



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

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS ABIERTOS

**DIPLOMADO INTERNACIONAL EN RIESGO
AMBIENTAL**

**MODULO III: METODOS DE ANALISIS Y CUANTIFICACION
DE RIESGOS AMBIENTALES**

TEMA

**ACTIVIDADES DE ALTO RIESGO Y ATENCION DE EMERGENCIAS
AMBIENTALES**

**EXPOSITOR: ING. MIGUEL A. CASTILLO HOIL
PALACIO DE MINERIA
JUNIO DEL 2001**

SEMARNAT

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente

**Actividades de Alto Riesgo y Atención
de Emergencias Ambientales**

SEMARNAT

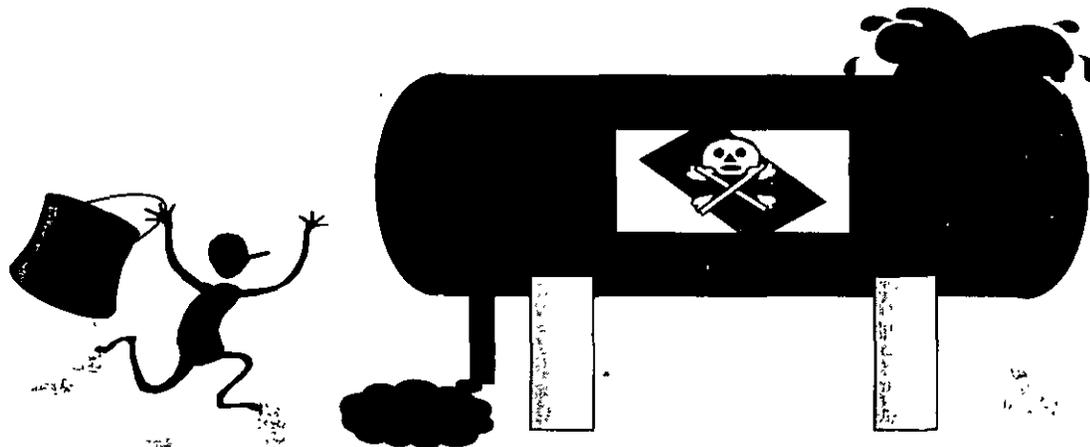
PROFEPA

ATRIBUCIONES EN MATERIA DE RIESGO

- INSPECCION Y VIGILANCIA DE ACTIVIDADES DE ALTO RIESGO.**
- ATENCION A EMERGENCIAS AMBIENTALES.**
- REGULACION Y CONTROL DE LA RESTAURACIÓN Y SEGUIMIENTO DE DAÑOS AMBIENTALES**

ACTIVIDADES DE ALTO RIESGO

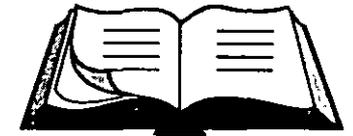
SE CONSIDERA ACTIVIDADES DE ALTO RIESGO, EL MANEJO DE SUSTANCIAS PELIGROSAS EN CANTIDAD IGUAL O SUPERIOR A LA CANTIDAD DE REPORTE.



ACTIVIDADES DE ALTO RIESGO

LAS SUSTANCIAS PELIGROSAS DE ALTO RIESGO SE ENCUENTRAN EN:

PRIMER LISTADO DE SUSTANCIAS TOXICAS, PUBLICADO EN EL DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION EL 28 DE MARZO DE 1990.



SEGUNDO LISTADO DE SUSTANCIAS INFLAMABLES Y EXPLOSIVAS, PUBLICADO EN EL DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION EL 28 DE MARZO DE 1990.

ACTIVIDADES DE ALTO RIESGO

REQUERIMIENTOS PARA LAS EMPRESAS DE ALTO RIESGO:

- **AUTORIZACIONES EN
MATERIA DE RIESGO
EXPEDIDA POR EL INE.**
- **PROGRAMA DE
PREVENCION DE
ACCIDENTES**



SISTEMA DE INFORMACION DE EMPRESAS DE ALTO RIESGO

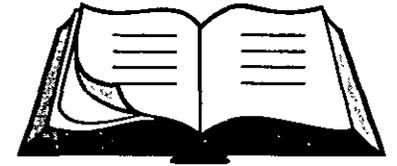
SIERA



- *Base de datos con información detallada de las empresas de Alto Riesgo.*
- *Ubicación georeferenciada de las empresas.*

LA PROCURADURIA A TRAVÉS DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE EMERGENCIAS AMBIENTALES, TIENE LAS SIGUIENTES ATRIBUCIONES:

I.- Proporcionar orientación en derrames, explosiones, incendios y fugas de productos químicos.



II.- Operar el Centro de Orientación para la Atención de Emergencias Ambientales (COATEA).

III.- Emitir recomendaciones para aplicar medidas preventivas, correctivas y de seguridad, para la atención de emergencias ambientales.

IV.- Establecer comunicación con los tres niveles de gobierno a fin de coadyuvar en la solución de problemas causados por emergencias o contingencias ambientales.

ATRIBUCIONES DE LA PROCURADURIA FEDERAL DE PROTECCION AL AMBIENTE.

V.- Formular programas para la evaluación, restauración y seguimiento de daños ambientales.



VI.- Ordenar a los responsables, en los términos que establezcan las disposiciones jurídicas aplicables, acciones de restauración en sitios contaminados que pongan en peligro a la población o al ambiente.

VII.- Demandar ante las instancias que procedan, la restauración de sitios dañados por los particulares y en su caso brindar los elementos para proceder penalmente cuando así proceda.

CENTRO DE ORIENTACION PARA LA ATENCION DE EMERGENCIAS AMBIENTALES

El objetivo del Centro de Orientación para la Atención de Emergencias Ambientales (COATEA), es brindar información, orientación y asesoría técnica para la atención de las contingencias y emergencias ambientales, asociadas con el manejo de materiales y residuos peligrosos.

INFORMES

coatea@semarnap.gob.mx

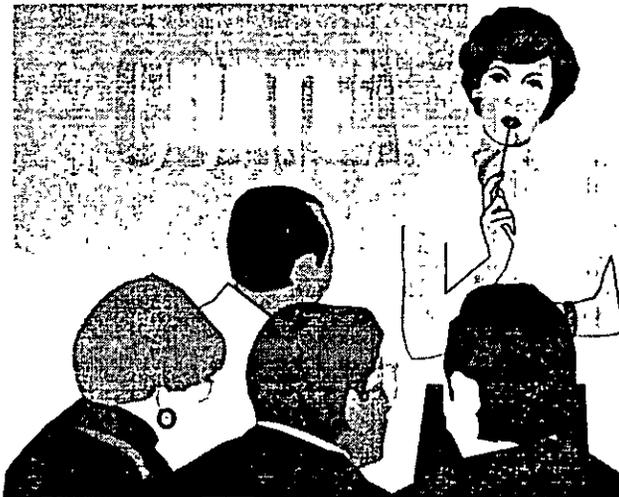
tel. 01 800 710 4943

Interior de la República

tel. 01 5 6 06 44 16 y 17

D.F. Y Area Metropolitana

fax 01 5 6 66 26 11



INFORMACION QUE REQUIERE LA PROFEPA PARA LA ATENCION DE CONTINGENCIAS Y/O EMERGENCIAS AMBIENTALES

FORMATO EMER-001/001

Día y hora del reporte _____
Nombre del personal de PROFEPA _____
Nombre de la persona que proporciono la información _____
Dependencia _____

1.- Lugar exacto donde se presentó la emergencia (calle, avenida o carretera) _____

Número o kilómetro _____
Colonia _____
Municipio _____ Estado _____

2.- Referencias del lugar _____

3.- Ubicación del COA _____

4.- Día y hora en que se presentó la contingencia y/o emergencia _____

5.- Sustancia o Material involucrado _____

Numero de Naciones Unidas (UN) _____

Volumen transportado _____

Volumen derramado _____

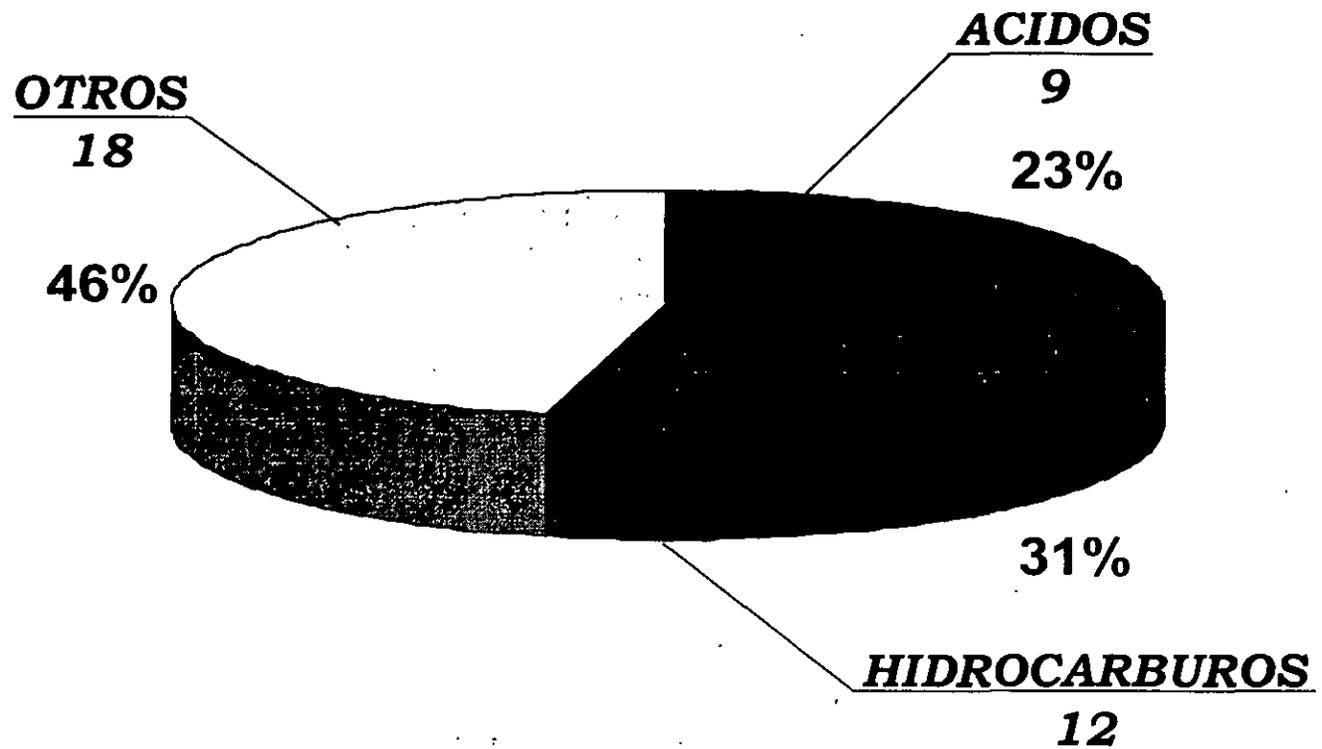
6.- Nombre de la empresa involucrada (completo) _____

7.- Domicilio de la empresa involucrada (completo) _____

8.- Origen y destino del material transportado _____

EMERGENCIAS AMBIENTALES

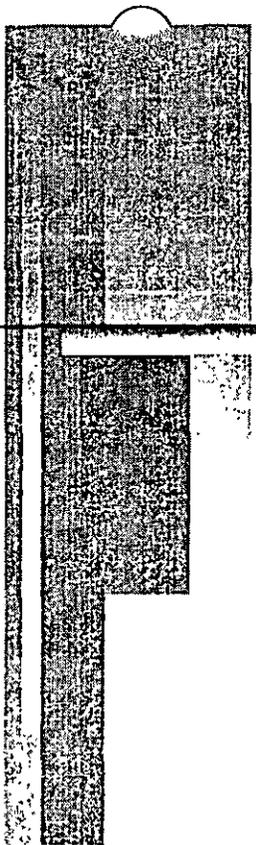
SUSTANCIAS INVOLUCRADAS



RESTAURACION Y SEGUIMIENTO DE DAÑOS AMBIENTALES

1.- Guías para la Evaluación de Daños Ambientales.

2.- Guías para la Determinación de Acciones Correctivas (propuesta de restauración)



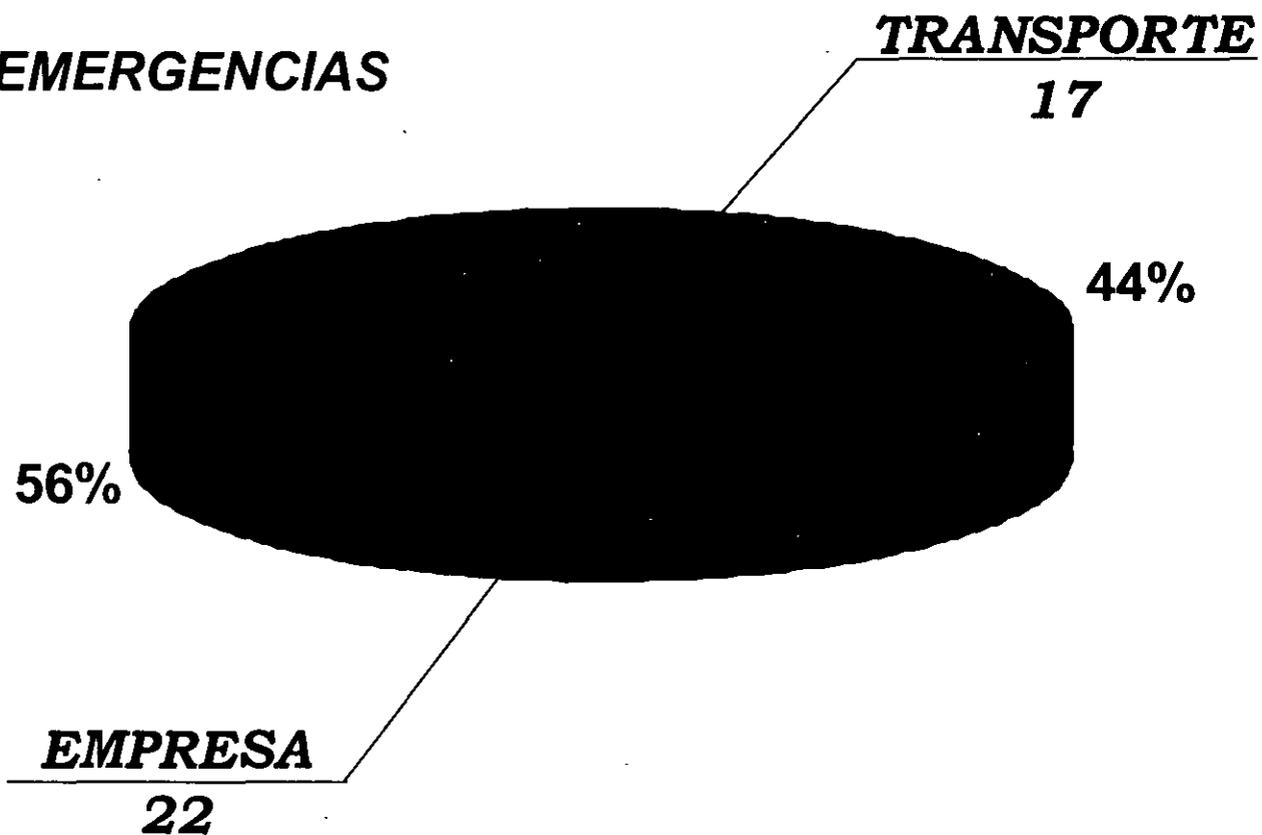
GUIAS PARA LA EVALUACION DE DAÑOS AMBIENTALES Y PROPUESTAS DE RESTAURACION.

