} /movim |
| 18 | Movimientos helicóptero en | Frecuencia de accidentes de helicopteros - Total de accidentes - Accidentes fatales | 3×10^{-7} /km vuelo 8×10^{-8} /km vuelo |

BIBLIOGRAFIA

1. Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire
Autor: Noel de Nevers
Mc Graw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V.
2. Manual para Planificar la Administración de Emergencias
Autor: Geary W. Sikich
Mc Graw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V.
3. Ecología Industrial. Ingeniería Medioambiental Aplicada a la Industria y a la Empresa.
Manual para responsables medioambientales.
Autor: Manano Seoanez Calvo
Coedición. Ediciones Mundi-Prensa
4. Instrumentos de la Gestión Ambiental en la Empresa
Autor: Vicente Conesa Fernández-Vitora
Coedición. Ediciones Mundi-Prensa
5. Environmental, Health, and, Safety Auditing Handbook. Second Edition
Autor: Lee Harrison
Mc Graw-Hill Inc
6. Electrical Hazards and Accidents. Their Cause and Prevention. Their Cause and Prevention
Autor: E. K. Greenwald
Van Nostrand Reinhold
7. Environmental Pollution and Control Third Edition
Autores: P. Aarne Vesilind - J. Jeffrey Peirce - Ruth F. Weiner
Butterworth-Heinemann
8. Environmental Risks and Hazards
Autor: Susan L. Cutter
Prentice Hall, Englewood Cliffs
9. Calculated Risks. The Toxicity and human health risks of chemicals in our environment.
Autor: Joseph U. Rodricks
Cambridge University Press
10. Environmental Risk Assessment and Management: A Literature Review
Autor: Larry W. Canter
Pan American Center for Human Ecology and Health.
11. Manual de Evaluación y Administración de Riesgos
Autores: Rao Kolluru, Steven Bartell, Robin Pitblado y Scott Stricoff
Mc Graw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V.



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

**DIPLOMADO INTERNACIONAL EN
RIESGO AMBIENTAL**

**MODULO III
CA 087**

**MÉTODOS DE ANÁLISIS Y CUANTIFICACIÓN
DE RIESGOS AMBIENTALES**

**TEMA:
“ANEXO 4”**

**EXPOSITOR: ING. MARIO GARCÍA MORALES
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO DEL 2002**

INTRODUCCION

El mundo de hoy se nos presenta pleno de inventos y descubrimientos sorprendentes. Cada día surgen nuevas técnicas y productos que tienen como fin, satisfacer las apremiantes necesidades del hombre, con eficacia y comodidad.

Uno de los muchos productos modernos puestos al servicio del hombre de hoy es el Gas, L.P., combustible que por sus propiedades y cualidades tan apreciables se ha convertido en el energético ideal para uso doméstico, comercial e industrial, habiendo desplazado a los combustibles de antaño como la leña, el carbón y el petróleo diáfano con tal rapidez que no nos ha dado tiempo para aprender a manejarlo y usarlo de manera que no signifique un riesgo para nuestra seguridad.

Por naturaleza el gas L.P., es un combustible volátil y altamente inflamable; por lo que si se maneja sin las debidas precauciones nos hará víctimas de su violencia en forma de explosiones, flamas, quemaduras y hasta asfixias que desgraciadamente ya se han producido con saldos a veces trágicos.

Mas no hay que olvidar que estos sucesos son propiciados por el factor humano que interviene y actúa en este campo como en otros con incapacidad e ignorancia, con negligencia y sin responsabilidad.

Es por ello que el manejo del Gas L.P. en toda la extensión de la palabra sólo debe ser confiado a personal seleccionado y calificado, para lo cual juega un papel importante la capacitación y el estudio

Esa es la finalidad de este manual, ayudar con la información contenida en sus páginas a que el personal involucrado conozca y sepa manejar y utilizar el Gas, L.P. con seguridad de manera que siempre obtengamos de él un beneficio.

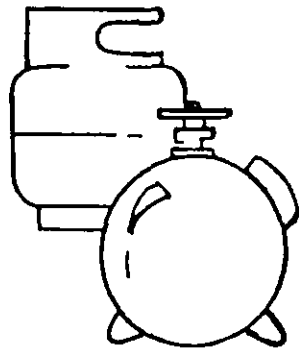
"Capacitarnos para ser más"!

**Asociación Mexicana de Distribuidores de Gas, L.P.
y Empresas Conexas, A. C.
"Delegación Chiapas".
Gas Com, S.A. de C.V.
Gas Grijalva, S.A. de C.V.
Gas de Chiapas, S.A. de C.V.
Transportes de Gas del Sureste,
S.A. de C.V.**

| | | | |
|-----------|----|---------|----|
| Carbono | C | Fósforo | P |
| Azufre | S | Cobre | Cu |
| Hierro | Fe | Plomo | Pb |
| Nitrógeno | N | Silicio | Si |
| Cloro | Cl | Níquel | Ni |

Por ejemplo: El oxígeno es un elemento simple, pero si se combina con otro de ellos, como el Hidrógeno da lugar a un compuesto denominado AGUA que es materia en estado líquido. Si pudiéramos ahora analizar una gota de agua comprobaríamos que está formada por la asociación de millones de moléculas de agua y que cada molécula de agua estará formada por 2 átomos de Hidrógeno y 1 de Oxígeno y así deduciríamos la Fórmula del agua como H_2O .

Siguiendo el mismo procedimiento, podríamos analizar cualquier clase de materia y deducir cuáles son y cuántos los átomos que forman su respectiva molécula.



2 GENERALIDADES SOBRE LOS COMBUSTIBLES

A).- ¿Qué es un Combustible ?

Un combustible es una substancia capaz de arder al ponerse en contacto con una flama o con el calor elevado.

Por ejemplo: Un papel lo podemos encender con el calor de los rayos del sol si los concentramos en un punto con una lupa.

En la naturaleza existen combustibles: Sólidos, Líquidos y Gaseosos.

SOLIDOS: La madera, el papel, el plástico, las telas, hule, etc.

LIQUIDOS: Alcohol, gasolina, diesel, thinner, aceites, etc.

GASEOSOS: Hidrógeno, acetileno, gas natural, gas, L. P.

B).- ¿Porqué arde un combustible ?

Porque en su composición siempre están presentes dos elementos simples que son altamente combustibles cuando están en presencia de suficiente calor y oxígeno. Ellos son: el CARBONO y el HIDROGENO

Porque está formado de dos clases de sustancias, cuyos átomos denominados Carbono e Hidrógeno son eminentemente combustibles y se queman con facilidad cuando hay suficiente CALOR y OXIGENO frente a ellos.

C).- Hidrocarburos

A todos los combustibles se les denomina también HIDROCARBUROS como consecuencia de los nombres de las dos sustancias que los componen, tomando HIDRO del Hidrogeno y CARBURO como calificativo del Carbono

COMBUSTIBLES = HIDROCARBUROS

D).- Utilidad de los Combustibles

Desde que el hombre aprendió a utilizar el fuego para obtener de él su luz y calor aprovechandolos en su vida cotidiana, ha librado dura batalla en conseguir de la naturaleza, mayor variedad de ellos y mayor aprovechamiento de sus propiedades caloríficas de cada uno.

A estas propiedades caloríficas de los combustibles se les llama técnicamente: VALOR CALORIFICO y es distinto para cada material combustible. Se mide en CALORIAS (Cal.) y así decimos que la leña seca tiene 3,700 Cal./Kg., el alcohol 7,183 Cal./Kg., el carbon vegetal 7,500 Cal./Kg., la gasolina 11,528 Cal./Kg., etc.

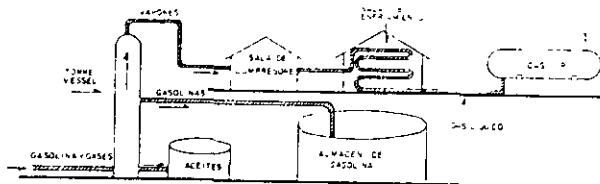


4 EL GAS L. P.

GENERALIDADES SOBRE EL GAS, L. P.:

A).- ¿ Qué es el Gas, L. P. ?

Es un hidrocarburo, derivado del petróleo, que se obtiene durante el proceso de refinación de otro derivado denominado gasolina.



OBTENCIÓN DEL GAS L. P.

B).- ¿ Qué significa L. P. ?

Significa: LICUADO DEL PETRÓLEO. Porque se produce en estado de vapor pero se licua mediante COMPRESIÓN y ENFRIAMIENTO simultáneos de estos vapores, necesiándose procesar 270 litros de vapor para obtener 1 litro de gas licuado.

C).- ¿ Cómo se entiende que sea licuado si es Gas ?

El gas al ser comprimido y enfriado se condensa y se convierte al estado líquido, en cuyo estado se le transporta y maneja desde las refinarias, a las plantas de almacenamiento y de estas a los usuarios, ya sea por transportes o recipientes portátiles, en donde el gas se vaporiza para poder ser utilizado en estufas y otros aparatos domésticos.

D).- Propano y Butano:

Hay dos clases de Gas, L. P.: PROPANO Y BUTANO, que se distinguen entre sí en su composición química, en su presión normal, en su temperatura de ebullición y en su poder calorífico (o de calentamiento)

| CONCEPTO FISICO | PROPANO | BUTANO |
|-------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| FORMULA | C ₃ H ₈ | C ₄ H ₁₀ |
| PRESION NORMAL (A TEMP. AMBIENTE) | 9 Kg/Cm ² | 2 Kg/Cm ² |
| TEMPERATURA DE EBULLICION | - 42°C | 0°C |
| PODER CALORIFICO O DE CALENTAMIENTO | 11.657 Cal/Kg. | 11.823 Cal/Kg. |
| PESO ESPECIFICO | 508 Gr./Kg. . | 582 Gr./Kg. |

CARACTERISTICAS DEL GAS, L.P.:

- 1.- SE PRODUCE EN ESTADO DE VAPOR, pero se licua con cierta facilidad, mediante compresión y enfriamiento.
- 2.- NO TIENE COLOR es transparente como el agua en su estado líquido.
- 3.- NO TIENE OLOR cuando se produce y licua pero se le añade una sustancia de olor penetrante para detectarlo cuando se fuga llamada etil mercaptano.
- 4.- NO ES TOXICO, pero no es propio para respirarlo mucho rato.
- 5.- ES MUY INFLAMABLE, cuando se escapa y se vaporiza se enciende violentamente con la menor llama o chispa.
- 6.- ES EXCESIVAMENTE FRIO porque cuando se licuó se le sometió a muy bajas temperaturas de (bajo 0°C) por lo cual al contacto con la piel producirá siempre quemaduras de la misma manera que lo hace el fuego.
- 7.- ES MANEJABLE: con las debidas precauciones presenta un riesgo mínimo.
- 8.- ES LIMPIO: cuando se quema debidamente combinado con el aire, no forma hollín, ni deja mal sabor en los alimentos preparados con él.
- 9.- ES ECONOMICO: por su rendimiento en comparación con otros combustibles.
- 10.- Un litro de gas líquido pesa aproximadamente 1/2 Kg. (Un litro de agua pesa 1 Kg.).
- 11.- Un litro de gas líquido se transforma en 273 litros de vapor de gas.
- 12.- Los vapores del gas L.P. son más pesados que el aire, por lo que al escaparse el gas, tenderá a ocupar las partes más bajas, como el piso, fosas y pozos que haya en él

NOTAS COMPLEMENTARIAS:

1.- ¿ Qué sucede cuando el Gas, L.P. se escapa de un tanque o cilindro ?

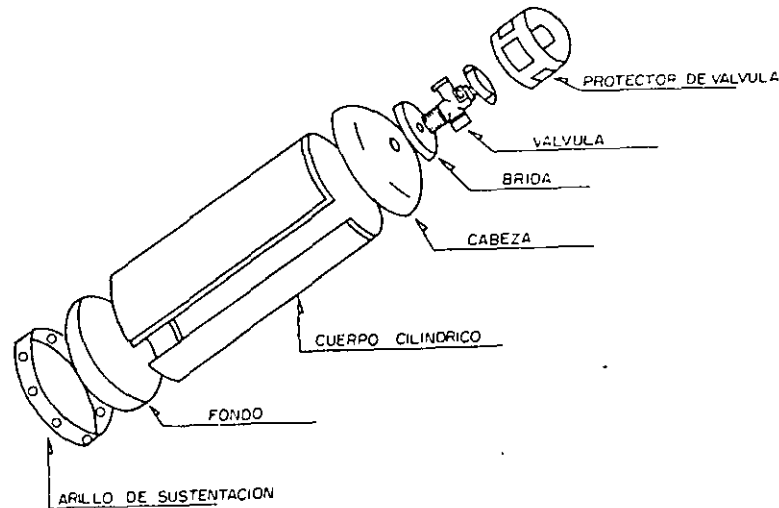
Inmediatamente se evapora, pasando del estado líquido al Gaseoso, sucediendo aquí el fenómeno Inverso al de la Licuefacción.

2.- ¿ Cómo se consume el Gas, L.P. ?

Se consume en forma de vapor en los quemadores de estufas, boilers, calefactores, etc. Este vapor se produce al abrir la válvula de cualquier quemador conectado a un cilindro o tanque ya que en ese momento tiende a bajar la presión en el recipiente. En ese momento hierve el líquido formando más vapor. Si el consumo de gas se prolonga también continúa hirviendo el líquido, tomando el calor necesario para ello del medio ambiente, a través de las paredes metálicas del cilindro.

De esta manera se consume el líquido, transformándose poco a poco en vapor hasta terminarse

C).- Partes que integran un cilindro:



D).- Construcción y pruebas de un cilindro:

Todas las partes arriba señaladas, como integrantes de un cilindro se soldan entre si con soldadura eléctrica y una vez formado el cilindro se le somete a tres pruebas

1.- TRATAMIENTO TERMICO:

Este tratamiento consiste en someter al cilindro a un calentamiento total a 600°C en un horno, para que se releven o desaparezcan los esfuerzos que se produjeron cuando se soldó la lámina y su resistencia sea uniforme en todos sus puntos.

2.- PRUEBA HIDROSTATICA:

Esta prueba se lleva a cabo con agua y consiste en llenar el cilindro con agua a una presión de 21 kg/Cm² con la finalidad de verificar que la resistencia de la lámina sea la conveniente y sea apto para almacenar gas L. P.

3.- PRUEBA NEUMATICA:

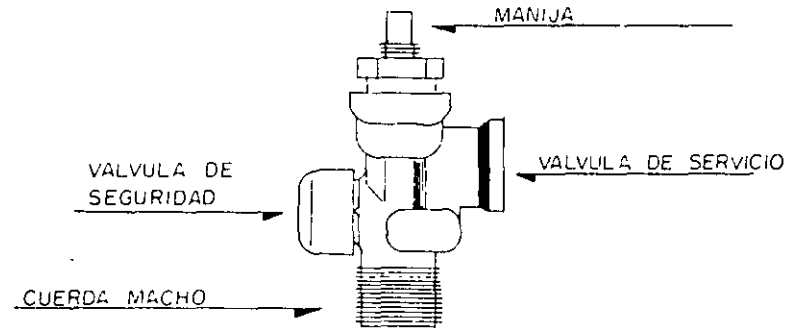
Esta prueba se verifica una vez que se ha probado hidráulicamente el cilindro y una vez que se le ha instalado la válvula. Consiste en llenar ahora el cilindro con aire a una presión de 7 Kg/Cm² y comprobar que no tiene fugas de presión por soldaduras o por la válvula

CONTROL Y SEGURIDAD DEL GAS, L. P. CONTENIDO EN CILINDRO:

El gas L. P. utilizado bajo control como combustible es el mejor servidor del hombre pero fuera de control significa destrucción y daños sobre las personas y cosas que pudieran estar cerca de él, en un momento dado. Es por ello que todo recipiente portátil está provisto de una válvula de control y seguridad, la cual es en sí un dispositivo mecánico para poder graduar o interrumpir el flujo de gas que se aplica en un momento dado a un aparato de consumo (por ejemplo: una estufa o boiler). También tiene integrada una válvula de seguridad.

Estas válvulas están diseñadas para trabajar e instalarse exclusivamente en la zona de vapor del recipiente

Su diseño y fabricación obedecen a una Norma. A continuación se ilustra el aspecto exterior de una válvula de Cilindro.



MAXIMO LLENADO DE UN CILINDRO O TANQUE PARA GAS:

Por norma y por seguridad ningún recipiente para almacenar gas L. P. debe ser llenado a más del 90% de su capacidad indicada en litros de agua. Esto es con el fin de disponer de una cámara vacía en la parte superior que permita dilatarse al gas cuando se calienta por el sol o por algún fuego y evitar que se sobrepresione el tanque. Esta cámara también sirve para que el gas líquido se vaporice y pueda ser utilizado

FUNCION DE LA VALVULA DE SEGURIDAD:

La válvula de seguridad consiste en un mecanismo sencillo formado por un tapón metálico presionado por un resorte que en conjunto "vigilan" una salida de emergencia, soportando una presión que no rebasa de 28 Kg/Cm². Cuando por alguna causa la presión interior del tanque en el que está instalada la válvula sobrepasa el valor indicado el tapón metálico de la válvula, es empujado por el exceso de presión permitiendo salir ese exceso de presión hasta que se reduzca a 28 Kg/Cm² o

momento en el cual el recipiente ha alcanzado el 90% de su capacidad en gas. Generalmente se encuentra integrada en la válvula de servicio.

PRIMER LLENADO DE UN TANQUE ESTACIONARIO:

- A). Por lo regular todos los recipientes cuando salen de la fábrica, contienen aire a presión el cual ha sido utilizado para verificar que los accesorios de control han sido colocados correctamente y que no presentan fugas en su lugar de montaje.

Además se verifica que las válvulas no presenten fugas también. Este mismo aire se puede utilizar para verificar también que no haya fugas en la nueva instalación. Antes de llenar el tanque con gas L. P. para efectuar el primer llenado, es necesario *Purgar* el aire que contiene en su interior y esto se logra abriendo la válvula de servicio, hasta no escuchar ya la salida de presión. Cuando esto sucede el tanque ya está listo para ser llenado con gas L. P.