CONTENIDO

- 1.- Introducción**
- 2.- Marco Jurídico**
- 3.- Grupo de Trabajo**
- 4.- Campo de aplicación**
- 5.- Restauración de suelos**
- 6.- Muestreos**
- 7.- Técnicas y Métodos para análisis químicos**
- 8.- Metodología y evaluación de riesgos.**
- 9.- Criterios interinos de limpieza.**

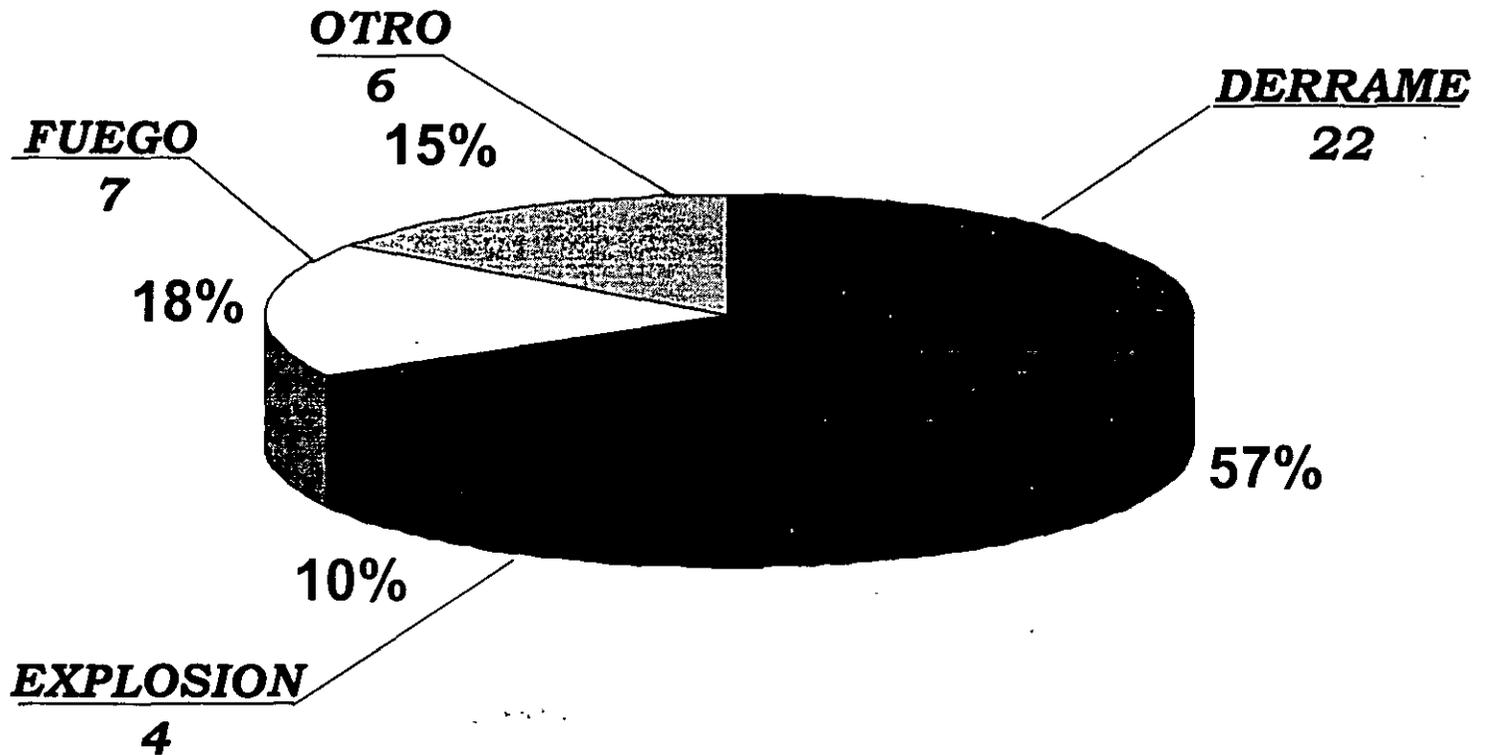
EMERGENCIAS AMBIENTALES

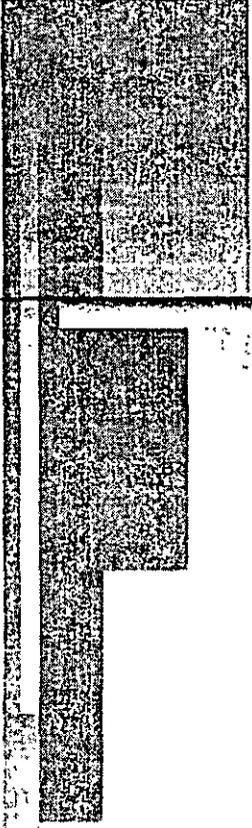
DE 1994 AL 2000
39 EMERGENCIAS



EMERGENCIAS AMBIENTALES

TIPO DE EMERGENCIA





SEMARNAT

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente

profepa.gob.mx

email: aalfa@prodigy.net.mx



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

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS ABIERTOS

**DIPLOMADO INTERNACIONAL EN RIESGO
AMBIENTAL**

**MODULO III: METODOS DE ANALISIS Y CUANTIFICACION
DE RIESGOS AMBIENTALES**

TEMA

TOXICIDAD DE LAS DIOXINAS

**EXPOSITOR: ING. MIGUEL A. CASTILLO HOIL
PALACIO DE MINERIA
JUNIO DEL 2001**

TOXICIDAD DE LAS DIOXINAS

CUENTO DE HADAS

En 1985, la EPA descubrió que la dioxina era el carcinógeno más potente jamás probado.

Informe de Greenpeace "Hacia el nivel Cero de Dioxina", Julio de 1994 [1].

HECHOS Y CIFRAS

Partes de esta página

La exageración de Greenpeace

Incidencia del cáncer en Seveso

Toxicidad de las dioxinas en pequeñas cantidades

LOS OTROS COMPUESTOS TOXICOS

Conclusión

La exageración de Greenpeace

Greenpeace está totalmente anticuada acerca de los efectos carcinogénicos de las dioxinas. Por el momento, se ha encontrado que la clase de los nitro-PAH's (hidrocarburos aromáticos policíclicos nitrados) son los carcinógenos más potentes [2]. Algunos compuestos tóxicos tienen iguales efectos cuando actúan sobre diferentes animales a casi la misma concentración. Este no es el caso de las dioxinas. Las dioxinas son extremadamente tóxicas para las cobayas, pero son miles de veces menos tóxicas para otros animales. Parece ser que los seres humanos son mucho más resistentes frente a las propiedades toxicológicas y carcinogénicas de las dioxinas. El accidente ocurrido en Seveso, Italia, donde un reactor químico se sobrecalentó y desprendió una nube de sustancias procedentes de sus reacciones hacia el espacio exterior, incluyendo la salida de unos cientos de gramos de la dioxina más tóxica, es, para Greenpeace, símbolo de lo que puede ocurrir en una fábrica química, cuando no se trabaja en condiciones. Por supuesto, este incidente fue grave, y ello indica que deben evitarse los accidentes de esta naturaleza por todos los medios posibles.

Muchos animales, especialmente los herbívoros, murieron en un periodo de tiempo comprendido entre unos días y unas semanas, pero ; no murió ningún ser humano !. La única persona que murió fue el Director de la fábrica, asesinado por las Brigadas Rojas, y se produjeron 7 abortos debido al pánico del momento; los fetos de dichos abortos fueron investigados y no se detectó ninguna malformación relacionada con el accidente. Hubo varias personas afectadas por una enfermedad de la piel, llamada cloracné, que se curó en un tiempo comprendido entre unos meses y pocos años

El campo de Seveso también se vió afectado de forma más o menos importante. Por esto motivo, los alrededores del del lugar de accidente se dividieron en tres clases, siendo el más contaminado el indicado como clase A, que presentaba el mayor contenido de dioxina.

Incidencia del cáncer en Seveso

Diez años después del accidente, un estudio a gran escala, efectuado por P. Bertazzi y col., reveló pocos casos de cáncer de baja incidencia (de lo cual se informó en los medios de comunicación) y algunos otros casos de cáncer de incidencia más común (; de lo que no se informó en los medios de comunicación !). El resultado total fue que en Seveso se presentaron menos casos de cáncer, en comparación con otras zonas de referencia no afectadas.

Incidencia del cáncer en Seveso, diez años después del accidente :
 Promedio de dioxina encontrada en el suelo, expresado en microgramos I-TEQ por metro cuadrado.
 Promedio de dioxina encontrada en sangre, expresado en partes por trillón (ppt).

zona	habitantes	dioxina en el suelo	dioxina en sangre	casos esperados	casos reales
A	724	300	10.000	19	14
B	4.824	50	300	130	112
R	31.647	5	10	850	765
ref	181.579	< 1	n.d.		

n.d.: no detectable

Fuente: Incidencia de cáncer en una población accidentalmente expuesta a TCDD [3].

No nos consta que haya habido casos de muerte prematura causados por accidentes, en los que se hayan desprendido cantidades relativamente importantes de dioxina.

Toxicidad de las dioxinas en pequeñas cantidades

Incluso si en Seveso o en otros accidentes con desprendimiento de dioxinas, se hubiera encontrado una incidencia de cáncer superior ocasionada por estas, ello no hubiera expresado gran cosa acerca de la posibilidad de padecer cáncer como consecuencia de la emisión de pequeñas cantidades de dioxinas. En los experimentos realizados con animales, con grandes cantidades de dioxina, se observa una mayor mortalidad, más casos de cáncer y muchos otros fenómenos perjudiciales. Según Bruce N. Ames, el mundialmente famoso toxicólogo, las dioxinas favorecen la aparición de cancer a bajas dosis cuando se administran anteriormente a estos animales otros carcinógenos como las aflatoxinas, pero bajan estos índices de cáncer cuando las dioxinas se administran antes de los otros carcinógenos. Ver Nature's Chemicals and Synthetic Chemicals: Comparative Toxicology (Compuestos Químicos Naturales y Compuestos Químicos Sintéticos: Toxicología Comparada) [4].

En el mismo artículo, Bruce N. Ames compara el efecto toxicológico de la ingestión diaria de dioxinas con la de los toxinas naturales de nuestros alimentos. Si el efecto de las dioxinas está relacionado con la posibilidad de inducción del receptor Ah en nuestras células, puede compararse la cantidad diaria de dioxinas con la cantidad de indol carbinol natural encontrada en 100 gramos de ensalada de col, o en 20 gramos de coles de Bruselas, lo cual tiene el mismo efecto sobre el receptor Ah. El posible efecto carcinogénico de nuestra ingestión diaria, es menor que el producido por el alcohol, correspondiente a tomarse una cerveza en 125 años, y la posibilidad de los defectos producidos en los nacimientos, es menor que la que correspondería a tomarse una cerveza en 3000 años.

Se presentan otros efectos débiles en la cantidad de hormona tiroxina en los recién nacidos, que es un 15 % superior durante varias semanas, mientras que el contenido promedio de dioxina en el tejido adiposo de las madres se duplica. Se sospecha que las dioxinas juegan un papel con respecto a la deficiencia de vitamina K en los recién nacidos y en la endometriosis.

En Holanda y Bélgica, el país con el más alto contenido de dioxinas en la leche de las madres, se han realizado investigaciones sobre si la leche materna era todavía buena para los niños. El contenido de dioxina en la leche materna es alrededor de diez veces mayor que en la leche de vaca, de modo que los niños recién nacidos pueden ingerir dosis de dioxina relativamente altas, en comparación con su peso corporal.

Los resultados fueron: Un alto contenido de dioxina (y PCB) en la leche materna produce en el niño un desarrollo motor ligeramente inferior a los 7 meses de edad, en relación a la alimentación con leche de vaca. A los dieciocho meses ya no se observaron diferencias. Por otra parte, el desarrollo neurológico fue mejor en los niños alimentados con la leche materna. En cualquier caso, el alarmismo de algunos grupos y periódicos contra el uso de la leche de la madre por su alto contenido en dioxina, no está justificado. Solamente está justificado el empleo de una pequeña cantidad extra de vitamina K.

Los efectos de las dioxinas a corto y largo plazo, vistos hasta la fecha, no justifican la enorme alarma provocada impropriadamente por Greenpeace y por otros grupos, al acusar a la industria del cloro de envenenar a la población y especialmente a los niños. Evidentemente, esto no significa que no haya que reducir las emisiones de dioxinas todo lo que sea posible. Estamos demasiado cerca del límite de estos efectos en los seres humanos.

Felizmente, ahora la cantidad de dioxinas en la cadena alimentaria se está reduciendo, gracias a las medidas tomadas en las incineradoras de todas clases y en la industria del metal. Ver también Cloro y bioacumulación y Fuentes de dioxinas.

<Picture: <HR>>

OTROS COMPUESTOS TOXICOS

Muchas de las investigaciones arriba descritas, están sesgadas por productos bioacumulables sin cloro, como son los PAH's y los nitro-PAH's, los cuales nunca se midieron en la mencionada investigación; en razón de que algunos de estos compuestos tienen efectos del mismo tipo que los de la dioxina, este hecho hubiera dado una observación más clara sobre los posibles efectos de las dioxinas por separado.

Si se observaran las grandes cantidades de dichas sustancias que se liberan por combustión, se comprendería que hubiera sido útil una investigación.

P. e. la combustión de un millón de toneladas de madera al año en Holanda, produce 24 veces más de dioxinas y I-TEQ que toda la industria del cloro en su conjunto y la mayor cantidad de monóxido de carbono, además de 70 toneladas de PAH's. Además del potente efecto carcinogénico demostrado por varios de sus miembros, la toxicidad directa es menos pronunciada. Pero incluso si asumimos que el promedio de toxicidad es mil veces menor que el de dioxinas, la toxicidad de los PAH's que se producen sólo por combustión de la madera, es equivalente a 70 Kilogramos de dioxinas al año ! ó 140 veces la emisión total anual de dioxinas al aire en Holanda.

CONCLUSIÓN

No hay razón para considerar diferente la toxicidad de las dioxinas en relación a la que tienen los productos sin cloro, persistentes y bioacumulables como son los PAH's. Y no hay motivo, en absoluto, para acusar a la industria del cloro de intoxicar la leche de las madres y de envenenar a los nonatos y recién nacidos, como afirma Greenpeace.

En razón a la gran alarma introducida por el accidente de Seveso y la función simbólica de Greenpeace y otros grupos ecologistas, se han gastado grandes sumas de dinero en la investigación de los efectos a largo plazo de la dioxina en el cuerpo. Si pensáramos en los pobres resultados de estas investigaciones, mejor se hubiera invertido todo este dinero en la investigación de problemas reales, como son la búsqueda de los mecanismos que causan cánceres hoy por hoy incurables y la investigación de las posibles soluciones ...

GLOSARIO

Receptor Ah . o receptor de los hidrocarburos aromáticos en las células. Puede ser comparado funcionalmente con una cerradura. Los compuestos aromáticos, como las dioxinas y los hidrocarburos aromáticos hidrocarbonados (PAH's), pueden introducirse como una llave en una cerradura. Una vez incorporada cierta cantidad de llaves, se inicia un mecanismo en la célula que hace que las enzimas las degraden a compuestos químicos perjudiciales para el cuerpo.

Aflatoxinas : Sustancias altamente tóxicas (diez veces más tóxicas que la dioxina de Seveso) y carcinogénicas, producidas por el moho común en el pan, etc...

Endometriosis : Enfermedad dolorosa que produce inflamaciones crónicas de la mucosa externa de la membrana del útero.

PCB's : Bifenilos policlorados. Un tipo de productos industriales, utilizado como aislante, aceite termico y como fluido hidráulico. En los años setenta y ochenta, se descubrió que los PCB's podían ser perjudiciales para la reproducción de las focas y otras formas de vida salvaje. La producción de PCB's se ha interrumpido hace ya mas de diez años. Los PCB's que aún quedan, p.e. en transformadores, se queman en incineradoras de desechos clorados, de forma ecológicamente aceptable.

PAH's : Una clase de productos secundarios perjudiciales, procedentes principalmente de la combustión y que se encuentran en grandes cantidades en el petróleo crudo. Una pequeña cantidad de microgramos por litro en el agua del mar, son suficientes para crear problemas sobre el crecimiento del plancton. Muchos de sus componentes son carcinógenos altamente potentes. Son persistentes y se acumulan en la cadena alimentaria.

nitro-PAH's: Son diferentes compuestos nitrados de los PAH's. Por el momento, son los carcinógenos más potentes encontrados. Principalmente son productos procedentes de la combustión.

I-TEQ . Equivalentes internacionales de toxicidad. Del total de 210 dioxinas/furanos (poli)clorados diferentes, denominados congéneres, únicamente son tóxicos diecisiete. Entre estos diecisiete, existe diferencias en la toxicidad de hasta mil veces. Para hacer posible cualquier comparación, las cantidades de estas diecisiete dioxinas/furanos clorados tóxicos se multiplican por un factor de toxicidad (I-TEF) y se suman. El factor de toxicidad compara la toxicidad de un congénere con la dioxina más tóxica que se liberó en Seveso.

Tiroxina Hormona producida por la glándula tiroidea. Interviene en el desarrollo motor y mental, en la infancia.

BIBLIOGRAFIA

[1]: Hacia el nivel Cero de Dioxina. Una Estrategia Urgente para la Eliminación de la Dioxina, por Joe Thornton, Julio de 1994. Impreso en papel totalmente libre de cloro

Una investigación del papel usado por Greenpeace para imprimir su informe, reveló un contenido de dioxina muy superior al del papel producido por el moderno sistema de blanqueado con dióxido de cloro. Ver también El cloro y el blanqueado del papel.

[2]. Emisiones de microcontaminantes organicos toxicos, en las máquinas de vapor de los barcos: Primeras determinaciones en tres buques. TNO report 51115, Diciembre de 1992.

[3]: Incidencia del cáncer en una población accidentalmente expuesta a TCDD, P. A. Bertazzi y col., Universidad de Milán (1), Epidemiology 4:398406, Septiembre de 1993.

[4]: Nature's Chemicals and Synthetic Chemicals: Comparative Toxicology (Compuestos Químicos Naturales y Compuestos Químicos Sintéticos: Toxicología Comparativa), Bruce N. Ames y col., Proc. Natl. Acad. Sci. USA, Vol 87, pp. 7782-7786, Octubre de 1990.