Cuando se va llenando el recipiente; el aire que quedó todavía encerrado en su interior se va comprimiendo en la parte superior junto con el vapor de gas. Como esto es inconveniente para los aparatos de consumo se tiene que efectuar una * Segunda Purga * de esta mezcla aire-gas hasta constatar que lo que sale del tanque, es puro gas para efectuar esta purga en el lugar donde se encuentre instalado el tanque, es preciso cerciorarse de que no hay flamas de algún piloto o quemador o alguna lumbre cercana que pudiera provocar un * flamazo * de malas consecuencias y que ese lugar esté bien ventilado.

Al efectuar esta Segunda Purga debe abrirse la válvula en pequeños intervalos de tiempo para evitar acumulaciones de la mezcla gas-aire que se está purgando ya que es inflamable y puede significar un riesgo de explosión.

B) SOBRELLENADO DE LOS TANQUES:

Al llenar un tanque es indispensable que el ayudante del repartidor esté pendiente de no sobrepasar el límite máximo permitido del llenado, que es de 90%. Si por error se sobrellena un tanque, tendremos el problema inminente de que al aumentar la temperatura ambiente, se abrirá la válvula de seguridad y se producirá un escape muy ruidoso de gas, que además de alarmar al usuario, pondrá en peligro de incendio o explosión el lugar al que da servicio dicho tanque.

Si el sobrellenado se ha hecho, lo que debe hacerse es retirar el exceso de líquido del tanque, lo cual debe hacerse traspasando gas a otro recipiente vacío con una manguera especial que los interconecte.

Este trabajo debe realizarlo personal capacitado, quien con las debidas precauciones retire el peligro del lugar y deje funcionando todo normalmente.



6. PLANTAS DE ALMACENAMIENTO

DEFINICION Y GENERALIDADES.

- A) Se entenderá por plantas de almacenamiento; un sistema fijo y permanente para almacenar gas, L. P. que mediante instalaciones apropiadas haga el trasiego de éste utilizando recipientes adecuados.

Como es evidente, este trasiego o envasado del combustible se efectúa en zonas específicas y apropiadamente delimitadas de la planta, siendo esta la operación más importante pero no la única que tiene lugar dentro de ella. La distribución de esta zona así como aquellas en las cuales tiene lugar el resto de las operaciones, integran la *ESTRUCTURA DE LA PLANTA*.

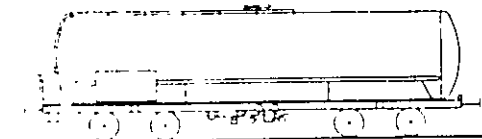
En general, todas las plantas de almacenamiento realizan las operaciones que a continuación se enumeran:

- 1 - Descarga de carros de ferrocarril.
- 2 - Descarga de transportes
- 3 - Llenado de cilindros portátiles.
- 4 - Llenado de auto-tanque
- 5 - Eliminación de residuos.

Estas operaciones se realizan en zonas específicas y apropiadamente delimitadas de la planta, en general las plantas de almacenamiento cuentan con las siguientes zonas.

- 1 - De recepción
- 2 - De almacenamiento
- 3 - De llenado
 - a) recipientes portátiles
 - b) autos - tanques
- 4 - De estacionamiento y maniobras
- 5 - De mantenimiento a vehículos
- 6 - De administración de plantas
- 7 - De servicios sanitarios
- 8 - De control o eliminación de residuos.

A continuación haremos una breve descripción de las operaciones y configuraciones, en lo general de ellas, así como de los servicios que prestan en relación con la operación total de la planta.



| | |
|------------|----------------------|
| Rojo | — Gas Líquido |
| Amarillo | — Vapor |
| Verde | — Retorno de líquido |
| Azul Claro | — Agua |
| Plateado | — Aire comprimido |
| Negro | — Electricidad |

6. APARATOS DE CONSUMO

A) GENERALIDADES SOBRE LA COMBUSTION

La combustión es la combinación rápida del oxígeno con un combustible, con desprendimientos de calor, luz y flama.

Ejemplo: Un cerillo encendido

Los combustibles sólidos y los líquidos no sujetos a presión se combustionan, esto es, se queman libremente sin necesidad de un quemador especial y toman el oxígeno que necesitan del aire que los rodea. Pero los combustibles gaseosos, los cuales si están sujetos a presión si se dejan escapar del tanque que los contiene, se evaporan y se mezclan con el aire formando una mezcla explosiva, la cual se podrá quemar violentamente y sin control. Una combustión de éste tipo no es aprovechable de ninguna manera.

Es por eso que para aprovechar totalmente el calor y la luz de los gases se han diseñado unos aparatos especiales para desarrollar la combustión controladamente, denominados QUEMADORES.

B) ¿ COMO ES Y COMO FUNCIONA UN QUEMADOR DE GAS, L. P. ?

Los quemadores más usuales en la práctica son de dos clases:

- De uso doméstico.-
- De uso industrial.-

Los primeros son pequeños, de bajo consumo, de baja presión y brindan poco calor. Su construcción se hace con materiales ligeros como lámina o Aluminio.

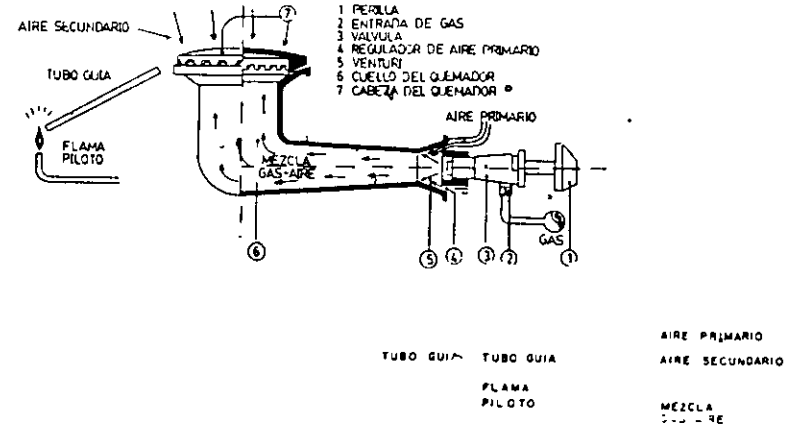
Los industriales por lo contrario son de mayores dimensiones, tienen un consumo alto de gas, operan a altas presiones y proporcionan mayores cantidades de calor. Su construcción es robusta generalmente de fierro vaciado.

El principio en que se basa su funcionamiento es el mismo para ambos sólo que en los quemadores industriales es aún más complejo su desarrollo.

DESCRIPCION Y FUNCIONAMIENTO DE UN QUEMADOR:

Al girar la perilla se abre la válvula. El gas pasa por la esprea (pequeño orificio que regula el paso de gas, aún con toda la llave abierta) y con la presión que lleva, se introduce al interior del venturi; al hacer esto, absorbe (arrastra) una cantidad de aire a través de los agujeros de la parte anterior de la tobera; a esa cantidad de aire se le denomina * AIRE PRIMARIO * porque es la primera cantidad de aire que se necesita para la combustión.

1 PERILLA
2 ENTRADA DE GAS
3 VÁLVULA
4 AJUSTE DE AIRE PRIMARIO
5 VENTURI
6 CUELLO DE QUEMADOR
7 CABEZA DE QUEMADOR



Al pasar por el VENTURI la mezcla Gas-Aire adquiere cierta velocidad que obligará a buscar una salida, que será a través de los orificios de la parte superior de la cabeza del quemador. Si previamente se ha acercado una flama de cerillo frente a los orificios, la mezcla se encenderá y al hacerlo, se utilizará una cantidad adicional de aire que tomará del ambiente cerca de esos orificios. A esa cantidad de aire se le denomina * AIRE SECUNDARIO *

Si el quemador está equipado con piloto, la ignición de la mezcla seguirá este proceso

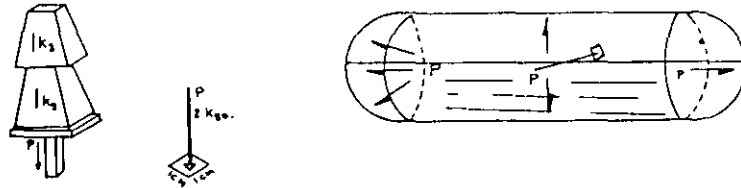
Al salir la mezcla por los orificios de la cabeza del quemador, por ser los vapores del gas más pesados que el aire tenderán a bajar introduciéndose por el tubo guía que conduce hasta la flama del piloto produciéndose así un pequeño "flamazo de retroceso" hacia el quemador que lo encenderá

C) AJUSTE DE LA FLAMA DEL QUEMADOR

La eficiencia de un quemador dependen de un equilibrio adecuado de la mezcla combustible, lo que se logra dejando pasar la cantidad precisa de aire en relación con la cantidad de gas que la esprea suministra. Para ello debe ajustarse la *tapa* de la Tobera que tiene unos agujeritos coincidentes con la base de la misma tobera, al hacer coincidir exactamente los agujeros, se permitirá un paso de mayor cantidad de aire. Si esta cantidad de aire fuera excesiva, se observará que al salir por los orificios las flamas tienden a *volarse* o a despegarse de los orificios, deberá entonces irse cerrando la tapa de la tobera obstruyendo los agujeros de la entrada del aire hasta lograr que las flamas se estabilicen.