Forma parte de una serie de tres artículos, que versan sobre la carcinogenicidad de sustancias y sobre los carcinógenos naturales y sintéticos en nuestros alimentos. Ver también Too many rodent carcinogens. (Demasiados carcinógenos para los roedores) y Dietary Pesticides (99.99% All Natural) (Pesticidas en Alimentos - 99.99 % Todo Natural).

Está en el nivel dos de las páginas los Clorofilos.

Creado: 9 de marzo de 1996.

Última actualización: 4 de octubre de 1997.

Determinación de policlorodibenzo-p-dioxinas (PCDD) y policlorodibenzofuranos (PCDF) en emisiones e inmisiones

Josep RIVERA

Esteban ABAD

Laboratorio de Espectrometría de Masas

Departamento de Ecotecnologías

CID-CSIC

Introducción

Los términos dioxinas y furanos hacen referencia a dos grandes grupos de sustancias organocloradas, las policlorodibenzo-p-dioxinas (PCDD) y los policlorodibenzofuranos (PCDF). Dioxinas y furanos son hidrocarburos aromáticos halogenados, que se caracterizan por poseer una estructura plana formada por tres anillos, dos de ellos bencénicos, y un tercero, que siempre se encuentra en medio de los dos bencenos, que puede ser un grupo dioxina o un grupo furano. Se observan en total 210 compuestos, divididos en 75 dioxinas y 135 furanos, con un grado de cloración, que va desde los más simples, los monoclorados, hasta los de cloración completa, los octaclorados (figura 1).

En general, se caracterizan por ser sólidos cristalinos e incoloros a temperatura ambiente, elevada estabilidad térmica y baja volatilidad, sensibles a la luz UV y baja solubilidad en agua. Esto, unido a su gran carácter lipofílico, los convierte en contaminantes químicos altamente persistentes, con gran facilidad de evolucionar hacia procesos de bioacumulación.

Salvo alguna excepción, como incendios forestales, erupciones volcánicas, etc..., dioxinas y furanos son compuestos antropogénicos, resultado de una marcada actividad industrial, como se observa en la elaboración de ciertos productos industriales tales como herbicidas, PCB (aunque en la actualidad está prohibida su utilización, en décadas anteriores su producción fue muy elevada) o PCP, pero siempre como subproductos no deseados. En general, su presencia también se encuentra muy vinculada a procesos de combustión y, de hecho, se ha observado que las plantas incineradoras son importantes fuentes de dioxinas y furanos. Sin embargo, en la actualidad se sabe que existen niveles significativos de estos compuestos en los fangos procedentes de plantas depuradoras de aguas residuales.

La presencia dioxinas y furanos en emisiones de incineradoras de residuos sólidos urbanos (IRSU) fue observada por Olie en 1977. Desde entonces, el interés por estos compuestos, desde un punto de vista medioambiental, se ha incrementado de manera notable, dada su probada toxicidad, y su cuestionado carácter carcinogénico. Sin embargo, estos compuestos han sido protagonistas de algunos acontecimientos históricos en los cuales se han observado agravios en la salud humana y hacia el entorno, como por ejemplo los observados en Vietnam, donde la utilización de agentes defoliantes llevaba implícita la emisión de dioxinas y furanos, al tratarse éstos, de subproductos en la fabricación de estos herbicidas; o los acaecidos en Seveso, en 1976, donde la emisión accidental procedente de una industria química de una nube tóxica que contenía

2,3,7,8-TCDD, se expandió por una zona habitada. Un hecho más cercano, se observó en una familia sevillana, que se vió expuesta a dioxinas y furanos, tras la ingestión de ciertos alimentos que los contenían.

Toxicidad. Concepto de I-TEF e I-TEQ

La toxicidad de dioxinas y furanos es un hecho constatado y reconocido por amplios estamentos de la comunidad científica. Aunque los 210 compuestos que componen la familia de PCDD y PCDF poseen una estructura similar, lo cierto es que la componente tóxica que presentan de unos compuestos a otros es diferente. Este fenómeno ha provocado intensas discusiones y debates, ya que la extrapolación de los efectos que dioxinas y furanos han provocado sobre animales de laboratorio se pone siempre bastante en entredicho, básicamente porque existen muchos factores que influyen en los efectos nocivos de dichos compuestos, como son la edad, peso, sexo, raza, ruta de exposición, etc... y que la influencia sobre los animales y las personas no tiene porque ser la misma, dada la diferencia existente en los metabolismos. No obstante, los estudios realizados durante los últimos veinte años, junto a los tristemente célebres accidentes acaecidos a lo largo del tiempo, han permitido la realización de una reciente revisión toxicológica de datos, en humanos y animales, sobre PCDD y PCDF, y la aceptación de un modelo general.

En los organismos que se sitúan dentro de los niveles altos de la cadena trófica, como las aves, peces y mamíferos, los compuestos no sustituidos en las posiciones 2,3,7,8 se metabolizan rápidamente en el hígado y son excretados rápidamente vía heces u orina. Es por ello que los compuestos tóxicos evidenciados son aquellos que presentan átomos de cloro en las posiciones 2,3,7 y 8, siendo el compuesto más tóxico de todos ellos la 2,3,7,8-tetracloro-p-dibenzodioxina (TCDD), por lo que el número de compuestos de interés se reduce a 17: 7 dioxinas y 10 furanos (figura 2).

El diferente comportamiento de dioxinas y furanos, en función del grado y orden de cloración, en estudios toxicológicos, obliga a dar un tratamiento especial a la cuantificación de dichos compuestos. El principal objetivo será conocer, en realidad, el potencial toxicológico de dioxinas y furanos detectados en el medio en cuestión, para de esta forma poder evaluar los niveles de toxicidad producidos.

<Picture: figura 2> Dado que los compuestos definidos como tóxicos actúan todos de forma similar, y que, cualitativamente, provocan el mismo efecto en los organismos vivos, una de las medidas sugeridas por la NATO/CCMS, en 1988, a fin de evaluar la toxicidad de una mezcla de dioxinas y furanos, fue la definición del concepto de TEF (Toxic Equivalent Factor: "factor de equivalencia tóxica"). Dichos factores se han elaborado en base a los datos obtenidos, resultados de los estudios sobre el potencial cancerígeno, alteraciones inmunológicas y reproductivas y sobre estudios biológicos "in vivo" y, en general, todas las afecciones que se han observado, de forma común, como efecto de una exposición a los PCDD y PCDF. Esta propuesta se ha reconocido como I-TEF (International Toxicity Equivalent Factor: "factor de equivalencia tóxica internacional"). De esta forma la potencia toxicológica de un compuesto tóxico se expresa en I-TEF, cuyo valor corresponde a la toxicidad relativa del compuesto en cuestión, comparada con el compuesto más tóxico, que en nuestro caso se trata de la 2,3,7,8-tetracloro-p-dibenzodioxina, a la cual se le asigna el valor 1.

De aquí aparece un nuevo concepto: TEQ (Total Toxic Equivalent, "Equivalente tóxico total"), que es el resultado de multiplicar el valor real obtenido, en la cuantificación de cualquier dioxina o furano tóxico, por el factor I-TEF. De esta forma obtenemos un equivalente tóxico del compuesto más tóxico, que en este caso es la 2,3,7,8-TCDD.

Es así que la toxicidad de una mezcla de PCDD y PCDF se toma como la suma de los I-TEQ obtenidos del producto del valor de la concentración obtenida para los 17 isómeros tóxicos por su correspondiente I-TEF (tabla 1)

Legislación

La exposición a dioxinas y furanos sigue tres rutas bien diferenciadas:

1. Exposición por ingestión de alimentos
2. Exposición por inhalación
3. Exposición por contacto dérmico

De todas ellas, la ingestión de alimentos parece ser la vía más importante de exposición a dioxinas y furanos. Los estudios toxicológicos realizados sobre cobayas de laboratorio indican que la LD50, o sea, la dosis letal para un 50% de la población, se establece en 1 ng I-TEQ/kg de peso corporal. Si se toma un factor de seguridad de 100, resulta que la dosis admitida se reduce a 10 pg I-TEQ/kg de peso corporal.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) celebró en Bilthoven, en 1990, una reunión cuya conclusión importante fue la recomendación de un TDI (Tolerable Daily Intake: "valor tolerable de ingestión") para seres humanos de 10 pg I-TEQ/kg de peso corporal por día.

En lo referente a los valores de dioxinas y furanos emitidos, varios son los países que poseen una normativa al respecto (Holanda, Alemania, Suecia, U.K., etc...). Cabe destacar que en el caso de UK, el valor límite admitido es de 1 ng I-TEQ/Nm³, sin embargo, observa también la existencia de un valor guía tendiente a 0,1 ng I-TEQ/Nm³. Por otro lado, la Unión Europea a través del Comité Europeo de Normalización (CEN 264 WG) está elaborando el borrador de la futura Norma Europea de emisiones de PCDD y PCDF en plantas incineradoras, donde se expondrán las metodologías necesarias para realizar las determinaciones de dioxinas y furanos en emisiones, así como se verá reflejado también el valor límite emitido, estipulado en 0,1 ng I-TEQ/Nm³.

El decreto 323/1994, de 4 de noviembre, del "Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya" regula las instalaciones de incineración de residuos y los límites de emisiones a la atmósfera. De hecho las incineradoras están sujetas a una legislación que regula un elevado número de parámetros. Esta regulación legal, relacionada con la operación de tratamiento de los residuos a través de incineración, se ha de adaptar a los objetivos y determinaciones de la legislación comunitaria, para garantizar un alto nivel de calidad ambiental. Más concretamente, se indica que la administración competente es la responsable de comprobar, periódicamente, que las instalaciones de incineración de residuos cumplen todos los requisitos de carácter general, impuestos por la legislación vigente a las actividades potencialmente contaminadoras.

En lo referente al tema de dioxinas y furanos, esta normativa indica que se procederá a disminuir al máximo la emisión de dioxinas y furanos, mediante las técnicas más avanzadas. Se procurará que los valores medios, durante un periodo de muestreo de un mínimo de 6 horas y un máximo de 8 horas, no sobrepasen el valor de referencia de 0,1 ng/Nm³, y que dicho análisis deberá realizarse en un laboratorio debidamente acondicionado y equipado, que tendrá que ser previamente homologado. Este valor de referencia se convertirá en valor límite a partir de enero de 1997.

Captación de dioxinas y furanos en emisiones e inmisiones.

Metodología analítica

Una de las peculiaridades de dioxinas y furanos son los bajos niveles en los que se encuentran frecuentemente estos compuestos, tanto en emisiones como en inmisiones (traza y ultratrazas), frente a los elevados niveles que presentan gran cantidad de sustancias que son eventuales interferencias dentro del análisis de dioxinas y furanos, tales como PCB, PAH, etc... Es por ello que la metodología analítica a emplear se ha de caracterizar por ser:

- Sensible
- Selectiva
- Reproducible
- Fiable
- Aplicable a una amplia variedad de matrices

Algunos de los organismos más importantes, han elaborado normativas, tales como la expuesta por la EPA en su método para dioxinas y furanos en emisiones: EPA 1613 y EPA 23; el "Environment Canada", y más recientemente la Norma Europea, etc... En general, todas ellas coinciden en que las etapas fundamentales, que determinan el análisis de dioxinas y furanos, son las siguientes (figura 3):

- Toma de muestra
- Extracción
- Purificación y fraccionamiento
- Análisis instrumental

La toma de muestra en emisiones se realiza mediante un tren de muestreo, como se indica en las figuras 3 y 4.

figura 4>

Figura 4

En este caso se trata de un sistema de configuración filtro/adsorbente/ condensador, aunque existen otros diseños, que se verán reflejados en la futura norma europea, como son los sistemas de dilución y los refrigerados. El común denominador de todas las disposiciones existentes en la norma europea es realizar una recolección de muestra que sea representativa de lo que se emite en esos momentos. Por todo ello, dichas configuraciones han de estar diseñadas para poder captar isocinéticamente 10 m³ en condiciones normales (11% O₂, 1 atm de presión y 273deg. C) en ocho horas, según se refleja en el borrador de la Norma Europea para emisiones de plantas incineradoras. Con este volumen se obtiene una muestra representativa del conjunto emitido, que permite alcanzar los límites de sensibilidad que la metodología es capaz de aportar, siempre en base a los criterios de calidad exigidos, para el tipo de instalaciones que emiten por debajo del límite del 0,1 ng I-TEQ/Nm³. La captación en emisiones se controla mediante la incorporación, en el filtro, de un estándar (37Cl 2,3,7,8-TCDD). Tanto los adsorbentes empleados, el filtro y en general todo el tren de muestreo, es debidamente acondicionado, y de hecho se guardan blancos previos a la captación, que permitan evaluar la calidad de la toma de muestra.

Figura 5

Los niveles existentes en la atmósfera suelen ser del orden de ppt, por ello, la etapa de toma de muestras de inmisiones se realiza mediante un captador de alto volumen (CAV), que permite recolectar una cantidad tal de muestras que nos permite llegar a los niveles de sensibilidad que la metodología es capaz de aportar (figuras 3 y 5). Dicha cantidad puede alcanzar los 1000 m³, recolectados en 24 h aproximadamente. El sistema empleado utiliza, como adsorbentes, un filtro y una espuma de poliuretano (PUF), que son debidamente acondicionados previamente a la toma de muestra. El control de esta etapa se realiza de igual forma que en las emisiones.

Una vez realizada la etapa de captación, ya sea bien de emisiones o de inmisiones, la muestra es trasladada al laboratorio donde se continuará con el análisis. Previo a la extracción se realiza un pretratamiento, que en el caso de las emisiones pasa por la extracción de los analitos que hubiesen podido quedar en el tren de muestreo, así como de la incorporación de los estándares de cuantificación. La etapa de extracción se realiza con un Soxhlet, utilizando tolueno como disolvente, durante un periodo de 48 h (figura 6). Transcurrida esta etapa, se procede a la purificación y fraccionamiento del extracto, a fin de aislar al máximo las dioxinas y furanos, mediante la utilización de columnas cromatográficas abiertas, eluidas por gravedad (figura 7). Una vez realizada dicha etapa, la muestra se concentra, y en este momento, la muestra está lista para el análisis instrumental.

El análisis de PCDD y PCDF requiere de la utilización de la cromatografía de gases de alta resolución (HRGC) acoplada a la espectrometría de masas de alta resolución (HRMS). El acoplamiento de estas dos técnicas ha resultado ser una herramienta indispensable en una gran variedad de análisis químicos, dentro del campo del medioambiente. La sensibilidad y selectividad aportados, hacen que en estos momentos sea la única técnica que permita realizar el análisis de dioxinas y furanos para una amplia variedad de matrices, como pueden ser alimentos, con niveles cercanos al fentogramo (figura 8). La HRGC es necesaria para realizar la separación de PCDD y PCDF por grupos homólogos en función del grado de cloración, así como para obtener una buena separación entre los distintos isómeros de cada grupo. Normalmente esta separación se realiza mediante columnas capilares apolares (DB-5), sin embargo, la correcta asignación de los 17 isómeros 2,3,7,8 clorosustituídos precisa de la utilización adicional de columnas cromatográficas con un carácter polar más marcado (DB-DIOXIN). De esta forma podemos evitar que dioxinas y furanos, que no se encuentren sustituidos en las posiciones 2,3,7,8, sean designados como tales, y que, por tanto, se obtenga un resultado más elevado del real. La espectrometría de masas de alta resolución está basada en la interacción entre especies cargadas y campos magnéticos. Esta técnica es capaz de realizar una discriminación de masas muy similares. Llegando a separar masas que difieren en la tercera o cuarta cifra decimal. Esta idea se recoge en el concepto definido como resolución: cociente entre la masa nominal y la diferencia entre las masas que se desean separar. El borrador de la norma europea contempla la utilización de la alta resolución en el análisis de dioxinas y furanos. Para concretar un poco más qué significa alta resolución, se puede decir, que el Laboratorio de Espectrometría de Masas trabaja generalmente a una resolución de 10.000, cuando se realizan análisis de dioxinas y furanos.

Parámetros de calidad

<Picture: figura 6>

Figura 6

El análisis de dioxinas y furanos lleva implícita una serie de parám

<Picture A la>Pagina de presentacion de los Clorofilos

<Picture: Arriba:>Cloro y dioxinas

<Picture: Derecha:>Fuentes de dioxinas

Para cualquier comentario sobre éstas y otras páginas, especialmente sobre la toxicidad de la dioxina:

<Picture: Envío a:>Ferdinand.Engelbeen@ping.be; ¿Qué implica la incineración de residuos tóxicos?

La incineración, como tecnología de tratamiento y disposición final de residuos peligrosos, está siendo cuestionada cada vez más por la creciente evidencia científica que vincula algunas de sus emisiones con graves efectos sobre la salud humana: defectos en el sistema inmunológico, malformaciones congénitas, distintos tipos de cáncer, problemas en el sistema nervioso, etcétera.

Las incertidumbres sobre la tecnología de la incineración, así como la creciente evidencia sobre los efectos de sus emisiones sobre la salud deben servir para que se tomen medidas inmediatas tendientes a impedir la migración masiva de esta tecnología a la Argentina.