Los fluidos en general ejercen una fuerza o presión sobre las paredes de los recipientes que los contienen debido a su peso o la presión propia de cada gas en particular.

Para medir la presión se considera la fuerza aplicada a una superficie determinada. Por eso cuando se dice que una presión es de 2 Kg/Cm² equivale a decir que es un peso de 2 Kg. apoyado en una superficie de 1 Cm².



EJEMPLOS DE PRESIONES ACTUANDO SOBRE UNA SUPERFICIE.-

C) REGULADORES DE PRESION:

Un regulador es un dispositivo de control de presión que opera automáticamente recibiendo una elevada presión de 7 a 12 Kg/Cm² y entrega una baja presión de 28 Gr/Cm² (que es la presión de consumo en estufas y boilers).

Es un elemento importante en toda instalación de aprovechamiento de gas. Porque los aparatos de consumo están diseñados para trabajar a la presión señalada en el propio regulador. Por ejemplo 27.94 Gr/Cm² no puede ser omitido en una instalación.

EXISTEN DOS CLASES DE REGULADORES DE PRESION:

1.- DE ALTA PRESION.

Son aquellos que reciben una alta presión. Ejem.: 9 Kg/Cm² y entregan una menor alta presión, no mayor de 1.5 Kg/cm², normalmente es para usos industriales.

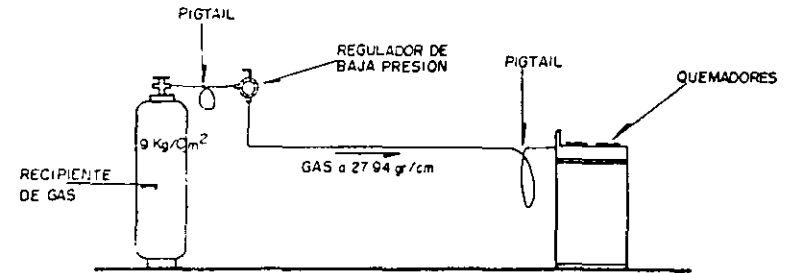
2.- DE BAJA PRESION.

Son aquellos que reciben una alta o una menor alta presión y siempre entregan una baja presión de 27.94 Gr/Cm². Normalmente se aplica a usos Domésticos.

D) INSTALACION ELEMENTAL DE APROVECHAMIENTO PARA USO DOMESTICO:

Una instalación doméstica elemental quedaría integrada como sigue:

- 1.- FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE GAS.
- 2.- PICTEL.
- 3.- REGULADOR DE PRESION.
- 4.- TUBERIAS DE CONDUCCION
- 5.- VALVULA DE PASO.
- 6.- APARATOS DE CONSUMO.
- 7.- RIZOS DE COBRE.



INSTALACION DOMESTICA DE APROVECHAMIENTO DE GAS, L.P. COMO COMBUSTIBLE.-

TUBERIAS.-

En todo tipo de instalaciones para manejar fluidos (líquidos y gases) se utilizan tuberías metálicas de dos clases: de FIERRO ROSCADO o SOLDABLE y de COBRE FLEXIBLE o SOLDABLE.

Aunque en la actualidad también se está utilizando tubería de plástico PUC. La tubería de Fierro puede ser de dos tipos: Cédula 40 y Cédula 80 diferenciándose entre sí en el espesor de la pared del tubo. El tubo Cédula 40 es como el tubo galvanizado que se usa en instalaciones de agua y el de Cédula 80 es el doble de gruesa la pared tubular y se usa en las instalaciones de plantas de almacenamiento

Toda tubería se fabrica en tramos de 6.40 mts. de largo y en gran variedad de diámetros y para acoplarlos se utilizan una gran variedad de conexiones.

CONEXIONES:

Las conexiones son piezas de unión que permiten acoplar tuberías y dispositivos de control (las válvulas y reguladores), tuberías y aparatos de consumo (los quemadores industriales, las estufas, los boilers, etc.) Entre las de mayor uso se encuentran las siguientes:

Entre los extinguidores más utilizados se encuentran los siguientes:

| TIPO DE EXTINGUIDOR: | PRINCIPIO DE OPERACION | CLASE DE FUEGO QUE COMBATE. |
|--|--|--|
| 1.- DE AGUA | Es el medio más antiguo que se conoce para combatir el fuego al enfriar el combustible, suprime el elevado calor que propicia la combustión. Su uso queda casi limitado a los fuegos clase "A". | Solamente "A". Aunque sirve de ayuda al combatir algunos fuegos clase "B". |
| 2.- DE ESPUMA | Es un extinguidor que produce espuma química, por reacción de dos sustancias que contiene. Al descolgar el extinguidor se invierte su posición y se genera en ese momento la espuma y la presión necesaria para expulsar aquella. Su efecto sobre el fuego es aislarlo del aire circundante para que no se continúe alimentando la combustión con más oxígeno y se extinga la flama. | Clase "A" Clase "B" |
| 3.- DE POLVO QUIMICO SECO, TIPO "A, B, C". | Es el más moderno de los extinguidores que opera a base de un polvo especial muy fino que es lanzado en forma de nube sobre el fuego aisándolo del aire circundante al mismo tiempo que consume oxígeno del mismo, terminando así con la flama. Es el más versátil de los extinguidores porque es capaz de extinguir fuegos Clase "A, B, C". | Clase "A" Clase "B" Clase "C" |

D) MANGUERAS CONTRA INCENDIO.

Las mangueras de agua contra incendio para fuegos de gas, L. P. deben utilizarse, cuando se apliquen a los tanques, en forma de niebla o brisa, que permite una mejor distribución del agua para enfriar rápidamente los recipientes

Debe de usarse chorro directo de mangueras grandes sobre un tanque que haya sido calentado por exposición al fuego, sólo después de haberlo enfriado en forma general mediante aspersión fina de agua.

El agua en forma de brisa debe ser aplicada a la parte superior de los tanques para enfriar la zona de vapor y debe ser aplicada tan pronto como sea posible a partir del momento en que se inicia el incendio.

PRACTICAS DE COMBATE DEL FUEGO:

Cuando un conato de incendio se ha detectado antes de combatirlo, dé la alarma y pida ayuda, para que otras personas tomen medidas preventivas contra la extensión del fuego y posibles daños a personas o a los materiales próximos.

El motivo de pedir ayuda es que cuando menos haya dos o tres personas presentes disponibles para el manejo del equipo contra el incendio (extinguidores o hidrantes) y también se puedan auxiliar en caso de intoxicación, quemaduras o golpes.

Esperando que lo anterior pueda cumplirse, maneje el equipo contra incendio (extinguidores o manguera de agua a presión) de acuerdo a las siguientes indicaciones:

- A.- Ataque el fuego en la dirección del viento.
- B.- Al combatir el fuego, dirija el chorro del elemento extintor primeramente a la base y luego continúe oscilando hacia los lados la "nube" al mismo tiempo que se va levantando cada vez como si se "barriera" el fuego hacia arriba.

Sin embargo al combatir fuegos de derrames de combustibles líquidos comience por arriba y extinga hacia abajo.
- C.- Siempre use varios extintores al mismo tiempo preferiblemente que a usar uno a uno
- D.- Cuidese de la reiniciación del fuego. Ataque de frente al fuego y esté seguro de que lo ha apagado totalmente
- E.- Prevea la posibilidad de poder abandonar el lugar del siniestro con facilidad en caso de sentirse afectado por el humo o en caso de no haber podido sofocar el fuego para no quedar atrapado por el mismo

10. DISTRIBUCION DEL GAS, L. P.:

A - ENTREGA DE GAS EN CILINDROS

Así como hay medios de transporte adecuados para llevar agua, petróleo, madera, etc., etc., hay medios especiales para transportar el gas, L. P., desde las plantas de almacenamiento hasta el usuario que lo recibe en su casa.

REGLAS DE SEGURIDAD EN LAS ENTREGAS DE GAS SERVICIO EN AUTOTANQUE

" Entrenamiento y eficiencia del Repartidor "

El operar un camión-tanque no es tan solo el saberlo manejar y es tan importante o mas, que cualquier otros servicio. Se necesita una persona inteligente, mentalmente estable y experta y suficientemente preparada para manejar adecuadamente un autotanque, por lo mismo, se debe conocer cómo manejarlo y cómo deben hacerse las instalaciones de manera que brinden seguridad y también conocer las características y la capacidad de todos los tipos de recipientes

La mejor forma de adquirir todos estos conocimientos, es a través de la experiencia. Los operadores deberán tener experiencia también dentro de la Planta, de manera que sepan cómo deben llenarse sus autotanques en forma adecuada.

Una persona que llene bien estos requisitos con sólo un período corto de instrucción en el autotanque, podrá manejarlo con toda seguridad, y sabrá también cómo hacer frente a emergencias, por su familiaridad con el autotanque, con el producto y con las instalaciones de clientes a los cuales se hagan entregas.