Emisiones y residuos de las incineradoras

La incineración de residuos peligrosos a altas temperaturas libera al medio ambiente residuos sin quemar, metales pesados, y productos de combustión incompleta (PICs) - compuestos que se forman durante el proceso de incineración-. Estos contaminantes se distribuyen en el medio ambiente por los siguientes caminos:

- emisiones de la chimenea;
- emisiones fugitivas;
- cenizas de fondo y volantes;
- efluentes provenientes de los dispositivos de control de la contaminación (torre lavadora de gases, filtros, quench);
- derrames que puedan ocurrir en el lugar o durante el transporte de los residuos.

Si además existen filtraciones, pérdidas, o accidentes durante el transporte habrá más emisiones de compuestos tóxicos al ambiente

Además de quemar residuos, los incineradores los producen: cenizas de fondo que quedan en el incinerador, cenizas volantes que son capturadas por los dispositivos de control de la contaminación y efluentes líquidos provenientes de la planta de lavado de gases.

Cuanto más efectivos son estos dispositivos en evitar que los compuestos tóxicos salgan por la chimenea, más contaminados serán los residuos del incinerador (cenizas y efluentes). Las cenizas deben ser entonces enterradas en rellenos, donde sus componentes tóxicos pueden filtrarse al suelo y a las napas de agua subterráneas. Los efluentes (líquidos) son en algunos casos tratados y luego descargados en lagos, arroyos, ríos y hasta en el sistema cloacal.

En general, si se queman residuos peligrosos líquidos, las cenizas pueden alcanzar el 9% del volumen inicial de los residuos originales. Cuando los residuos son sólidos, las cenizas pueden ocupar un 29% del volumen inicial (Trenholm, 1984)

Emisiones de la incineración

a) Residuos sin quemar

Los residuos sin quemar son parte de los residuos originales y pueden liberarse al medio ambiente a través de la chimenea (como vapores o depositados sobre pequeñas partículas); por emisiones fugitivas, por derrames accidentales, como constituyentes de las cenizas de fondo o volantes y a través de los efluentes de los dispositivos de control de la contaminación.

A pesar de su amplia distribución, sólo aquellos residuos sin quemar que se detectan a la salida de la chimenea son los que se consideran al momento de calcular la eficiencia de destrucción y eliminación de un incinerador (DRE) -el criterio más ampliamente utilizado para determinar y aceptar o rechazar la operación de un incinerador.

b) Productos de Combustión Incompleta

Un Producto de Combustión Incompleta (PIC) es cualquier compuesto que no haya sido identificado a través de los análisis de los residuos que alimentan el incinerador, pero que se encuentra en los gases de salida (Tessitore, 1990).

Estos PICs, algunos de los cuales pueden ser más complejos que los residuos originales, son a veces más tóxicos y difíciles de destruir que los compuestos que les dieron origen. Las cantidades de PICs que se forman dependen de la composición de los residuos que se queman, las condiciones de combustión y -potencialmente- hasta de las condiciones meteorológicas.

Los PICs formados durante las condiciones normales de operación y los volúmenes aún mayores formados durante desajustes del funcionamiento, son liberados al medio ambiente a través de la chimenea, en las cenizas y en los efluentes de los dispositivos de control de la contaminación. Los desajustes en la operación de los incineradores de residuos peligrosos ocurren frecuentemente aún en los más modernos y mejor manejados, y pueden provocar la formación de dioxinas y furanos policlorados.

Las dioxinas y furanos policlorados (PCDDs y PCDFs) representan tal vez los PICs más preocupantes y existen altas probabilidades de que se produzcan en los procesos de combustión a altas temperaturas de prácticamente cualquier combustible con una base de carbono y en presencia de cualquier fuente de cloro.

Las dioxinas y furanos merecen especial atención debido a su extremada toxicidad, persistencia en el ambiente y tendencia a bioacumularse.

c) Metales Pesados

Los metales pesados no pueden ser destruidos por el proceso de incineración. La misma cantidad de metales presente en los residuos a quemar es liberada al medio ambiente a través de la chimenea (en la forma de emisiones gaseosas o pequeñas partículas), en las cenizas volantes y de fondo o en los efluentes de los dispositivos de control de la contaminación

En algunos casos los incineradores cambian la forma física o química de los metales de su forma elemental a óxidos metálicos o complejos organometálicos, o de estado sólido a la forma de vapor o finas partículas. Estos cambios pueden resultar en un incremento de la toxicidad. Por ejemplo, los óxidos de cromo, hierro y zinc y ciertas formas organometálicas de mercurio, manganeso o níquel son más tóxicas que los metales en su forma elemental (Dreisbach, 1987).

La distribución de los metales entre las emisiones aéreas de los incineradores, las cenizas de fondo y los residuos de los dispositivos de control de la contaminación está determinada por factores tales como temperatura, contenido de cloro en los residuos a incinerar y la eficiencia de los dispositivos de control de la contaminación.

¿Qué daños produce la incineración en la salud?

Las emisiones de los incineradores contienen muchos contaminantes que son tóxicos, persistentes y bioacumulativos. Luego de meses o años, aún trazas de estos compuestos pueden alcanzar concentraciones dañinas en los ecosistemas locales desde el punto de vista agudo o crónico para los seres humanos o para otras especies.

Tanto a concentraciones altas como bajas, las sustancias contenidas en las emisiones de las incineradoras pueden afectar la salud pública y ambiental. Ciertos productos contaminantes emitidos por las incineradoras, tales como las dibenzodioxinas y dibenzofuranos policlorados ejercen efectos transmisibles por herencia sobre los sistemas fisiológicos de las especies, aún a dosis extraordinariamente bajas. Por ejemplo, no se ha podido establecer la existencia de niveles de exposición a determinados productos por debajo de los que no se vean efectos sobre el organismo (niveles conocidos como umbrales de seguridad).

Es el caso del impacto de la 2,3,7,8 tetraclorodibenzodioxina (TCDD) sobre el sistema reproductor y el desarrollo (Streisinger, 1980 y Kimmel, 1987) así como sobre el sistema inmunológico (Sonawane, 1987). Otro ejemplo es el efecto que sobre el sistema nervioso y el desarrollo tiene el plomo (Needleman, 1989 y Needleman, 1980), y para cuya exposición tampoco ha podido establecerse el umbral de seguridad.

Se cree que el efecto cancerígeno y mutagénico de un producto químico sigue una pauta de comportamiento que no contempla un umbral de seguridad, de manera que incluso una molécula del producto cancerígeno o mutagénico puede iniciar un proceso de mutación o multiplicación celular que degenera en enfermedad (Kamrin, 1988 y Epstein, 1989). Algunos investigadores han sugerido este tipo de impacto sin umbral de seguridad en el caso de efectos neurotóxicos (USOTA, 1990), de alteración del desarrollo (Shane, 1989) y del sistema reproductor (Shane, 1989), asociados a la exposición a cualquier producto químico sintético.

Bibliografía disponible en nuestra sede.

{Greenpeace} {Agenda verde} {Campanas}
{Socios} {Acción verde} {Home}

Boletín Ambiental

Volumen 1 Ejemplar 2 Marzo 15 de 1996

En este ejemplar:

Proponen endurecer la ley ambiental Normas ambientales del Diario Oficial 1996 Agenda Ambiental Novedades

PROPONEN ENDURECER LEY AMBIENTAL

La adopción del término "el que contamina paga", como base de la política ambiental, y la concesión y privatización de la administración de parques nacionales y reservas naturales, son las principales reformas propuestas a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

El proyecto elaborado por la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca y por la Comisión de Ecología de la Cámara de Diputados, deberá ser discutido y en su caso aprobado en el próximo periodo ordinario de sesiones.

Las reformas propuestas forman parte de las nuevas estrategias instrumentadas a raíz de la creación de la Secretaría del Medio Ambiente, a principios del sexenio, para detener el deterioro y destrucción de los recursos y proteger los ecosistemas en base a un "desarrollo sustentable".

El eje del proyecto lo determina la reforma al párrafo III del artículo 15, que propone que quien contamina "debe asumir los costos ambientales que provoca y reparar el daño que causa", para en contraparte "premiar y apoyar a quien protege el ambiente".

Periódico el Norte, Secc. Ecología,
Febrero 18, 1996

NORMAS AMBIENTALES DEL DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN 1996

Norma Oficial Mexicana :

NOM-048-SSA1-1993:

Que establece el método normalizado para la evaluación de riesgos a la salud como consecuencia de agentes ambientales

NOM-053-SSA1-1993:

Que establece las medidas sanitarias del proceso y uso del metanol (alcohol metílico).

NOM-097-ECOL-1995:

Que establece los límites máximos permisibles de emisión a la atmósfera de material particulado y óxidos de nitrógeno en los procesos de fabricación de vidrio en el país.

NOM-100-STPS-1994:

Seguridad-Extintores contra incendio a base de polvo químico seco con presión contenida-Especificaciones

NOM-101-STPS-1994

Seguridad-Extintores a base de espuma química.

NOM-102-STPS-1994:

Seguridad-Extintores contra incendio a base de bióxido de carbono- Parte I: Recipientes

NOM-103-STPS-1994:

Seguridad-Extintores contra incendio a base de agua con presión contenida.

NOM-104-STPS-1994:

Seguridad-Extintores contra incendio de polvo químico seco tipo ABC., a base de fosfato mono amónico

NOM-105-STPS-1994.

Seguridad Tecnología de fuego-Terminología

NOM-106-STPS-1994:

Seguridad-Agentes extinguidores-Polvo químico seco tipo BC, a base de bicarbonato de sodio.

NOM-107-STPS-1994:

Prevención técnica de accidentes en máquinas y equipos que operan en lugar fijo-Seguridad mecánica y Técnica-Terminología.

NOM-108-STPS-1994:

Prevención técnica de accidentes en máquinas y equipos-Diseño o adaptación de los Sistemas y dispositivos de protección-Riesgo en función de los movimientos mecánicos.

NOM-109-STPS-1994:

Prevención técnica de accidentes en máquinas que operan en lugares fijos- Protectores y dispositivos de seguridad. tipo y características

NOM-111-STPS-1994:

Seguridad en las máquinas- herramienta denominadas máquinas de electroerosión.

NOM-114-STPS-1994:

Sistema para la identificación y comunicación de riesgos por sustancias químicas en los centros de trabajo.

NOM-115-STPS-1994:

Cascos de protección- Especificaciones, métodos de prueba y clasificación.

NOM-116-STPS-1994:

Seguridad-Respiradores y purificadores de aire contra partículas nocivas.

NOM-EM-102-ECOL-1995:

Que establece los niveles máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación en el Valle de México que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural, etanol y/o metanol, así como las posibles combinaciones de estos con gasolina y/o diesel.

* Disponibles en UNINET

AGENDA AMBIENTAL

MARZO19-23ENTSORGA '96

7th Annual Trade Fair for Recycling and Waste Disposal

Cologne, Germany

Edel Wichmann : (416) 598-53-43

Fax : (416) 598-18-40

19-24 Water Quality Association's

22nd. Annual Convention & Exhibition

Indiana Convention Center

International Headquarters & Laboratory : (708) 505- 01-60

Fax : (708) 505-96-37

20-21 GEMI '96 : Agenda for a Changing Environment

Arlington, Vancouver, Canada

Global Environment

Management Initiative : (202) 429-07-76
Fax : (202) 466-85-54
20-22Safety and Environmental Management Part II :
Programs and Engineering Applications
Nashville, Tenn
American Society of Safety Engineers : (708) 692-41-21
Fax : (708) 296-37-69
20-22Remote Sensing and GIS Applications in Ground Water Resources
Forth Worth, Texas
National Ground Water Association : (614) 337- 19-49
Fax : (614) 337-84-45
24-26WEAO's 25th Annual Symposium and OPCEA Exhibition
Toronto, ON
WEAO : (416) 502-14-40
Fax : (416) 502-17-86
26-28Safety At Work
Toronto, ON
Lee Baker : (905) 669-11-42
Fax : (905) 669-36-44
26-29GLOBE '96 : International Trade Fair and Conference on Business and Environment
Vancouver, British Columbia, Canada
Globe Foundation of Canada . (604) 775-19- 94
Fax : (604) 666-81-23
27-29IV Symposium Internacional de Metodología Analítica en el Campo del Medio Ambiente
Parque Tecnológico del País Vasco
48016 Zamudio, Vizcaya
Perkin - Elmer Hispania . S.A. (91) 803-42-10
Fax : (91) 804-04-14
ABRIL1-2Process Plant Safety Symposium
Houston, Tx
AIChE : (409) 845-33-01
Fax . (409) 845-64-46
3-4Globalcon '96
Denver, CO
Globalcon Expo : (404) 279-43-88
Fax : (404) 381-98-65
9-12The Complete Ground Water Monitoring Field Course
Orlando, Florida, USA
The Nielsen Environmental Field School : (614) 965-50-26
Fax : (614) 965-50-27
14-18Sixth Symposium on Environmental Toxicology and Risk Assessment
Orlando, Fla
ASTM : (215) 299-54-00
Fax : (215) 977-96-79
15-16Implementing ISO 14001
Toronto, Ont.
Executive Enterprises : (800) 831-83-33
Fax : (212) 645-86-89

ARTÍCULOS DE INTERÉS

CONTAMINANTES DEBIDOS AL PROCESO DE INCINERACIÓN DE RESIDUOS

El objetivo ideal que se persigue en la incineración de residuos es la transformación de los mismos en residuos inertes, por medio de reacciones químicas y procesos físicos a elevada temperatura, eliminando o reduciendo en gran medida, el riesgo de contaminación a largo plazo que existiría en caso del almacenamiento de los mismos durante un periodo de tiempo prolongado. La incineración presenta adicionalmente la ventaja de que se consigue una gran reducción del volumen de los residuos con relación al inicial.

Sin embargo este proceso ideal no es perfecto en la práctica, ya que se traslada la contaminación a otros medios en mayor o menor medida, en especial a la atmósfera, incluso en condiciones técnicas óptimas de funcionamiento de la instalación.

Por ejemplo, si se dan las condiciones adecuadas de temperatura, tiempo de residencia de los gases y exceso de oxígeno en la cámara de combustión, en la teoría más elemental, la materia orgánica contenida en determinados residuos actúa como producto a oxidar, transformándose en dióxido de carbono y agua.

Pero en general la naturaleza de las sustancias a incinerar será muy variada tanto cualitativa como cuantitativamente y poseerán distinta aptitud para su destrucción por incineración. Entre todo el abanico de sustancias que alimentan un horno incinerador, pueden existir determinados compuestos o mezclas que son prácticamente incombustibles, como ciertos productos halogenados o metales pesados para los cuales la eficacia de destrucción es muy baja y podrían pasar a través de la cámara de combustión sin reaccionar, permaneciendo en las escorias o incorporándose parcialmente por cualquier medio a la corriente gaseosa.

Las condiciones en que se lleva a cabo la incineración son difíciles de optimizar para todas las sustancias que pueden estar presentes en la cámara de combustión. En este sentido se puede hablar de que un aumento de la temperatura mejora por lo general la eficiencia de la combustión de determinado tipo de residuos, pero, si están presentes, también produce un aumento en la emisión de metales pesados. En estas condiciones, o en el caso de la explotación de la instalación en condiciones técnicas francamente no adecuadas, es posible que determinados residuos no tengan una combustión completa y se emitan directamente a la atmósfera, o que se generen nuevos contaminantes al reaccionar entre sí las distintas especies químicas formadas en reacciones concatenadas, que pueden en algunos casos ser más peligrosos que los propios residuos que se está tratando de eliminar.

La emisión de contaminantes por la chimenea implica una contaminación primaria de este medio, pero a su vez, por efecto de los mecanismos de dispersión, una posible contaminación a medio o largo plazo del suelo y las aguas superficiales o subterráneas. Estos medios, agua y suelo, están expuestos a su vez, si el diseño de la instalación o la gestión de la misma no es la adecuada, a la contaminación "in situ" originada por diversos mecanismos de arrastre, como son el viento o las precipitaciones. Los controles establecidos en los documentos legales de diversos estados u organismos supranacionales pretenden, en función del estado actual del conocimiento y la técnica en este campo, hacer compatible la posible contaminación originada en el entorno de las instalaciones, con los beneficios que presenta la eliminación de los residuos por incineración.

Los principales contaminantes de la atmósfera, del agua o del suelo, que se emiten o se forman durante el proceso de incineración de residuos, su composición, mecanismos y lugares de formación, así como la estimación o referencias de sus niveles de emisión y formas de evaluación, son perfectamente conocidos. Según la EPA (1990) existen miles de productos de combustión incompleta (PIC's) que se emiten en la incineración cuya toxicidad, persistencia y bioacumulación son ciertamente difíciles de precisar. El mejor ejemplo son las dioxinas y furanos. Debido a la polémica en que se encuentran envueltos algunos contaminantes no clásicos en la problemática de la contaminación atmosférica, como son las dioxinas y los furanos, veamos un especial tratamiento de que son:

DIOXINAS Y FURANOS

CARACTERÍSTICAS Y FORMACIÓN

Este tipo de sustancias se pueden encuadrar dentro de los denominados microcontaminantes. A partir del año 1949 y a consecuencia de diversos accidentes industriales asociados con la fabricación de fenoles clorados, estos compuestos han despertado un gran interés en algunos sectores de la sociedad debido a su potencial tóxico. En 1985 un tipo de dioxina, en particular la TCDD fue el carcinógeno químico más potente evaluado por la EPA (inducen la aparición de carcinomas en especies animales, no así en el hombre, en el que solo se conoce la actividad promotora de cánceres ya existentes, pero no su actividad carcinogénica) Actualmente esto se refleja en la incorporación de límites de emisión específicos en las legislaciones de determinados estados.

Se conoce por dioxinas y furanos a una familia de compuestos aromáticos clorados tricíclicos, con propiedades químicas similares, constituidas por carbono, hidrógeno, oxígeno y cloro. Las dioxinas se diferencian de los furanos en la cantidad de átomos de oxígeno presentes en la molécula, encontrándose un átomo de oxígeno en los furanos y dos en las dioxinas. Las estructuras básicas de éstos compuestos son las presentadas en la figura 1.

Las posiciones numeradas pueden ser ocupadas tanto por átomos de hidrógeno como de cloro. La suma de átomos de cloro e hidrógeno en el interior de la molécula de las dioxinas y furanos es igual a ocho. Según la cantidad de átomos de cloro que substituyen a los átomos de hidrógeno y su disposición en el interior de la molécula existen un total de 75 isómeros de dioxinas, llamadas genéricamente policlorodibenzo-para-dioxinas (PCDD) y 135 de furanos, llamados policlorodibenzofuranos (PCDF), dependiendo de la cantidad de átomos de hidrógeno que son substituidos por átomos de cloro y su posición en el interior de la molécula. El contenido de cloro (abreviadamente designado por C) se indica por medio de uno de los prefijos siguientes: mono (M), di (D), tri (Tr), tetra (T), penta (Pe), hexa (Hx), hepta (Hp) y octa (O), y va seguido del tipo de molécula (dibenzo-dioxina, DD o dibenzo-furano DF). La posición en que los átomos de cloro se encuentran ubicados se indica previamente al nombre de los compuestos, por ejemplo 2,3,7,8 - TCDD.

Las características físico-químicas de estos compuestos, se pueden resumir en que son poco solubles en agua (≤ 0.12 ppb), decreciendo la solubilidad cuanto mayor es el número de átomos de cloro que presenta la molécula, sin embargo son un poco más solubles en disolventes y grasas. Tienen una presión de vapor de 6.2×10^{-7} Pa., característica ésta que les hace poco volátiles. Son estables a la descomposición térmica por debajo de los 850 grados centígrados, y se descomponen rápidamente por acción de la luz en presencia de hidrógeno. Sin embargo, cuando se incorporan al suelo o a las corrientes hídricas son prácticamente inalterables, persistentes y bioacumulativos.

<Picture>

fig1. Estructuras de dioxinas y furanos

Se ha determinado también que las dioxinas y los furanos policlorados coexisten además con familias polibromadas (PBDDs y PBDFs), que en general parecen ser menos tóxicos que los compuestos clorados, ya que la característica de toxicidad, entre otros factores, va asociada directamente al halógeno correspondiente.

EQUIVALENCIAS TÓXICAS

La mayoría de los estudios toxicológicos han determinado que el isómero más tóxico de las dioxinas es el 2,3,7,8. - TCDD, llamada T4CDD o dioxina de SEVESO. Dado que tanto en el medio ambiente como en procesos de incineración ocurren complejas mezclas de PCDD y PCDF, es necesario conocer la potencial toxicidad de las mismas, lo que se realiza comparando la toxicidad de los distintos isómeros de PCDDs y PCDFs con relación a la del más tóxico, y de forma que a cada uno de los compuestos se le asigna un factor denominado factor internacional de equivalencia tóxica (I-TEF). En esta comparación se suponen como premisas que todos los compuestos son absorbidos de igual forma y que los efectos son aditivos, aproximaciones que se deben admitir mientras no existan datos más precisos.

La suma de las distintas concentraciones de los isómeros de dioxinas y furanos multiplicados por el factor de equivalencia tóxica correspondiente, permite determinar la toxicidad equivalente de la mezcla (TEQ).

COMPOSICIÓN Y MECANISMOS DE FORMACIÓN

Existen numerosas hipótesis y estudios de investigación sobre el origen y mecanismos de formación de las dioxinas y furanos en procesos de incineración, que se han identificado como una de las principales fuentes de emisión de estos compuestos, si bien los mencionados estudios no se encuentran aun perfectamente contrastados. Aunque algunos informes como el de OMS de 1986 hablan de que la mayor parte de la ingesta diaria de dioxinas y furanos procede de vertidos de residuos clorados, gases de escape de automóviles y ciertas industrias del metal y papel.

Tres mecanismos son los propuestos inicialmente como causantes de la emisión de dioxinas y furanos en incineración:

a) Presencia de los mismos en la alimentación del incinerador.

Temperaturas superiores a 850 grados centígrados y tiempos de residencia del orden de 0,1 seg pueden originar la descomposición inicial de estos compuestos, pero posteriormente durante el enfriamiento de los gases, por medio de mecanismos de reformación, muy probablemente vuelvan a desarrollarse isómeros de dioxinas cloradas y furanos.

Otros rangos de temperaturas inferiores a las indicadas o condiciones de combustión no controladas satisfactoriamente, podrían ocasionar el paso de las dioxinas y los furanos sin reaccionar a través de la cámara de combustión.

Diversas medidas realizadas en incineradores de residuos sólidos urbanos de Alemania y Estados Unidos muestran que, aun siendo menor la cantidad total de dioxinas y furanos emitida que la de entrada, la toxicidad

equivalente de la mezcla es superior en el primer caso. También se ha constatado la mayor presencia de dioxinas y furanos en la chimenea de expulsión de gases que a la salida de la cámara de combustión, donde la temperatura es mayor.

b) Formación de estas sustancias a partir de precursores similares, como fenoles clorados y bifenilos policlorados (PCBs).

La formación de dioxinas a partir de compuestos similares es un proceso bastante bien conocido puesto que es la forma industrial de obtención de los mismos.

La concentración de fenoles clorados en los gases de combustión es muy baja, del orden de dos veces la concentración de dioxinas en el mismo flujo de gases. No está todavía muy claro si concentraciones bajas de fenol producen significantes cantidades de dioxinas a través de reacciones de dimerización bimolecular, como por ejemplo las que tuvieron lugar en el accidente de Seveso.

El otro grupo de precursores potencialmente importantes son los policloro-bifenilos (PCBs) presentes en los residuos o formados durante los procesos de combustión. La oxidación parcial de PCB a PCDF se produce relativamente rápido en condiciones de deficiencia de oxígeno.

c) Síntesis de estas sustancias en las diferentes fases del incinerador, en base a distintos precursores originados a partir de especies orgánicas presentes en los residuos y especies donadoras de cloro.

Estos mecanismos son considerados como las mayores fuentes de generación de dioxinas y furanos. Se postula que el calentamiento del aire en presencia de cualquier compuesto químico orgánico o inorgánico que tenga en su molécula átomos de cloro, hidrógeno y carbono, conduce a la formación de dioxinas bajo ciertas condiciones según el siguiente mecanismo:

-La combustión de plásticos que contienen cloro, como el PVC, producen ácido clorhídrico. La combustión incompleta de la lignina, procedente de los residuos derivados de la madera (papel, cartón, etc.) produce compuestos fenólicos. -La reacción entre los compuestos fenólicos y el ácido clorhídrico produce dioxinas y furanos. Todos estos mecanismos parece que se pueden producir tanto en fase gaseosa únicamente, como en fase gaseosa y sólida a la vez. En la fase gaseosa, diversos autores han constatado la formación de dioxinas a partir de los precursores de tipo fenólicos clorados mencionados anteriormente, existiendo un cierto equilibrio entre las reacciones de formación y descomposición a elevadas temperaturas. Sin embargo en las zonas de la instalación de incineración que se encuentran a temperaturas más bajas, en un rango de 250 a 450 grados centígrados aproximadamente, aquellas reacciones pueden disminuir su probabilidad de ocurrencia y, dependiendo a su vez de que las partículas actúen o no como catalizador de las mismas, llevarse a cabo fundamentalmente en fase heterogénea (sólida y gaseosa) sobre la superficie de las cenizas volantes.

<Picture>

CENTROS DE FORMACIÓN EN UNA INSTALACIÓN DE INCINERACIÓN

Las dioxinas y los furanos se forman, en general, en aquellas zonas de la instalación de incineración en donde la temperatura no es excesivamente alta, con rangos del orden de 250 a 450 grados centígrados. De acuerdo a esto pueden formarse en el sistema de depuración de los efluentes gaseosos, en la chimenea de evacuación de los gases e incluso en el penacho resultante de la emisión de estos humos, si las condiciones de temperatura, tiempo de permanencia y cantidad de oxígeno presente son las adecuadas.

En cuanto a la presencia de estos compuestos en los residuos a incinerar existe, en general, poca información al respecto. En residuos sólidos urbanos, diversos estudios cifran la concentración entre 0.0065 y 0.180 mg TEQ/ tonelada de residuo, mientras que otros lo reducen a los valores de la tabla 1, expresados en mg por tonelada de residuo.

Tabla 1 Concentraciones de dioxinas y furanos en R.S.U.

PCDD 5.0 - 13.8 PCDF 0.3 - 0.5 Total PCDD/F 5.5 - 14.1 TEQ 0.02 - 0.04

Existe una opinión generalizada de que la formación de estos compuestos depende más de las condiciones en que se lleve a cabo el proceso que de las características o contenidos en el propio residuo.

RANGOS DE EMISIÓN

Los niveles de emisión de dioxinas y furanos pueden variar ampliamente en función de un gran abanico de factores, algunos de los cuales se han mencionado anteriormente. Entre ellos cabe destacar una serie de causas independientes del tipo de instalación de incineración, como son la mayor o menor presencia de esos compuestos en los residuos a incinerar, la presencia de precursores de estructura y propiedades similares, o la presencia de precursores que propicien la síntesis a partir de compuestos de estructura más elemental. Sin embargo existen otros factores inherentes a la propia instalación, como son el sistema de incineración, antigüedad de la instalación, condiciones de operación de la planta, parámetros de diseño de los diferentes lugares de paso de los gases residuales o sistemas de depuración instalados.

Todo ello dificulta el poder establecer a priori un rango esperado de emisión de dioxinas en esta clase de procesos, pero de determinadas experiencias realizadas hasta el momento, relativamente limitadas, parece desprenderse que el orden de magnitud de este tipo de emisiones es similar o ligeramente mayor en la incineración de residuos industriales que en la de residuos sólidos urbanos. En condiciones normales de funcionamiento, según un estudio efectuado en un incinerador municipal en Suecia del tipo de parrillas cruzadas provisto de precipitador electrostático, los resultados obtenidos en condiciones normales de operación se encontraban en torno a los 10 ng/m³N en toxicidad equivalente. Sin embargo en los periodos de arranque la emisión detectada de dioxinas fue considerablemente mayor, llegando hasta los 53 ng/m³N en toxicidad equivalente. Otra conclusión interesante fue la de constatar diferencias de emisiones en función de la época del año, primavera u otoño, para similares condiciones de funcionamiento, ligeramente más bajas en el primer caso.

Otros estudios realizados en incineradores de residuos industriales han detectado emisiones del orden de 7.5 ng/m³ en toxicidad equivalente a la 2,3,7,8-TCDD y en uno de los casos más desfavorables (incineración de residuos clorados), de hasta 130.

Sin embargo la puesta en práctica de filtros de carbono activo puede reducir sustancialmente la emisión final de estos compuestos, de tal forma que se consigan valores de emisión de 0.5 a 2 ng/m³N de toxicidad equivalente. El valor de las emisiones debe situarse finalmente por debajo del límite (a partir de 1997) de 0,1 ng/m³N establecido en la propuesta de directiva normativa de la CEE o de determinados países punteros.

MÉTODOS DE EVALUACION

El desarrollo de equipos analíticos que posibilitan la detección de muy bajos niveles de determinados compuestos, ha hecho posible la puesta a punto de métodos de muestreo y análisis para la evaluación de la emisión de dioxinas y furanos, uno de cuyos principales problemas es precisamente el bajo nivel de concentración que presentan en el efluente de salida. Otro problema importante es poder distinguir los distintos isómeros de PCDD y PCDF de otros compuestos orgánicos de características similares, presentes en el efluente de salida en concentraciones de un orden de magnitud mucho mayor. Pero la principal dificultad es, sin duda, la imposibilidad actual de analizar "in situ", en tiempo real y con exactitud. Es decir si lo analizado es realmente lo que salía por la chimenea o si han habido variaciones en la composición durante las semanas que requiere el proceso de preparación y acondicionamiento de la muestra previo al análisis.

El empleo de una combinación de técnicas analíticas, como son la cromatografía en fase gaseosa sobre columna capilar acoplada a la espectrometría de masas en alta resolución, precedido de un adecuado protocolo de extracción y preparación de la muestra, ha posibilitado la separación y cuantificación de mezclas de los distintos compuestos orgánicos que se pueden encontrar en los humos de salida del incinerador.

El análisis tanto de los productos de descomposición térmica como en los medios biológicos son muy delicados y difíciles de realizar, necesitando un laboratorio acostumbrado, pues las técnicas de toma y de conservación deben respetarse bien, por esto sólo puede realizarse por un número muy restringido de laboratorios.

La Reglamentación impone que la combustión se realice a una temperatura mínima de 850 oC en cámara de combustión después de la inyección de aire, durante un período mínimo de 2 segundos y en presencia de, por lo menos, 6% en volumen de oxígeno medido en las condiciones reales. Con objeto de reforzar la legislación sobre contaminación atmosférica, cuyos límites deben estar basados en mediciones fiables, diversos países han desarrollado normalización experimental específica, en Europa : Alemania (VDI 3499), Francia (AFNOR X 43-413) e Italia (UNICHIM 825) o en Estados Unidos (Método 25 EPA). Así mismo se están desarrollando normas de muestreo y análisis en el seno del Comité Europeo de Normalización, existiendo en la actualidad una propuesta de norma (CEN/TC 264/WG 1 "Dioxins")

Básicamente los métodos propuestos consisten en cuatro fases: muestreo, extracción, cuantificación y evaluación

Muestreo:

Existen diversas variantes cuyos fundamentos son los que se describen a continuación. En todos los casos dado que las dioxinas y furanos pueden formarse tanto en fase gaseosa como en la superficie de las partículas sólidas, el muestreo debe realizarse de forma isocinética, debiendo estar provisto el tren de muestreo de filtros para retener la fase particulada y de adsorbentes adecuados para retener la fase gaseosa y los condensados. Es necesario extraer elevadas cantidades de gas debido a que las concentraciones de dioxinas en el efluente de salida son muy bajas. Es necesario además que el personal encargado de realizar el muestreo se encuentre convenientemente entrenado, experimentado y advertido en el muestreo de trazas.

Previamente a las tomas de muestras, para asegurar la calidad en la limpieza de los filtros y adsorbentes, diversas normas (CEN, AFNOR), prevén la adición de una cantidad conocida de isómeros de dioxinas y furanos marcados con C13, utilizado como patrón interno para determinar la eficacia de la recuperación de la muestra tomada con los diferentes adsorbentes.

Extracción:

Después del muestreo debe extraerse y concentrarse la muestra. Tanto la fase particulada recogida en el filtro y en los distintos componentes del tren de muestreo anteriores al mismo (que hay que lavar con un disolvente compatible con el análisis), como la fase gaseosa recogida en el cartucho adsorbente, junto con los condensados y el líquido de lavado de los distintos componentes del tren de muestreo posteriores al filtro.

Cuantificación:

La cuantificación de las PCDDs y PCDFs se realiza por medio de cromatografía de gases con detector de captura de electrones. Puede efectuarse una determinación confirmativa mediante espectrometría de masas, comparando los fragmentos iónicos obtenidos con la librería especializada del espectrometro.

Evaluación:

La evaluación de las lecturas se realizará en forma de un informe completo por escrito, a fin de obtener unos resultados del test fiables.

Como se ha comentado existen estudios (1) eminentemente científicos que afirman que el 99% de la exposición humana actual a las TCDD provienen de la cadena alimentaria en particular de la carne y productos de consumo diario. Es más, fuentes de las más temidas como las incineradoras de RSU, representan como máximo un 4% del total de TCDD emitidas según estimaciones llevadas a cabo en EEUU.

En este momento en que existen campañas en contra de la incineración de R.S.U. la problemática de éstos y del Medio Ambiente en general se está convirtiendo en un instrumento utilizado políticamente, así que la polémica esta servida, y por ello es necesario realizar una serie de preceptivos y justificados informes técnicos, sabiendo que la decisión es siempre política, nuestra obligación es analizar los problemas y las soluciones de manera científica para que los responsables puedan tomar decisiones. La polémica sobre las incineradoras de R.S.U. parecen estar centrada entre quienes las consideran Seguras y Económicas y los que las consideran Peligrosas y Caras. Este debate que une en la discusión aspectos económicos con seguridad es el que no se debe de hacer, son dos factores distintos que deben ser discutidos de manera separada.