A continuación redactamos algunas reglas importantes para la operación adecuada de autotanques:

1o.— Usar bloques de madera para estacionamiento en toda ocasión en que se estacione un autotanque, ya sea para hacer entregas o para cualquier otro servicio.

2o.— Conservarse siempre en posición de poder ver el autotanque en todas las ocasiones. Esto permite que el chofer vigile adecuadamente la descarga y no permita que ningún extraño intervenga en la maniobra. No importa que el operador se sienta suficientemente seguro de su trabajo para retirarse de su vehículo.

3o.— Revisar diariamente todas sus mangueras y demás equipo del autotanque y reportarlas si es que no están en buen estado.

4o.— Concentrarse en su trabajo en todas las ocasiones y no distraerse en comentarios con otras personas, ni con el cliente mismo, al cual se le puede perder cortesmente que le espere un momento mientras termina la maniobra de carga.

5o.— Saber cómo deben manejarse los tanque sobre: llenados; esto no debería suceder nunca, pero cuando se presente el caso, el operador debe estar preparado y saber lo que debe hacer.

6o.— Seguir religiosamente la rutina de dar vueltas al autotanque antes de arrancar.

Los camiones-tanques, entran frecuentemente en calles angostas y a veces, en callejones sin salida, y puede haber niños cerca del camión. Si le da vuelta completa al autotanque, además de asegurarse de que no hay ninguna manguera conectada, tendrá la certeza de si hay o no, bicicletas, carritos o niños que se hayan acercado después que el se estacionó.

7o.— Tener especiales precauciones en las cercanías de escuelas y lugares donde se reúne el público. Los autotanques no deben estacionarse en grupos sobre carreteras o en cercanías de restaurantes.

8o.— Al entrar al terreno del cliente, tener presente la altura del vehículo para evitar romper o desconectar alambres eléctricos o telefónicos o dañar partes que sobresalgan de la casa

9o.— En caso de que se presente cualquier fuga de gas, debe conocer cuales son las medidas que hay que tomar de inmediato para suprimirla, y reducir la posibilidad de incendios y daños.

10o.— Tener cuidado de mantener informada a la Oficina de las condiciones peligrosas que observe en el autotanque o en las instalaciones de los clientes. En la primera entrega a un nuevo cliente el chofer debe revisar que el equipo esté localizado adecuadamente, en las entregas posteriores, debe verificar que continúen esas condiciones (en algunas ocasiones el cliente construye una adición a su casa, de manera que una buena localización se convierte en mala).

Debe además reportar otras condiciones que puedan dar lugar a riesgos, tales como un tanque localizado demasiado cerca de aberturas en la casa, aún cuando se este cumpliendo con otros reglamentos de distancia. Los tanques en pasillos angostos y lugares similares pueden ocasionar problemas y el operador debe estar alerta para hacerlo resaltar.

11o.— Debe saber que es lo que hay que hacer en caso de una reparación de emergencia al autotanque. Si el tanque contiene líquido, cualquier servicio debe hacerse a la intemperie. Si es necesario trabajar en interiores, el líquido debe retirarse, la presión debe reducirse hasta 25 libras por pulgada cuadrada o menos, y todas las válvulas deben ser taponadas en forma adecuada.

12o.— Debe saber como manejar aquellas situaciones en que el flujo de gas a los aparatos del cliente haya sido interrumpido, tales como cuando esté atendiendo una entrega de un cliente que se quedó sin gas e incluyendo cómo y cuando debe llevar a cabo una prueba de fugas.

Si tiene dudas respecto a cualquiera de estos 12 apartados, pregunte a su instructor hasta tener la certeza de su conocimiento.

" REVISIONES PERIODICAS "

1o — Deben probarse periódicamente las válvulas de relevo, de presión y las de exceso de flujo (estas últimas cuando menos cada año, y con más frecuencia cuando se trate de tanques nuevos, por el problema de las rebabas).

2o.— Revisense los filtros cada mes para asegurarse de que las tuberías no están ahogadas por estar tapados aquellos.

3o — Ténganse a la mano pijas de madera para usarse en emergencias. Una válvula o tubería rotas pueden ser selladas efectivamente con estos tapones.

4o — Es necesario llevar a cabo inspecciones y supervisión general de los autotanques cada mes, de acuerdo con su instructivo de mantenimiento, revisando también el estado de las mangueras, del medidor y en general, de todo el equipo especial con que esta dotado el autotanque, incluyendo los extinguidores y demás accesorios propios del vehículo.

5o — Mantenga un programa de reacondicionamiento del autotanque, para hacerlo llenar los requisitos del Reglamento de Gas, expedido por la S. I. de Industria y Comercio.



SITUACION DE PELIGRO EN FUGAS DE GAS, L. P.

A) PREVENCIÓN DE FUGAS DE GAS, L. P.

- 1.- Cerrar las válvulas o taponear tuberías para evitar que siga saliendo el gas.
- 2.- Evitar que se encienda.
- 3.- La lluvia de agua ayuda a disipar el vapor de gas rápidamente.
- 4.- En algunas ocasiones el tanque que está fugando puede ser retirado a un lugar donde no cause peligro, de preferencia debe llevarse el tanque de manera que escape vapor y no líquido.
- 5.- Cuando la fuga es en el tanque y no en las válvulas o tuberías, debe tratar de disminuirse la fuga o taponear. Puede utilizarse estopa mojada, que se congelará disminuyendo la fuga; si es pequeño poro, podrá recalcarse provisionalmente con un punzón de tipo adecuado.

B) FUGAS DE GAS ENCENDIDAS

- 1.- Un fuego de gas no debe apagarse a menos que inmediatamente se pueda cerrar o taponear la fuga.
- 2.- Deben aplicarse cantidades de agua a las superficies de los tanques que estén expuestos al calor especialmente la parte de arriba para enfriar la lámina y evitar así que pierda su resistencia. El agua debe aplicarse en forma de brisa, riego de aspersion y luego en forma de chorro directo.
- 3.- Consultar al personal que conoce el equipo si es posible cerrar alguna válvula para evitar que siga escapando gas.
- 4.- Los extinguidores de polvo químico tipo BC ó ABC, o los de CO₂, son utilizables para apagar pequeños incendios, siendo los primeros los más convenientes. El polvo o el CO₂, debe dirigirse a la parte baja de la flama.
- 5.- Si la única válvula que puede controlar el paso del gas está incendiada, puede considerarse la posibilidad de que los bomberos o el personal adiestrado se acerquen a cerrarla protegidos por brisa de agua y ropa adecuada.
- 6.- Se considera aceptable que un incendio de gas controlado o sea que no puede extenderse a otros tanques, se deje encendido hasta que se consuma el gas.

SIEMPRE DEBEN ENFRIARSE LOS TANQUES QUE ESTEN EXPUESTOS AL FUEGO.

- 7.- Cuando no hay agua suficiente para enfriar los tanques, se notará un aumento de presión que aumentará el volumen de fuego o de nivel de ruido y es la señal para retirar todo el personal a un área más segura.
- 8.- Hacer agujeros en un tanque que está en fuego es lo más peligroso que se puede hacer.
- 9.- Un tanque que está encendido no debe ser movido.

- 10.- Si abre la válvula de seguridad del tanque y se prende el gas este fuego no debe extinguirse, hasta que se apague solo.
- 11.- Los cilindros portátiles de gas que estén expuestos al calor del fuego deben moverse con toda precaución a un lugar retirado.

PRECAUCIONES BASICAS PARA EL COMBATE DEL FUEGO.

- A) Siempre acérquese al fuego o la fuga de gas a favor del viento.
- B) Todas las personas que no tengan nada que ver para combatir el fuego o reparar la fuga, deben retirarse de la nube de vapor o de la zona de fuego.
- C) Si todavía no se declara el fuego, elimine las fuentes de ignición, como pueden ser los interruptores generales de corriente eléctrica, si están lejos de la fuga; si están muy cerca de donde está la fuga nunca deberán ser removidas; el que está puesto debe quedar puesto y el apagado, apagado.
- D) Vigile que la gente no se acerque exceptuando aquellas que estén trabajando para resolver la situación

COMENTARIOS GENERALES SOBRE PREVENCIÓN DE ACCIDENTES DE GAS, L. P.

Casi absolutamente todos los accidentes de gas, L. P. pueden evitarse, si el equipo ha sido escogido adecuadamente, con mantenimiento adecuado y manejado por personas adiestradas

LOS MEJORES METODOS PARA EVITAR ACCIDENTES SON LOS SIGUIENTES

- A) Buena tecnica buen diseño y buenos productos.
- B) Escoger correctamente y con conocimientos técnicos el equipo que debe utilizarse para cualquier trabajo
- C) Instalacion correcta de los equipos escogidos, el mejor equipo puede fallar si está colocado en un lugar malo o peligroso.
- D) Mantenimiento adecuado, así como un camión necesita lubricación cambio de aceite y aire en las llantas todo equipo de gas necesita ser revisado periódicamente
- E) Limpieza, recuerde usted que la grasa, papeles viejos, pasto seco y mugre en general puede ser motivo de incendio.
- F) Adiestramiento adecuado del personal, el conocer lo que maneja y como debe manejarse es el mejor seguro.
- G) Hacer del conocimiento del usuario, si vé una instalacion defectuosa o peligrosa debe avisársele inmediatamente al cliente y a la planta

LAS SEIS REGLAS DE SEGURIDAD

- 1.- Retire toda la gente de la zona de peligro.
- 2.- Detenga o disminuya la fuga.