En cuanto a las Dioxinas y Furanos habria que tomar en consideración las distintas voces que están opinando sobre el tema:

Si bien parecía que en un principio la EPA se decantaba en contra del tema tras varios años de estudio no ha dado ningún informe concluyente. Otras voces en los últimos años han opinado sobre el tema, como la OMS(2), la CEE en su V Programa de Acción Comunitaria en Medio Ambiente habla de la eliminación segura de los residuos no reciclables ni reutilizables, por incineración tanto con o sin recuperación de energía, así mismo una serie de investigadores que han seguido el estudio de los efectos en las víctimas de SEVESO han empezado a publicar sus conclusiones a partir del año 1986 diciendo que la dioxina no era tan peligrosa como creíamos, o el decimoséptimo informe de la Real Comisión sobre Contaminación Ambiental del Reino Unido y quizás como colofón nos encontramos con el artículo de Manuel Toharia (2) en el que se dice que la Academia de las Ciencias de Francia ha publicado un informe titulado "La dioxina y sus análogos", en el que se cita como frase final de este estudio:

.. En conclusión, se debe considerar que, en el estado actual de los conocimientos y teniendo en cuenta las débiles cantidades en juego, se poseen los medios para identificar y controlar el riesgo ligado a las dioxinas; estos productos no plantean ningún problema grave para la salud pública ...

Ante estas opiniones cabe preguntarse si los planteamientos que la consideraban como un veneno peligrosísimo no estaban equivocados, asimismo lo que como profesionales medioambientales también nos planteamos es que hasta que surjan los trabajos que disipen las últimas incógnitas es seguir controlando y corrigiendo las emisiones de las incineradoras.

Edelio Gago Herreras y Julián Pérez Pizarro

- (1) Human Exposure To Dioxin. Travis y Hattemer. The Science of The Total Environment 14 (1991) 97-127
- (2) 1986. World Health Organisation Report on a "Who meeting about PCDD and PCDF emissions from incineratory for municipal sewage sludge and solid waste Evaluation of human exposure"
- (3) Diario 16. Ciencia y Salud. Dioxina. Menos Lobos Manuel Toharia. Marzo 1995.

<Picture>Top

<Picture>

<Picture>

Constituyentes que en función de las cantidades, concentración y forma de presentación del residuo le pueden dar carácter tóxico y peligroso

<Picture>

Residuos que tienen como constituyentes C1 El berilio, compuestos del berilio. C2 Los compuestos de cromo hexavalente. C6 Los compuestos solubles de cobre. C8 El arsénico, compuestos del arsénico. C9 El selenio, compuestos del selenio. C11 El cadmio, compuestos del cadmio. C13 El antimonio, compuestos de antimonio. C14 El telurio, compuestos de telurio. C16 El mercurio, compuestos del mercurio. C17 El talio, compuestos del talio. C18 El plomo, compuestos del plomo. C21 Los cianuros inorgánicos. C23 Las soluciones ácidas y los ácidos sólidos. C24 Las soluciones básicas o las bases en forma sólida. C25 El amianto (polvos y fibras) C26 Los carbonilos metálicos. C28 Los peróxidos. C29 Los cloratos. C30 Los percloratos. C31 Los nitruros. C32 Los PCB y/o PCT. C33 Los compuestos farmacéuticos o veterinarios. C34 Plaguicidas y otros biocidas C37 Los isocianatos. C38 Los cianuros orgánicos. C39 Los fenoles, compuestos fenólicos. C40 Los disolventes halogenados C41 Los disolventes orgánicos no halogenados C42 Los compuestos organohalogenados, con exclusión de las materias polimerizadas inertes y otras sustancias que figuran en esta tabla C43 Los compuestos aromáticos, los compuestos orgánicos policíclicos y heterocíclicos. C46 Los éteres. C49 Todo producto de la familia de los dibenzofuranos policlorados. C50 Todo producto de la familia de las dibenzo-para-dioxinas policloradas. C52 Los productos a base de alquitran procedentes de operaciones de refinado y los residuos alquitranados procedentes de operaciones de destilación. C53 Los aceites usados minerales o sintéticos, incluyendo las mezclas agua-aceite y las emulsiones. C54 Las sustancias químicas de laboratorio no identificables y/o nuevas cuyos efectos sobre el medio ambiente no sean conocidos.

[Legislación Específica]

<Picture><Picture>

<Picture>

<Picture>

<Picture>INTRODUCCIÓN<Picture>PAPEL

CARTÓN<Picture>ALUMINIO<Picture>PLÁSTICO<Picture>VIDRIO<Picture>MATERIA

ORGÁNICA<Picture>RAZONES PARA RECICLAR<Picture>INFORMACIÓN Y/O COMENTARIOS

y

INTRODUCCIÓN

La gran cantidad de basura que se tira anualmente en México está creando serios problemas, sobre todo cuando llega el momento de deshacernos de ella

• Si se quema, contamina el aire. • Si se entierra, el suelo. • Y si se desecha en ríos, mares y lagos, el agua

Día a día se consumen más productos que provocan la generación de más y más basura, y cada vez existen menos lugares en donde ponerla. Para ayudar a la conservación de nuestro medio ambiente, podemos empezar por revisar nuestros hábitos de consumo.

Al comprar, evita los empaques excesivos, y prefiere los que están hechos de material reciclado (o reciclable), pregúntate si realmente lo necesitas, después, si lo puedes reutilizar, ó bien, reciclar.

Lo que compras, comes, cultivas, quemas o tiras, puede establecer la diferencia entre un futuro con un medio ambiente sano, o una destrucción de la naturaleza con rapidez asombrosa.

Tú puedes ser parte de la solución al problema de la basura al reducir y no mezclar (separar) para que ésta se pueda reutilizar y reciclar.

Reducir:

Evitar todo aquello que de una u otra forma genera un desperdicio innecesario.

Reutilizar:

Volver a usar un producto o material varias veces sin tratamiento. Darle la máxima utilidad a los objetos sin la necesidad de destruirlos o deshacerse de ellos.

Reciclar:

Utilizar los mismos materiales una y otra vez, reintegrarlos a otro proceso natural o industrial para hacer el mismo o nuevos productos, utilizando menos recursos naturales.

Para Separar la Basura...

Puedes utilizar botes, contenedores, charolas, bolsas, cajas distintas, con algún letrero que identifique el tipo de material que ira en ellos.

• No se pretende hacer publicidad a ninguna de las marcas aquí mencionadas, se han citado como ejemplos solo para ilustrar mejor al lector acerca del proceso de separación y reciclaje.

<Picture><Picture>

PAPEL Y CARTON

• Periódico • Libretas • Revistas • Hojas • Sobres • Legajos • Cajas • Folletos. • Invitaciones • Envolturas de papel y/o cartón.

NO Mezcles estas impurezas que perjudican el proceso de reciclaje del papel.

Papel del tipo:

• Carbón o autocopiante • Plastificado • Aluminio • Celofán • Fax • Fotografías • Encerado (envases de tetra pack de leche, jugos, etc.) • Con adhesivos (post it, calcamonías) • Doméstico usado (servilletas, higienico, vasos, etc.) • Folletería que contenga cualquier material adicional que no sea papel y/o cartón.

CONDICIONES:

El papel y/o cartón deberá estar seco y amarrado o en bolsas.

AMBIENTIPS

• No malgastes papel, reutilízalo al máximo. • Usa siempre las dos caras de las hojas. • Utiliza hojas de reuso (impresas por un lado), para borradores, tareas, fax, comunicación informal, interna, blocks de recados telefónicos, etc. • Usa trapos de cocina en vez de rollos de papel. • Rechaza folletos gratuitos que no utilizarás. • Compra productos que estén mínimamente envueltos. • Usa papel Reciclado siempre que puedas (Esto aumentará su demanda, y ontribuirá a su mayor producción y con ello la preservación de recursos naturales). • Planta un árbol o una planta donde se pueda. • Cuida las áreas verdes. • ¡Si imprimes esta página, comparte la información!

El papel se hace a partir de los árboles, y éstos son una parte vital de nuestro medio ambiente, y desde luego, no se merecen el destino que les estamos dando. Los árboles y los bosques protegen la frágil capa de suelo y mantienen el equilibrio adecuado de la atmósfera para todas las formas de vida.

¡SALVALOS!

<Picture><Picture>

ALUMINIO

• Latas de jugos (* Del Valle, V8, etc.) • Latas de refrescos (* Pepsi, Coca Cola, etc.) • Latas de cervezas (* Budweiser, Tecate, XX lager, Carta Blanca, Modelo, Budweiser, etc.) • Latas de contenedores de diversas bebidas. (* Gatorade, Kalahua, Presidencola, etc.) • NO confundir estas latas de aluminio con las de lámina de conservas o de alimentos. (chiles, sopas, frijoles, etc.) ni revolver con papel aluminio, alambres, o cualquier otro objeto de metal

CONDICIONES

De preferencia aplastadas, pues ocupan menos espacio y se facilita su manejo y peso, deberán ir en bolsas grandes de plástico, cajas o redes.

AMBIENTIPS

•Prefiere las bebidas contenidas en envases retornables y tamaño familiar a las enlatadas. •Antes de tirar un porta "six pack" (los círculos de plástico que mantienen unidas a las bebidas de lata) a la basura, corta cada círculo con unas tijeras o navaja, pues con ello evitas que animales y peces queden atrapados con sus picos, cuellos o cuerpos en sus anillos. •No olvides recoger tus latas cada vez que vayas de día de campo y convence a tus amigos de que ellos hagan lo mismo. •Anima a mercados y tiendas grandes o pequeñas cercanas a tu hogar, a la instalación de programas de reciclaje de aluminio.

El aluminio es un metal que se obtiene de la tierra; es muy ligero y difícil de oxidar, producir latas con aluminio reciclado aminora la contaminación del aire (por ejemplo, los dióxidos sulfúricos, que producen la lluvia ácida) en un 95%.

<Picture><Picture>

PLASTICO

En particular, el plástico tiene muchas clasificaciones y presentaciones de diferentes tipos, por lo que es necesario estar muy bien informado para realizar efectivamente el proceso de su separación y reciclaje. La mayoría de las botellas de plástico, está marcado con símbolos, números o códigos que indican la clasificación a la que pertenece, esto puede ayudar a identificarlos, pero si no es así, aquí te orientamos con algunos ejemplos:

<Picture>PLASTICO TEREFTALATO DE POLIETILENO.SIMBOLO PET O PETE CON EL NUMERO 1.

Ejemplos:

•Botes de agua purificada (*Junghanns, Agua Sport, Tlacote, Evian, Sta.Maria, Gardel, Atlantis, Bonafont, etc.) •Botes de Aceite para cocinar. (*Aceite Capullo, Mazola, Dorela, 1-2-3,Coroná, Sarita, etc.) •Botellas de refresco no retornables (*Pepsi, Barrilitos, Gatorade, Fiesta Cola, del Valle, etc.) •Botellas de refresco retornables (*Coca-Cola, Pepsi, Joya, etc.) •Botellas de Limpiadores (*Pinol, Scotch Brite, Pino Patito,Fabuloso, Flash, etc)

<Picture>PLASTICO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD SIMBOLO PEAD O HDPE CON EL NUMERO 2.

Ejemplos

•Botes de leche de 1 galón, 1/2 galón. (*Lala, Lagrange, Las Puentes, Green Hill, etc.) •Botes de 1 galón de jugos de naranja, manzana, uva, etc. (*Beberé, Las Puentes, Sunrise, Tropicana, Disfruta, etc.) •Botes de Yoghurt de 1/2 galón (*Yoplait, Chambourcy, Lala, Danone, Club, etc.) •Botes de jugos pequeños (*Frutisi, Frutier, Beberé, Pau Pau, etc.) •Contenedores de detergentes, blanqueadores y limpiadores de ropa. (*Clorox, Clorarex, Cloro Patito, Palmolive, Vel Rosita, Suavitel, Downy, Ensueño, Drim, Woolite, etc.) •Botes de limpiadores (*Lavatrastes Eficaz, Maestro Limpio, Ajax, Acido Muriático "Sultana", Brasso, Easy Off, Pato Purific, Windex, Harpic, etc.) •Botes de Shampoo y Enjuagues para el cabello. (* Caprice, Pert Plus, Salon Selectives, White Rain, etc.)

No confundas ni mezcles con el plástico con las características antes mencionadas lo siguiente:

•Bolsas de frituras, papitas y botanas (*Leo, Sabritas, Kodiz, Barcel, etc.) •Cualquier bolsa de plástico transparente o de color. •Plumas, discos, juguetes u otros artículos que contengan objetos o metales adicionales que no sean de plástico.

CONDICIONES:

Debes poner el plástico en los contenedores destinados a ello y posteriormente pasarlo a bolsas, redes o apilleras grandes.

AMBIENTIPS

•Sería de gran ayuda para el proceso de reciclaje, si antes de depositar el plástico en el contenedor correspondiente se enjuaga con agua dos veces para evitar ensuciar los otros que están limpios y la proliferación de plagas (moscas, roedores, cucarachas). •También sería conveniente quitar la tapa y etiqueta del envase, pues esto es de diferente materia. •En la primera etapa de la etapa no se exigirán estos requisitos en el plástico para no causarte esfuerzos adicionales, pero ya lo sabes, si deseas que tu participación y ayuda sea aún mayor. •Lleva tus propias bolsas de tela cada vez que vayas de compras, evitando con ello, utilizar una nueva bolsa de plástico cada vez. •Si olvidas llevar tu bolsa, o si en principio te avergüenzas de ello, al ir de compras de cosméticos, ropa, etc., entonces deposita en una sola bolsa grande todas tus compras. •Promueve con tu familia, vecinos y amistades el uso de productos que vengan en recipientes rellenables. •Si tienes niños, usa pañales de tela. (los desechables tardan aprox. 500 años en degradarse). •Evita los productos que vengan empaquetados con mucho plástico, papel, etc. •Rechaza los productos, frutas, verduras o carnes que vengan en bandejas de plástico o unicel, ¡no las necesitan!, y además si las seleccionas naturalmente, es mejor. •Al ir al supermercado, las frutas y verduras grandes como el plátano, la piña, la sandía, no necesitan de bolsas para pesarse o llevartelas a casa. ¡Evítalas! •Almacena la comida en el refrigerador o tu lonche en recipientes reutilizables, no desechables. •Evita los vasos y platos desechables y sustituyelos por los de vidrio o plástico reutilizable. •Oponte a las celebraciones con globos, en donde dejarán a estos libres por el espacio.

El plástico está hecho con uno de los recursos naturales más valiosos (NO RENOVABLES) de la tierra: el petróleo. Para la fabricación de productos plásticos se parte del petróleo bruto, que al ser refinado da plásticos y carburantes. Además, los plásticos de constitución muy próxima a la de los carburantes, tienen un poder calorífico muy elevado, por lo que sus desechos pueden convertirse en combustibles de alta calidad, y esto puede ocasionar graves riesgos ambientales debido a la síntesis de dioxinas y otras sustancias peligrosas que pueden emitirse a la atmósfera. Debido a todo esto, los plásticos deberían ser reciclados al máximo.

<Picture><Picture>

EL VIDRIO

•envases de alimentos (*conserva, aceites, salsas, etc.) •envases de bebidas (* jugos, cervezas, refrescos no retornables, vineras, etc.) hay que separar los envases de vidrio de acuerdo a estos colores:

1.Verde (*Cerveza XX lager, Caribe Cooler, 7up, Dietafiel, Peñafiel, toronja, Whisky J&B,Coca Cola, Topochico, Bacardi, etc.) 2.Ambar/café (*Consomate, cerveza, Coffeemate,Knorr Tomate, Ron Bacardi, Solera Bacardi, etc.) 3.Cristalino (transparente) (*Salsa Catsup, Aceite, Miel Karo, Mermelada McCormick, Cajeta Corona, Mole Doña María, Jugo del Valle, V8, envases soperos, etc.)

NO Revuelvas con los envases de vidrio anteriores lo siguiente, pues perjudica el proceso de reciclaje, y la pureza y color del vidrio reciclado que se generará.

•Focos •Cristal de ventanas •Espejos •Lentes •Objetos y adornos de cerámica •Ceniceros •Cristal de Plomo •Cristal de Laboratorio •Cinescopio •Faros de Autos

CONDICIONES:

•Procura utilizar para almacenar el vidrio contenedores resistentes. •Elimina las tapas de los envases pues generalmente son de otros materiales.

AMBIENTIPS.

•Por un mundo más transparente... Recicla tus envases de vidrio. •Prefiere y consume productos en envases retornables. •En la oficina, ten tu propio vaso o taza, y destina algunos para visitantes, para evitar el uso de desechables. •En las fiestas o días de campo, haz un esfuerzo por utilizar tu vajilla de vidrio o plástico y no utensilios desechables. •Para evitar la contaminación en rellenos sanitarios lo mejor es que separes tus desechos en reciclables y no reciclables y los lleves a un centro de Acopio

BENEFICIOS DE RECICLAR EL VIDRIO

Ahorro de energía.- Por cada envase que se recicla se ahorra la energía necesaria para mantener un televisor encendido por 3 horas.

Recicle 100%. - El vidrio se recicla las veces que se requiera y en la forma que se quiera, no pierde propiedades

El vidrio reciclado ahorra de un 25 a 32% de la energía utilizada para producir vidrio nuevo.

<Picture><Picture>

MATERIA ORGANICA

Definición: Compuestos que forman o formaron parte de seres vivos. Conjunto de productos de origen animal y vegetal.

Con la Materia Organica se puede hacer la "COMPOSTA" que es un magnífico abono para la tierra, y además con esto se reducirá tu basura enormemente. Restos de comida, frutas y verduras.

•Cáscaras de huevo •Restos de café •Cenizas •Aserrín, paja •Trozos de madera •Poda del jardín (césped, ramas, hojas, raíces, pétalos, etc.)

CONDICIONES:

NO pongas aceite, o comida muy grasosa.

•Evita los restos con mucha carne (ya que tardan mucho en descomponerse). •Cuida que no vaya ningún otro elemento inorgánico (plástico, vidrio, papel o aluminio)

¿COMO HACER LA COMPOSTA?

1. Escoge un lugar en el patio o jardín, de preferencia lejos de la casa o la cocina, y fijate que le de sol y sombra durante el día. 2. Destina un bote, hoyo o caja metálica grande (mínimo 1 m³, máximo 1.5 m³) con tapa. Coloca una capa gruesa (aproximadamente 6 cms.) de aserrín o tierra. 3. Vierte ahí todos los desechos orgánicos. 4. Cúbrelos con otra capa de tierra. 5. Rocía con un poco de agua (indispensable para mantener la humedad) y espolvorea con cal para evitar malos olores. 6. Se cubre con un plástico, tapa, o capa de tierra. 7. Cada vez que integres nuevos desechos orgánicos, o bien a la semana, se revuelve todo con una varilla (es importante para ventilar los materiales) y se repiten los pasos del 4 al 7.

En 3 ó 4 semanas se observará que es difícil distinguir lo que se fue depositando, a excepción de los desperdicios más recientes.

Después de 1 a 4 meses se convertirá en "humus" (es el nombre vegetal de la tierra que se forma por la descomposición de la materia orgánica). Y esto resulta en un abono estupendo con vida, con una gran densidad y variedad de microorganismos que sintetizan enzimas, vitaminas, hormonas, etc. y que repercuten favorablemente en el equilibrio biótico del suelo.

AMBIENTIPS

•Aprovecha lo más que puedas de las hortalizas, lava bien las verduras en vez de pelarlas (muchas de ellas tienen la mayor parte de sus proteínas y vitaminas en la cáscara). •No prepares mas comida de la necesaria. •Deja un recipiente al lado del fregadero para depositar ahí tus restos orgánicos. •Reparte lo que se pueda entre los animales domésticos o los pájaros que visitan el jardín, terraza o balcón •Haz tu propia composta, en lugar de utilizar fertilizantes que contienen tantos productos químicos. •Si no tienes jardín, ofrece tus materiales orgánicos a quien lo tenga, o bien comunícale con algún productor de fertilizantes, agricultor o criador de animales o alguien que le saque a estos desechos el máximo provecho.

La Basura Orgánica, cuando se descompone produce metano, (gas que atrapa la energía solar y provoca junto con otros gases, el aumento de la temperatura global) una molécula absorbe 20 veces más calor que una de CO₂. Es el peor gas para el aire. Además la basura orgánica en los tiraderos a cielo abierto, es foco de infecciones, gusanos y malos olores

Una política encaminada a reciclar los materiales orgánicos reduce la contaminación y fomenta la producción, reconstruyendo la estructura de la tierra y devolviendo a la naturaleza los nutrientes que le hemos tomado prestados.

<Picture>

ALGUNAS RAZONES PARA RECICLAR.

1. Se ahorra espacio. Los rellenos sanitarios son la forma más común y rápida para deshacernos de la basura. Sin embargo, estos suelen llenarse rápidamente debido a la alta generación de la misma; encontrar nuevos lugares para rellenos sanitarios resulta cada vez más difícil. Por otra parte, la incineración, a pesar de ser una alternativa popular, produce residuos altamente tóxicos que necesitan especial manejo. 2. Se ahorran Recursos Naturales. Como agua, energía, petróleo. En el proceso de reciclado, por lo general se utilizan menos de estos recursos, para la fabricación de materiales que cuando se parte de materia prima virgen. 3. Se reduce la Contaminación. Al crear nuevos productos (papel, aluminio, plástico, vidrio) a partir de materiales reciclados se reduce la contaminación del aire y agua. Reciclar reduce también emisiones a la atmósfera de bióxido de carbono, el cual contribuye de una manera determinante en el efecto invernadero, el peligro global, la lluvia ácida, la ruptura de la capa de ozono, la extinción de especies y la deforestación.

Para mayor información, dudas o comentarios favor de dirigirse a:

ITESM
CENTRO DE CALIDAD AMBIENTAL.
Coordinación de Difusión
(con la Lic. Ivonne Navas)
inavas@campus.mty.itesm.mx
Av. Eugenio Garza Sada 2501 Sur
Edificio CEDES 4 piso,
Monterrey, N.L.
Tels. Conm. (8)3582000 Exts. 5216 a la 5219
3284146 al 48
Fax 3284144/ 3596280.

| PANTALLA ANTERIOR | PANTALLA PRINCIPAL |

Fecha de última modificación 27/Mar/96 RGD

DIOXINAS Y FURANOS

Origen

☯ Natural:

- Incendios forestales
- Erupciones volcánicas

☯ Antropogénica:

- Actividad industrial
- Procesos de combustión
- Fangos de plantas de tratamiento de aguas residuales
- Accidentes

DIOXINAS Y FURANOS

Propiedades físicas y químicas

- ☯ Hidrocarburos aromáticos halogenados
- ☯ Estructura de 3 anillos, 2 bencénicos y en medio una dioxina o furano
- ☯ 210 compuestos: 75 isómeros dioxinas y 135 isómeros furanos
- ☯ Sólidos cristalinos e incoloros a T ambiente
- ☯ Elevada estabilidad térmica, baja volatilidad, sensibles a la luz UV
- ☯ Baja solubilidad en agua (inversamente proporcional al No. de Cloros)
- ☯ Lipofílicos (contaminantes químicos altamente persistentes)
- ☯ Facilidad de evolucionar a procesos de bioacumulación

DIOXINAS Y FURANOS

Rutas de exposición y Toxicidad

- ☯ Por ingestión de alimentos
- ☯ Por inhalación
- ☯ Por contacto dérmico

- ☯ I-TEF (factor de equivalencia tóxica internacional)
- ☯ TEQ (Equivalente tóxico total)

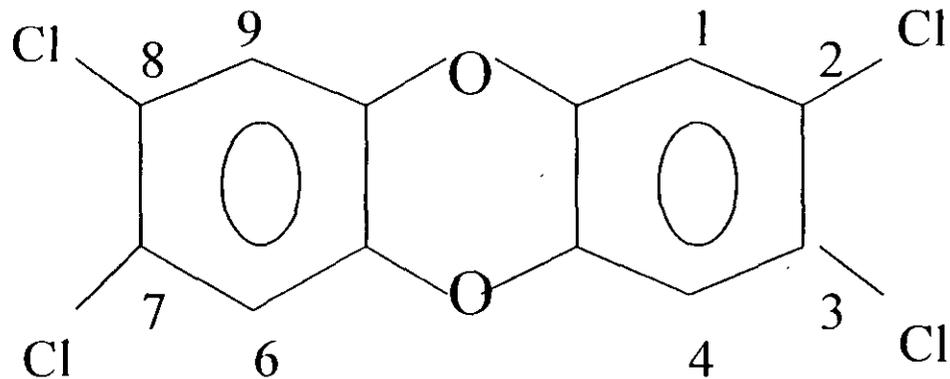
DIOXINAS Y FURANOS

Conclusiones

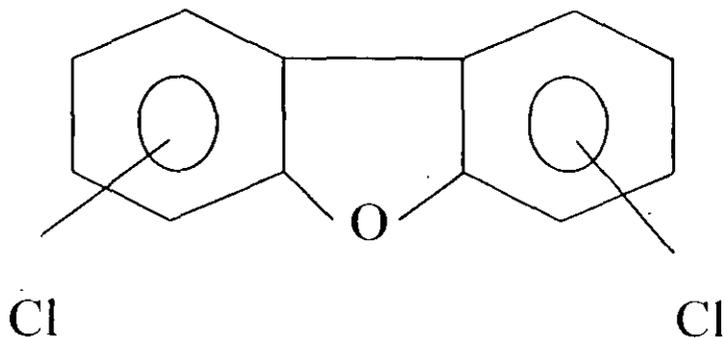
- ☯ Eliminar el uso de herbicidas contaminados
- ☯ Concientización sobre los riesgos de la incineración de basura
- ☯ Evitar el consumo de papel y cartón blanqueados con Cloro
- ☯ No consumir pescado proveniente de aguas contaminadas con residuos de fábricas de pulpa de papel
- ☯ Promover estudios toxicológicos
- ☯ Controlar y corregir emisiones de estos

DIOXINAS Y FURANOS

Estructura química



2,3,7,8-TCDD





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

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS ABIERTOS

**DIPLOMADO INTERNACIONAL EN RIESGO
AMBIENTAL**

**MODULO III: METODOS DE ANALISIS Y CUANTIFICACION
DE RIESGOS AMBIENTALES**

TEMA

METODOS DE ANALISIS DE RIESGOS

**EXPOSITOR: ING. MARTINIANO AGUILAR RODRIGUEZ
PALACIO DE MINERIA
JUNIO DEL 2001**

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.)

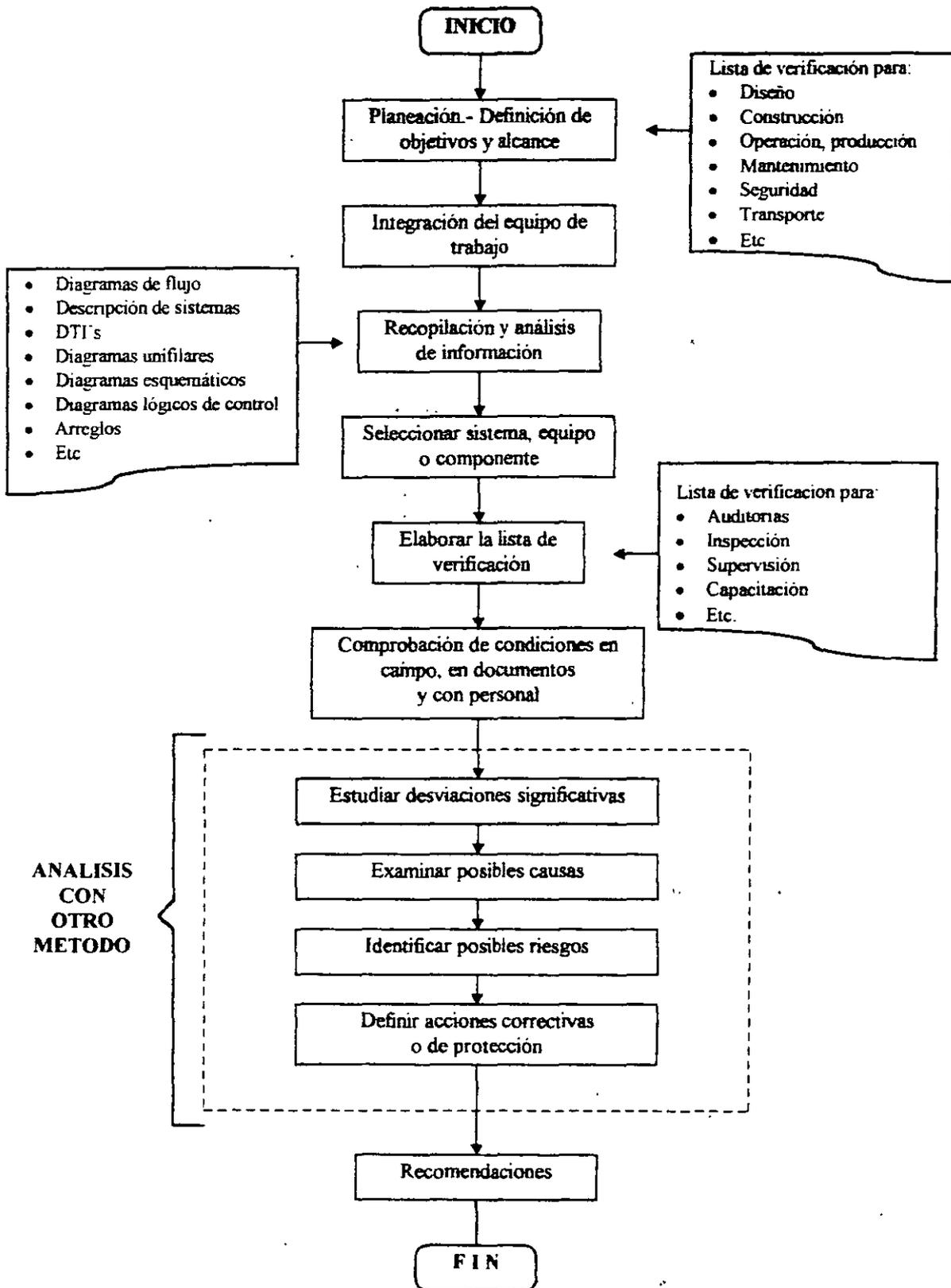


FIG. V-1.- FLUJOGRAMA DEL METODO "LISTA DE VERIFICACION (CHECK LIST)"

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 más 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).

AREA O PARTE	NUM	PARTE, ACTIVIDAD	CUMPLE O SE TIENE?			OBSERVACIONES
			SI	NO	NA	
R E A C T I V O N E S	1	a) Se definen las reacciones potencialmente peligrosas? b) Se aislan? 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 arrestaflamas 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?				

- 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	
	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 provisiones 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 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?					

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 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?				
GENE- RAL	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.				

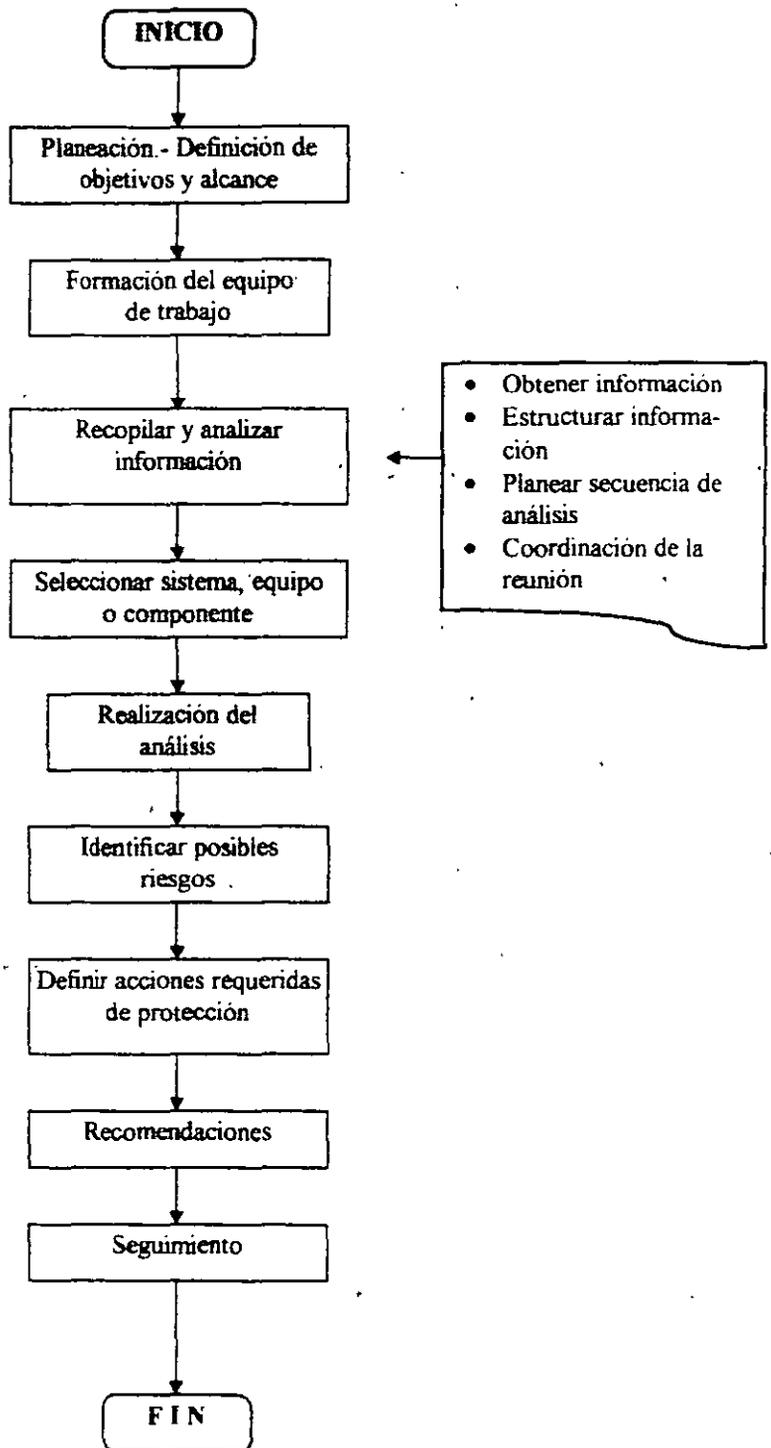


FIG. V-2.- FLUJOGRAMA DEL METODO "QUE PASA SI ... (WHAT IF ...)"