- 4.- Cuando estén localizados en patios, jardines o sitios similares, se requerirá un área de 9 0 m2 como mínimo para cada equipo
- 5.- El sitio escogido contará con ventilación permanente, que permita la mayor rapidez en la dilución del escape de gas.
- 6.- Los recipientes portátiles se podrán instalar debajo de escaleras cuando éstas sean exteriores

C) REGLAS PARA LA LOCALIZACION DE RECIPIENTES EN INSTALACIONES CON TANQUE ESTACIONARIO.

Se tomara en cuenta lo indicado en las reglas generales y ademas las siguientes:

- 1.- En los edificios de departamentos se colocaran en las azoteas
- 2.- En las casas habitación se instalarán en el sitio que ofrezca las mejores condiciones de ventilación y se escogerá ese sitio precisamente en el siguiente orden de preferencia.
 - a) Azoteas planas con una inclinación no mayor de 5 grados, que tengan escalera permanente.
 - b) Patios o jardines que den a la calle
 - c) Otros patios o jardines
 - d) Terrazas y otros sitios similares.
- 3.- Si se instalan en jardines o patios que den a la calle, debera contarse con puertas o ventilas que permitan la ventilación permanente y con protección contra vehículos que se muevan en áreas próximas al tanque.
- 4.- Se prohíbe colocar recipientes en cubos de luz y azotehuelas, cuya área esté o pueda quedar circundada por construcciones de altura mayor de 5 metros y/o con superficie menor de 25 m2 y sitios similares en que puedan acumularse escapes de gas. Si todas las construcciones que circundan el area son de altura menor de 5 metros y/o si su superficie es mayor de 25 m2, se podrá instalar un recipiente cuya capacidad no exceda 340 Lts.
- 5.- No se permitirá la colocacion de tanques fijos en marquesinas
- 6.- La localizacion de tanques fijos de tipo intemperie colocados en azoteas debera permitir el acceso libre y permanente entre ellos, sin que impliquen maniobras arriesgadas para llegar al sitio de emplazamiento.
- 7.- Los tanques tipo intemperie se podran colocar sobre estructuras o plataformas hechas ex-profeso, debidamente sustentados y sujetos.
- 8.- Los tanques tipo intemperie no podrán instalarse en forma subterránea !
- 9.- La instalacion que conste de varios tanques fijos debera tener espacios libres y seguros para su operación; una distancia mínima de 1 m. entre tanques de capacidad hasta de 1000 Lts. y 1.5 m, entre los de capacidades mayores.

TABLA DE EQUIVALENCIAS DE PESOS Y MEDIDAS DE GAS LICUADO DE PETROLEO (BUTANO - PROPANO)

| | |
|----------------------|--------------------------|
| 1 Litro | 0.560 Kgs. |
| 1 Litro | 9.672 p ³ |
| 1 Litro | 6364 Calorías |
| 1 Litro | 25254 B. T. U. |
| 1 Litro | 0.264 Galones |
| 1 Galón | 3.7854 Litros |
| 1 Galón | 2.12 Kgs. |
| 1 Kilo | 0.472 Galones |
| 1 Kilo | 0.4889 Mts. ³ |
| 1 Kilo | 17.266 p ³ |
| 1 Kilo | 11365 Calorías |
| 1 Kilo | 45099 B. T. U. |
| 1 Kilo | 1.785 Litros |
| 1 Metro ³ | 35.3165 p ³ |
| 1 Metro ³ | 2.0454 Kgs. gas |
| 1 Metro ³ | 23246 Calorías |
| 1 Metro ³ | 92247 B. T. U |
| 1 Pie ³ | 0.053 Kgs. |
| 1 Pie ³ | 0.0910 Litros |
| 1 Pie ³ | 658 Calorías |
| 1 Pie ³ | 2611 B. T. U. |



TECNICAS DE IDENTIFICACION DE RIESGOS.

- IDENTIFICACION.
- SUCESO INICIADOR.(ELEMENTOS DEL ACCIDENTE),
- LA IDENTIFICACION Y CARACTERIZACION DE RIESGOS PUEDE Y DEBE REALIZARSE DURANTE TODA LA VIDA DE LA INSTALACION.

METODOS DE IDENTIFICACION DE RIESGOS.

- **METODOS COMPARATIVOS.**
- ⇒ CODIGOS
- ⇒ LISTAS DE COMPROBACION (CHECKLIST)
- ⇒ ANALISIS HISTORICOS DE ACCIDENTES
- **INDICES DE RIESGO**
- ⇒ INDICE DOW
- ⇒ DOW-MON
- **METODOS GENERALIZADOS**
- ⇒ HAZOP
- ⇒ FMEA
- ⇒ FTA
- ⇒ ETA
- ⇒ WHAT IF

IDENTIFICACION DE RIESGOS.

- IDENTIFICAN LOS RIESGOS POTENCIALES EN UN SISTEMA.
- IDENTIFICAN MEDIDAS PARA:
- * ELIMINAR O REDUCIR ESOS RIESGOS.
- HACEN AL SISTEMA SEGURO.

PORQUE REVISION DE RIESGOS.

- FUEGOS
- EXPLOSIONES
- LIBERACIONES TOXICAS
- LESIONES PERSONALES/FATALES
- DAÑOS AMBIENTALES
- DAÑOS A EQUIPO
- INTERRUPCION DE NEGOCIOS
- PERDIDAS DE MATERIA PRIMA
- PERDIDA DE PRODUCTOS
- TRABAJOS
- IMAGEN PUBLICA
- REGULACIONES

METODOS COMUNES DE REVISION DE RIESGOS.

- LISTAS DE VERIFICACION
- REVISIONES DE SEGURIDAD
- ANALISIS PRELIMINAR DE RIESGOS
- QUE PASA SI
- HAZOP
- FMEA
- FTA
- ETA
- QRA

ANALISIS PRELIMINAR DE RIESGOS(PHA).

- IDENTIFICA LOS RIESGOS DE UNA INSTALACION INDUSTRIAL, CAUSAS.

- **EVALUA LA SEVERIDAD DE LAS CONSECUENCIAS DE SITUACIONES PELIGROSAS Y POTENCIAL DE ACCIDENTES.**

- **SE DIRIGE A ASPECTOS DE SEGURIDAD DE PLANTAS.
ANALISIS PRELIMINAR DE RIESGOS(PHA).**

ANALISI PRELIMINAR DE RIESGOS (PHA).

- **ESTABLECE CRITERIOS DE SEGURIDAD EN EL DISEÑO.**
- **DESIGNA CONCEPTOS SOBRE EL PAPEL (PFDs).**
- **REVISA:**
 - * SISTEMAS
 - * EQUIPO EN GENERAL
 - * RIESGOS INHERENTES
 - * ATRIBUTOS DE SISTEMAS
 - * INTERACCIONES ENTRE SISTEMAS
 - * NECESIDADES DE PROTECCION

LISTAS DE VERIFICACION

- Es derivada de la experiencia, basada en operaciones similares y sugiere área o puntos de interés.
- Consiste en una lista de preguntas relacionadas con las operaciones de procesos, mantenimiento, e instalaciones preparadas previamente.
- El propósito es mejorar la confiabilidad de que no se han olvidado aspectos importantes durante el desarrollo de un proyecto enfocados a la seguridad.

LISTAS DE VERIFICACION

- Cumplimiento de estándares, códigos, y normas cuyo **NO** cumplimiento puede provocar una situación riesgosa.

LISTAS DE VERIFICACION

- Representa el más simple método de análisis de riesgos.

LISTAS DE VERIFICACION

- **VENTAJAS Y DESVENTAJAS.**
- Método muy simple.
- A formulación de la lista requiere de personal experimentado, su aplicación requiere de personal no muy experimentado.
- Provee una simple documentación del status de una actividad-operación-instalación pero no prioriza aspectos inaceptables.
- No identifica peligros como resultado de interdependencias o interacciones entre procesos o procedimientos.

LISTAS DE VERIFICACION

- Tiende a limitar el enfoque a atributos inmediatos y restringe al personal en el uso de su imaginación o intuición para identificar áreas con peligro potencial.
- Su principal desventaja es que es tan bueno como la experiencia previa de sus preparadores.

LISTAS DE VERIFICACION

- Metodología.
- **MEDIO DE VERIFICACION (ANTEPROYECTO,EL DISEÑO LOS PLANOS,ETC.)**
- **BASADA EN:**

- * LA EXPERIENCIA PREVIA DEL DEL PREPARADOR DE LA LISTA.
- * ESTANDARES
- * CODIGOS
- * REGULACIONES
- * PRACTICAS INDUSTRIALES
- * TECNOLOGIA DEL KNOW-HOW

LISTAS DE VERIFICACION

- PARA GENERAR UNA BUENA LISTA DE VERIFICACION, EL PREPARADOR DEBE RECONOCER LA NECESIDAD DEL EXPERTIZE EN AREAS.

LISTAS DE VERIFICACION

- DEBERA EMPEZAR CON:
 - BREVE SUMARIO DE LOS OBJETIVOS.
 - LA FRECUENCIA RECOMENDADA DE SU IMPLANTACION.
 - NUMERO Y CUALIDADES DEL PERSONAL QUE APLICARA LA LISTA DE VERIFICACION.

LISTAS DE VERIFICACION

- DOCUMENTACION SOPORTE.
- OPERACIONES EN PLANTA
- DISEÑO DE PLANTA.
- IMPLEMENTACION.
- RESULTADOS.

LISTAS DE VERIFICACION

- EJEMPLO

Para poder residir sobre un riesgo es o no aceptable , se requiere estimar de alguna forma su magnitud, lo que implica un análisis previo.

Analizar riesgos significa desarrollar una estimación cuantitativa del nivel del peligro potencial de una actividad, referido a tanto a personas como a bienes materiales , en términos de la magnitud del año y de la probabilidad de que tenga lugar.

Los resultados de los análisis de riesgo se utilizan para la toma de decisiones, ya sea mediante la jerarquización de las estrategias de reducción de riesgos o mediante la comparación con los niveles de riesgos fijados como objetivo en una determinada actividad.

El análisis de riesgo nos permite priorizar las inversiones en seguridad, distribuyendo la financiación disponible de la manera más eficaz.

RIESGOS

La aparición de las primeras metodologías para el análisis de riesgos en operaciones industriales, tienen su origen entre 1910 y 1920.

A través de esta metodología se definen las causas básicas que produjeron el accidente y se establecen las medidas correctivas y preventivas, las cuales son aplicadas para modificar instalaciones, con el fin de evitar la reincidencia de los eventos.

La segunda metodología desarrollada e implantada fue *inspecciones planeadas y no planeadas* a través de la cual se pretende identificar desviaciones de las medidas de control a implantar para eliminar o reducir riesgos . esta metodología se complementa mediante el uso de *listas de verificación*, lo cual facilita su aplicación.

La metodología "*what if*" comenzó a utilizarse frecuentemente por estos grupos de revisión, los cuales, en bases a sus conocimientos y experiencia aplican la pregunta *¿qué pasa sí?* a cada paso del proceso, determinando los efectos de las fallas o los errores de operación.

A principios de los 60's, se desarrollo la metodología conocida como *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*, la cual es la simple formalización de la metodología "*What if*".

En 1962 se desarrollo la metodología "Fault Tree analysis", la cual consiste en el análisis y cuantificación de un diagrama lógico, el cual identifica la secuencia de todos los eventos que pueden dar como resultado una falla específica (fuego, explosión, derrame, etc.)

Durante la década de los 60's fue creada otra metodología para el análisis de riesgos en la división Mond de ICI, esta metodología se le conoce como Hazard and Operativity Studies (HAZOP).

En mayo de 1985, la Chemical Manufacturers Association (CMA) integró un grupo especial de trabajo para tratar de dar a conocer a sus asociados las metodologías existentes en el mercado para el análisis de riesgos.

Antes de aplicar un método en particular, se deberán analizar sus ventajas y desventajas, preguntándose invariablemente si nos dará las respuestas esperadas, en función de profundidad, costo y aplicabilidad de resultados.

Una de las metodologías más utilizadas es Fault Tree Analysis, pero tiene desventajas importantes: es difícil de mantener actualizado el estudio, es común que se presenten muchos errores por su complejidad, cambios menores en las instalaciones invalidan sus resultados y normalmente el costo de su aplicación es muy alto por los recursos que se requieren para realizarlo.

Las metodologías Dow Index y ICI Mond Index han resultado prácticas en su aplicación para evaluación de riesgos, con la limitante de ser orientada a riesgos muy particulares (fuego, explosión y toxicidad).

En la aplicación de cualquier metodología, se tendrá que partir de las siguientes premisas:

1. Administración competente de las unidades operativas
 2. Operación y mantenimiento de las industrias de acuerdo al diseño y tecnología utilizada.
 3. Sistemas de Protección de alta confiabilidad.
- * Probados regularmente, y en caso necesario, reparados y puestos en operación tan pronto como sea posible.

El Peligro es la propiedad inherente de un agente químico, biológico o físico en una serie de condiciones. El Riesgo, por otra parte, es una función de probabilidad y consecuencia.

La OSHA (Occupational Safety and Health Administration), presenta la siguiente definición: "Riesgo es una medida de la probabilidad y severidad de daño a la salud humana y propiedades"

$$R = P \times C$$

Donde: R = Riesgo
P = Probabilidad
C = Consecuencia

La consecuencia se entiende como la totalidad de las pérdidas que pueden producirse en caso de presentarse el riesgo, valoradas en dinero. Por lo que se

desprende que los riesgos tiene dos componentes importantes: la probabilidad de ocurrencia y las consecuencias resultantes.

De tal manera que los riesgos pueden ser:

- 1. De alta probabilidad y de consecuencias menores**
- 2. De baja probabilidad y de consecuencias mayores.**
- 3. De alta probabilidad y de consecuencias mayores.**
- 4. De baja probabilidad y de consecuencias menores.**

En general los elementos que dan origen a los riesgos presentes en una instalación de proceso industrial son los siguientes:

- Materias primas**
- Productos intermedios**
- Procesos**
- Productos terminados**
- Recursos humanos**
- Residuos peligrosos**
- Medio ambiente**

- 1. Naturaleza y cantidad de las sustancias manejadas, procesadas o almacenadas.**
- 2. Condiciones extremas de operación (básicamente temperatura y presión).**
- 3. Equipos y actividades desarrolladas para la correcta operación de los equipos y procesos existentes (riesgos operacionales).**

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

- ¿Existen riesgos reales y potenciales? si es así,**
- ¿Cuales son?**
- ¿De que magnitud son?**
- ¿Son aceptables? si no es así,**
- ¿Como se pueden eliminar o reducir?**

Este proceso requiere cubrir las siguientes etapas:

- ◆ 1a. Etapa Conocimiento**
- ◆ 2a. Etapa Identificación**
- ◆ 3a. Etapa Evaluación**
- ◆ 4a. Etapa Medidas Preventivas**

La base debe contener datos referidos a factores externos (topografía y uso del terreno circundante datos demográficos, datos meteorológicos, servicios externos, etc.), así como a factores de verosimilitud de incidentes (datos históricos de

accidentes datos de fiabilidad de instalaciones y componentes, registro de catástrofes naturales, etc.

El análisis de riesgo permite identificar las posibles causas iniciadoras de un accidente y los mecanismos de su desarrollo, evaluar sus consecuencias y estimar la probabilidad de que tenga lugar (verosimilitud).

ADMINISTRACIÓN DE SEGURIDAD DE PROCESOS

Plan de Administración de Riesgos Sugerido

PROCESO DE EVALUACIÓN DE RIESGOS

TIEMPO PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ARP

5.- HAZOP. Necesidades materiales y humanas.

Necesidades humanas

- El equipo HAZOP es multidisciplinario.
- Miembros del equipo (4-6)
- Ingeniería (expertos técnicos)
- Operación (experiencia práctica)
- Mantenimiento (conocimiento especializado y experiencia)

Necesidades humanas

- Inspección (conocimiento especializado y experiencia).
- Instrumentación (conocimiento especializado y experiencia).
- Seguridad (conocimiento especializado y experiencia).
- Ingeniero de diseño (procedente del grupo que diseñó el proceso).

Necesidades humanas

Secretario (escribano).

Líder del equipo:

- Que entienda la metodología HAZOP.
- Motive y dirija al equipo

Recursos Materiales Requeridos

- Preparación y requerimientos de información.

- Obtener la información necesaria.
- Planear la secuencia del estudio.
- Programar las sesiones HAZOP

Información necesaria

- Diagramas de flujo de proceso (DFP's).
- Diagramas de tubería e instrumentación (DTI's).
- Diagramas lógicos de control.
- Procedimientos de operación.

Información necesaria

- Puede requerirse información necesaria en casos específicos (p.ej. Datos de compra para compresores o dibujos de fabricación).

Instalaciones

- Para poder realizar el trabajo que involucra el desarrollo del HAZOP, se requiere de un local donde se pueda sesionar.
- Este local deberá tener las siguientes características:

Local

- Suficientemente grande como para albergar al equipo de trabajo.
- Contar con equipo de oficina, mesas, sillas, pizarrón.

- Papelería
- Lugar para guardar la información necesaria y la generada.

Horarios de trabajo

- Programando las sesiones HAZOP.
- Estimar las horas requeridas por el equipo para trabajar ($2^{1/2}$ – 3 horas) por cada recipiente.
- La duración de las sesiones no deben exceder de 3 horas.
- Una (preferentemente en la mañana) o dos sesiones por día.
- De 3 a 5 sesiones por semana.

Registro de Sesiones

- Archivo de riesgo.
- Copia de todos los datos usados por el equipo HAZOP.
- Copia de todos los papeles de trabajo producidos.

Registro de Sesiones

2. Software especial HAZOP.

- Usado por el secretario durante el desarrollo del estudio.
- Procesador de palabras especializado para registro de las investigaciones y resultados HAZOP.

Preparación previa

- Una vez que los objetivos y el propósito del estudio han sido definidos, y el equipo de trabajo seleccionado, el trabajo previo de preparación puede iniciarse.

Preparación previa

- Estas acciones de preparación previa involucra:
- Obtener la información necesaria para el estudio.
- Planear la secuencia del estudio.
- Programar las sesiones HAZOP

Registro de las sanciones

y obligaciones del líder.

- El líder del equipo HAZOP, es una persona que domina las técnicas del estudio; dejándose en segundo término el conocimiento del proceso.
- Debe tener una personalidad tal que evite al equipo de trabajo utilizar argumentos innecesarios, pero no forzar que el estudio HAZOP refleje solo sus opiniones.

METODOLOGÍA HAZOP

DE PRINCIPIO A FIN

Selección de Nodos de Estudio.

- Uno de los primeros pasos para efectuar un estudio HAZOP es decidir los puntos específicos o sitios en el proceso donde las desviaciones a la intención de diseño serán estudiadas.
- Esos puntos o sitios son llamados "Nodos de estudio"

Nodos de estudio

Un nodo de estudio puede ser:

- Un recipiente.
- Una bomba.
- Un compresor.
- O un sitio particular sobre una tubería, considérese el ejemplo siguiente:

Ejemplo

Calentador a fuego directo

El calentador es un simple intercambiador de calor de tubo y coraza, con el agua en el lado de la coraza. El lado de la coraza del calentador de agua, por ejemplo puede ser usado como nodo de estudio.

Selección de nodos

El mejor método para seleccionar nodos de estudio es marcándolos en un DTI, con base a la selección de los equipos mas grandes (como por ejemplo los recipientes mayores, o tanques de almacenamiento). Cada línea de mayor diámetro conectada a cada uno de esos recipientes se selecciona como un nodo de estudio.

Marcado de nodos de estudio

Análisis de DTI's.

- | | |
|------------|----------------|
| ■ Amarillo | Aceptación |
| ■ Rojo | Modificaciones |
| ■ Verde | "Borrar" |

Selección de nodos

Finalmente, los sistemas de servicios auxiliares de cada recipiente, son seleccionados como nodos de estudio.

En el caso de bombas o compresores de tamaño menor, pueden ser incluidos como parte de líneas grandes consideradas como nodos de estudio corriente abajo o arriba de dichos equipos.

Selección de nodos

Cuando se examinan cambiadores de calor, cada uno de los lados puede ser considerado como un nodo de estudio.

Las torres fraccionadoras deben considerarse como un solo nodo de estudio, sin embargo sus servicios como rehervidores y condensadores, constituyen nodos diferentes de estudio.

Intento de diseño

El siguiente paso es determinar el "intento de diseño" o propósito de la parte del proceso que está incluido en el nodo de estudio. Simplemente definiendo como funciona supuestamente el proceso si todos los componentes operan apropiadamente.

Intento de diseño

- Simplemente es la descripción de la forma en que se espera funcione el elemento analizado.

Intento de diseño

La definición del intento del diseño no es importante definirla con gran detalle, lo importante es asegurarse que todos los miembros del equipo HAZOP entienden el propósito del equipo que están examinando. Es muy ilustrativo el listar todos los rangos de operación para cada parámetro importante.

Intento de diseño

Con lo anterior, se puede determinar si existe o no una desviación, debido a que una desviación solamente existe si el parámetro en estudio se encuentra fuera del rango de operación disponible para el parámetro.

Palabras guía, parámetros y desviaciones

El tercer paso es determinar las posibles "desviaciones" del intento de diseño. Esto se logra con la combinación de una serie de "palabras guía" y "parámetros".

Palabras guía o clave

- Son palabras sencillas que se usan para calificar el propósito, guían y estimulan las acciones.

Parámetros

Los parámetros incluyen condiciones de proceso, actividades y sustancias, por ejemplo:

Las condiciones de operación y las actividades normalmente son combinadas para obtener parámetros significativos, p.ej. Temperatura (del agua), composición (del condensado). Cuando se usan sustancias como parámetros, la fase de la sustancia puede examinarse de manera específica; propano (líquido), propano (vapor).

HAZARD ID RECOMMENDATIONS EXISTING FACILITIES

| <u>PROJECT PHASE</u> | <u>METHOD OF CHOICE</u> |
|--------------------------------------|---|
| LAB OR BENCH | SAFETY REVIEW |
| PILOT | SAFETY REVIEW, HAZOP |
| MINOR MODIFICATION | PLANT MANAGEMENT OF CHANGE PROCEDURE |
| MODERATE OR MAJOR MODIFICATION | MGMT OF CHANGE PROC & HAZOP, FAULT TREE, QRA, FMEA, WHAT-IF |
| OPERATING | SAFETY REVIEW, HAZOP, FAULT TREE, QRA, FMEA |
| MOTHBALLING | CHECKLIST, HAZOP, SAFETY REVIEW |
| DEMOLITION | CHECKLIST, WHAT-IF, HAZOP |

METHODS OF CHOICE LISTED IN ORDER OF PREFERENCE

HAZARD ID RECOMMENDATIONS NEW PROJECTS

| <u>PROJECT PHASE</u> | <u>METHOD OF CHOICE</u> |
|----------------------------|--|
| LAB OR BENCH | CHECKLIST, WHAT-IF, PHA |
| PRELIMINARY PILOT DESIGN | PHA, CHECKLIST, WHAT-IF |
| FIRM PILOT DESIGN | HAZOP, WHAT-IF |
| PROCESS CONCEPT | PHA |
| PRELIMINARY PROCESS DESIGN | CHECKLIST, WHAT-IF |
| FIRM PROCESS DESIGN | HAZOP, FAULT TREE, QRA, FMEA, WHAT-IF |
| CONSTRUCTION | CHECKLIST, HAZOP (IF NOT ALREADY DONE) |
| PRE-STARTUP | CHECKLIST, HAZOP (IF NOT ALREADY DONE) |

METHODS OF CHOICE LISTED IN ORDER OF PREFERENCE

Análisis de Modo de Falla y Efecto

- CARA
- DNVPro
- FMEA-PC
- HAZOPTimizer
- SAFEPLAN

Análisis Preliminar de Riesgos

- DNVPro
- HAZOPTimizer
- PHA-PC

DNVPro

- Secuencia lógica
- Selección de técnica
- Información general (identificación, lugar, miembros del equipo, matriz de riesgo) *se puede usar una matriz*
- Información sobre nodos (descripción, desviaciones, fallas)
- Registro de sesiones de trabajo

Ventajas DNVPro

- Cuatro técnicas en un mismo paquete
- Librerías con bases de datos, relacionan equipo con desviaciones, desviaciones con causas y desviaciones con medidas de prevención
- Compensa inexperiencia, incrementar detalle de la revisión
- Reportes predeterminados *(diferentes tipos)*
- Matriz de riesgo *(equival)* *para matriz*

LEAK

- Calcular frecuencias de falla
- Equipos individuales, combinaciones, sistemas e instalaciones
- Definir equipo o armar grupo o grupos
- Calcular las frecuencias de cada equipo o grupo
- Usar las frecuencias, p. ej. Arbol de Fallas

Base de datos de eventos diversos del mundo al nivel de varios estratos

Arbol de Fallas

- BRAVO
- CAFTA-PC
- CARA *(FMEA)*
- FaultREASE
- IRRAS-PC
- NUSSAR-PC
- RISKMAN

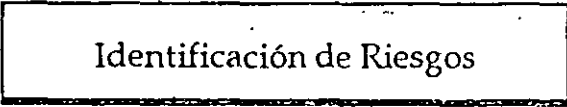


Uso de Herramientas Informáticas para la Identificación de Riesgos



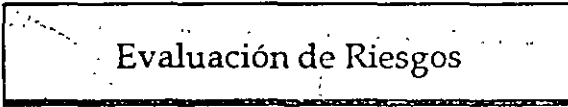
Riesgo - AICHE

- Característica física o química de un material, sistema, proceso o planta que tiene el potencial de causar daño.



Identificación de Riesgos

- Checklist (Lista de Verificación)
- What If...? (¿Qué Pasa Si...)
- What If / Checklist
- HAZOP



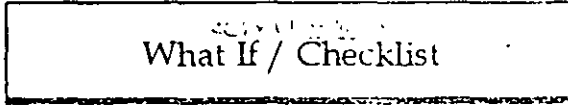
Evaluación de Riesgos

- Revisión de Seguridad
- Jerarquización Relativa
- Análisis Preliminar de Riesgos (PHA)
- Análisis de Modo de Falla y Efecto (FMEA)
- Arbol de Fallas
- Arbol de Eventos
- Análisis de Causa-Consecuencia
- Análisis de Confiabilidad Humana



HAZOP

- CAHAZOP
- HAZOP-PC
- HAZOPTimizer
- HAZEC - DNVPro
- HAZTEK
- LEADER
- SAFEPLAN



What If / Checklist

- SAFEPLAN
- DNVPro