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.

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

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 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)

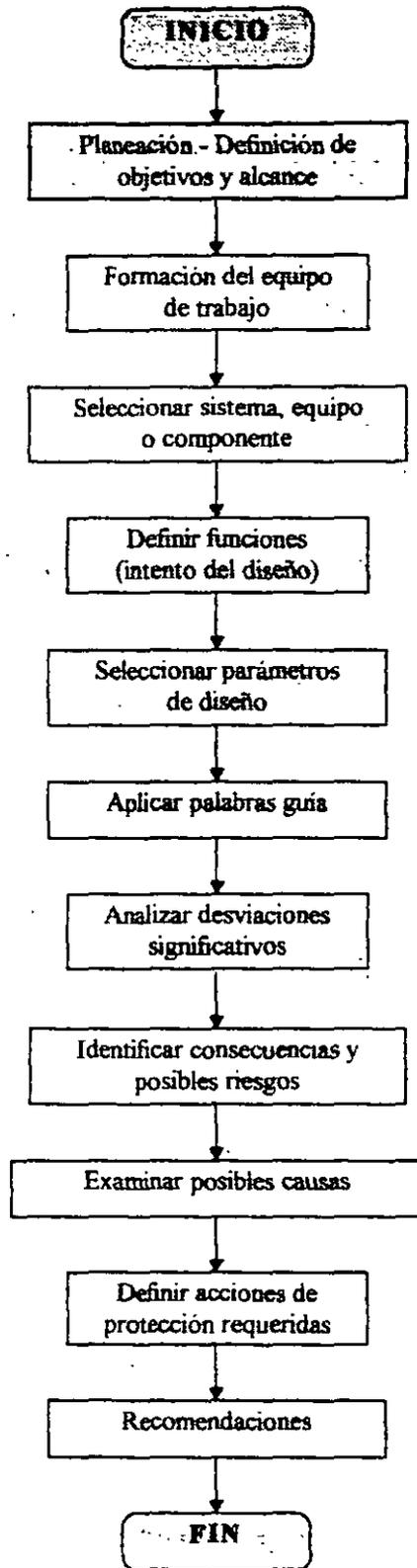


FIG. V-3.- FLUJOGRAMA DEL METODO HAZOP

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 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 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 falias
- 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 _____

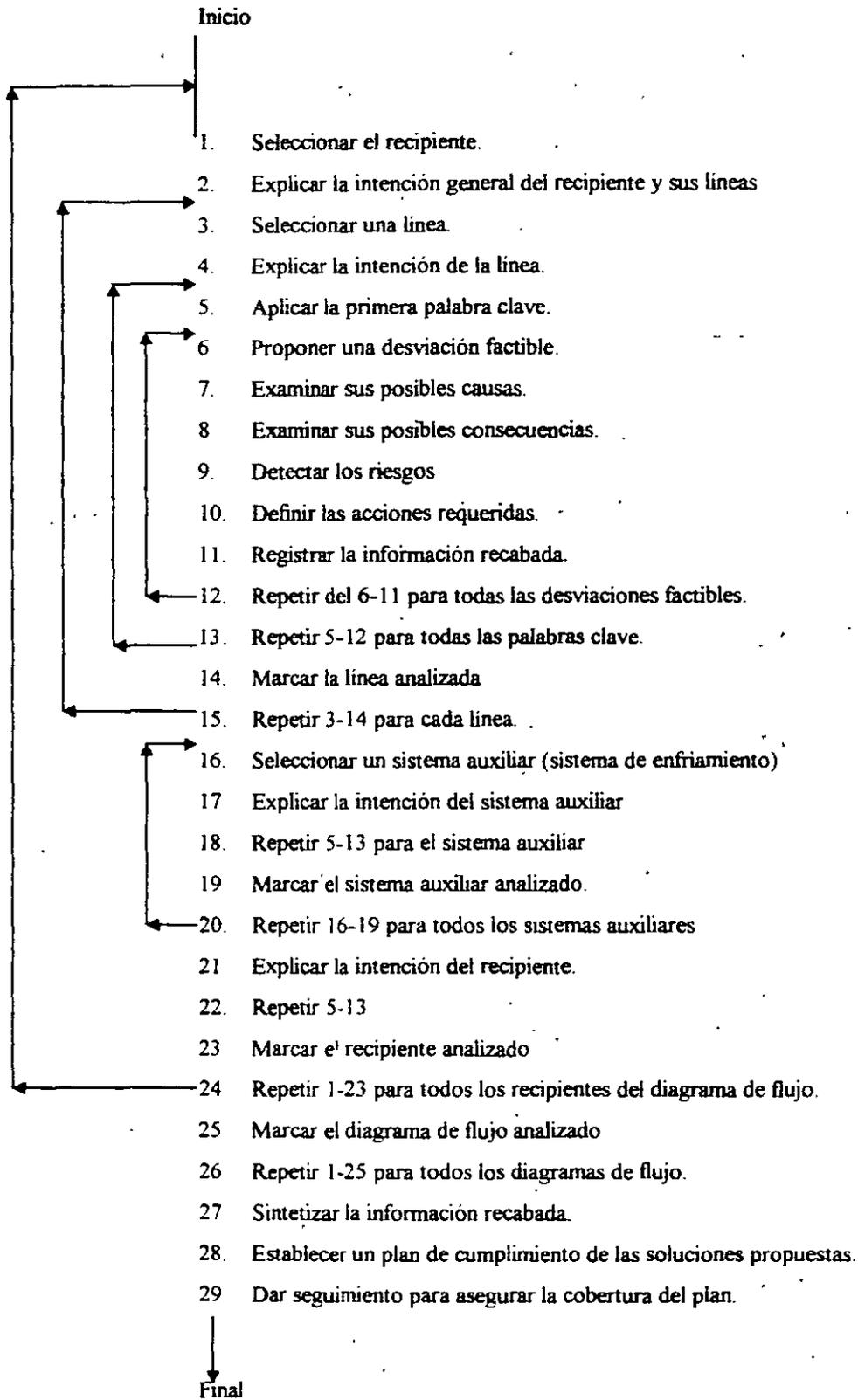
EQUIPO _____ PARTE _____ COMPONENTE _____

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 este 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 estas cuatro etapas.

5.1 Definición del Sistema, sus funciones y Componentes.

Los puntos que se incluyen en esta etapa del AMFE son los siguientes:

- definición precisa del sistema;
- las principales funciones del sistema;

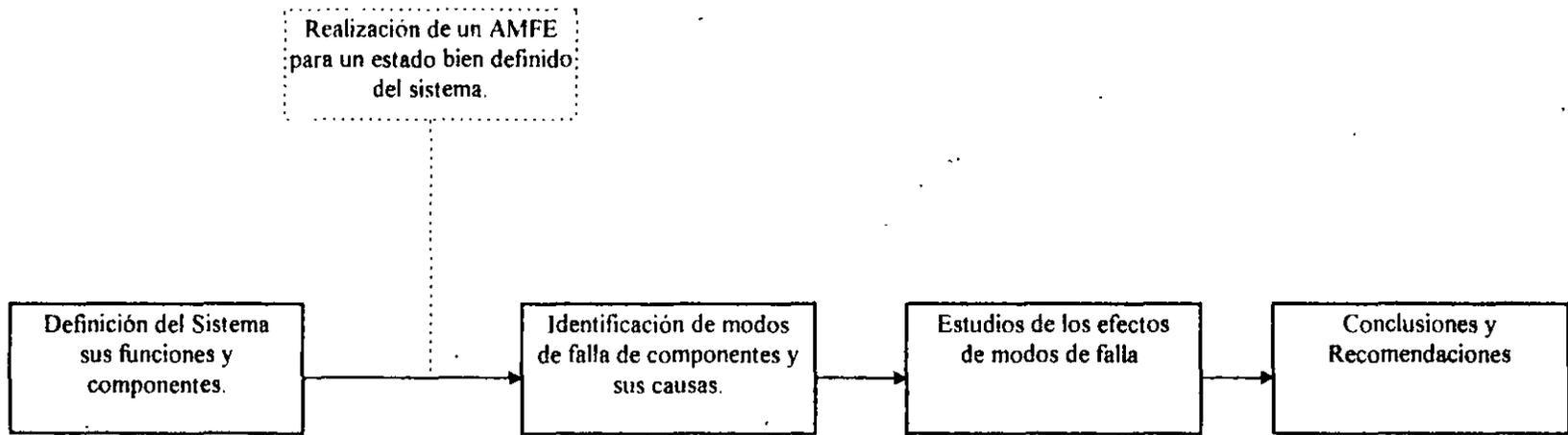


FIG. V-5.- ETAPAS EN LA REALIZACIÓN DE UN AMFE

- 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 inventarien 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 esta 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 inventarían 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.

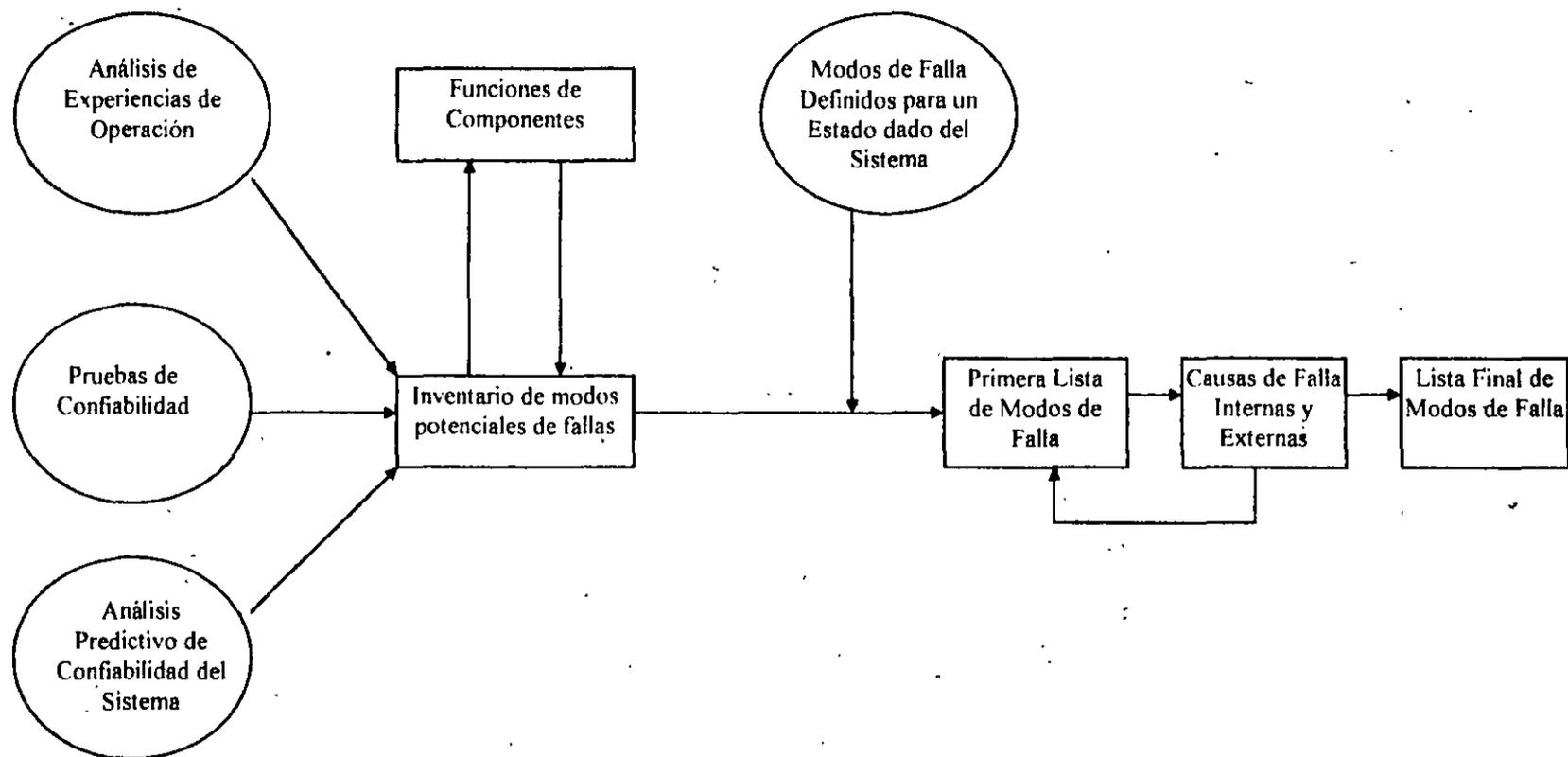


FIG. V-6.- IDENTIFICACIÓN DE MODOS DE FALLA DE COMPONENTES Y SUS CAUSAS.

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,
7.- Falla abierta	aplicables a las características del
8 - Falla cerrada	sistema, requerimientos y restricciones
9.- Fuga interna	operacionales.
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 M_1 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 M_1 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.

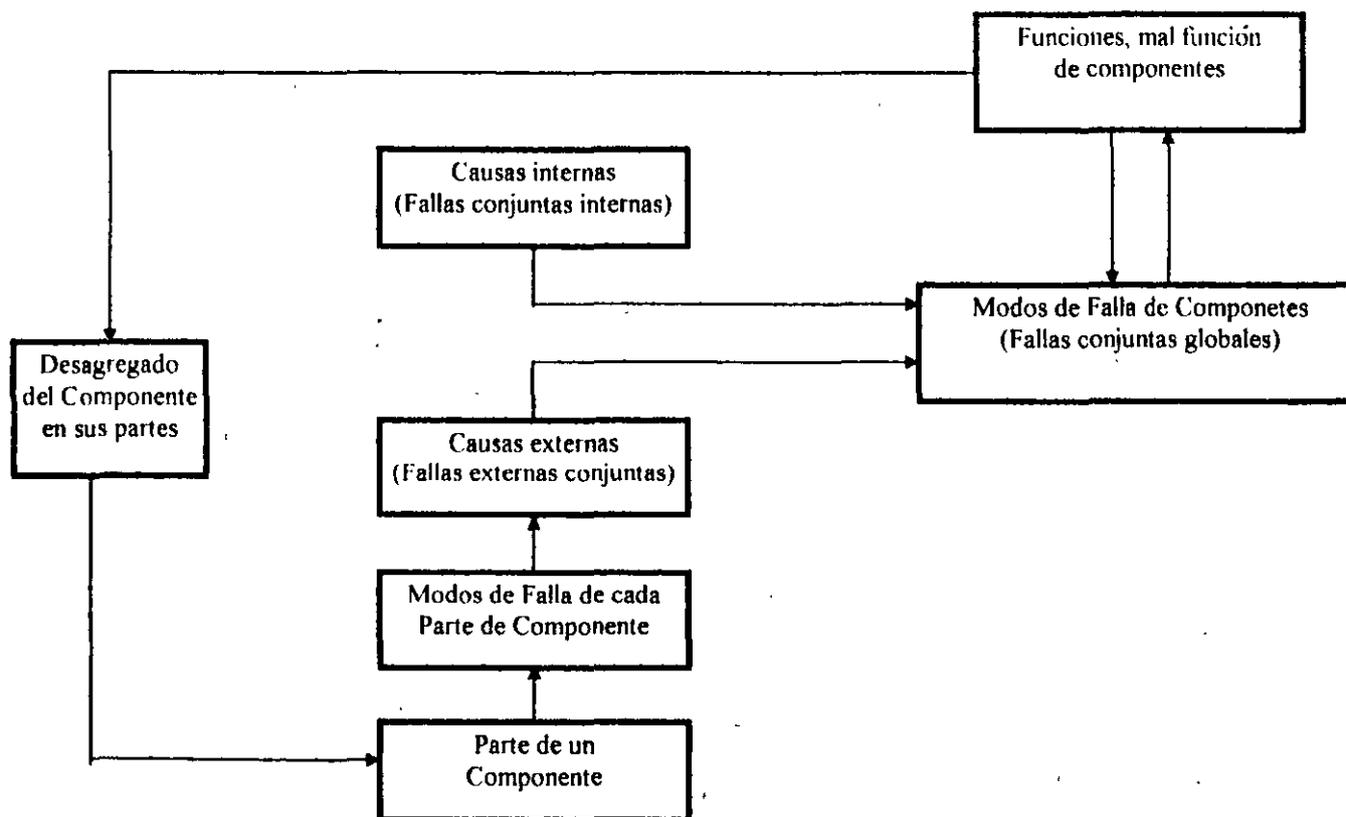


FIG. V-7. IDENTIFICACIÓN DE MODOS DE FALLA DE COMPONENTES.

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				ANÁLISIS 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 cómo 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 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 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 periodo 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 ejército
- 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 más 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 estas 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 creó 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 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 mas 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 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.

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 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 tomado 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:

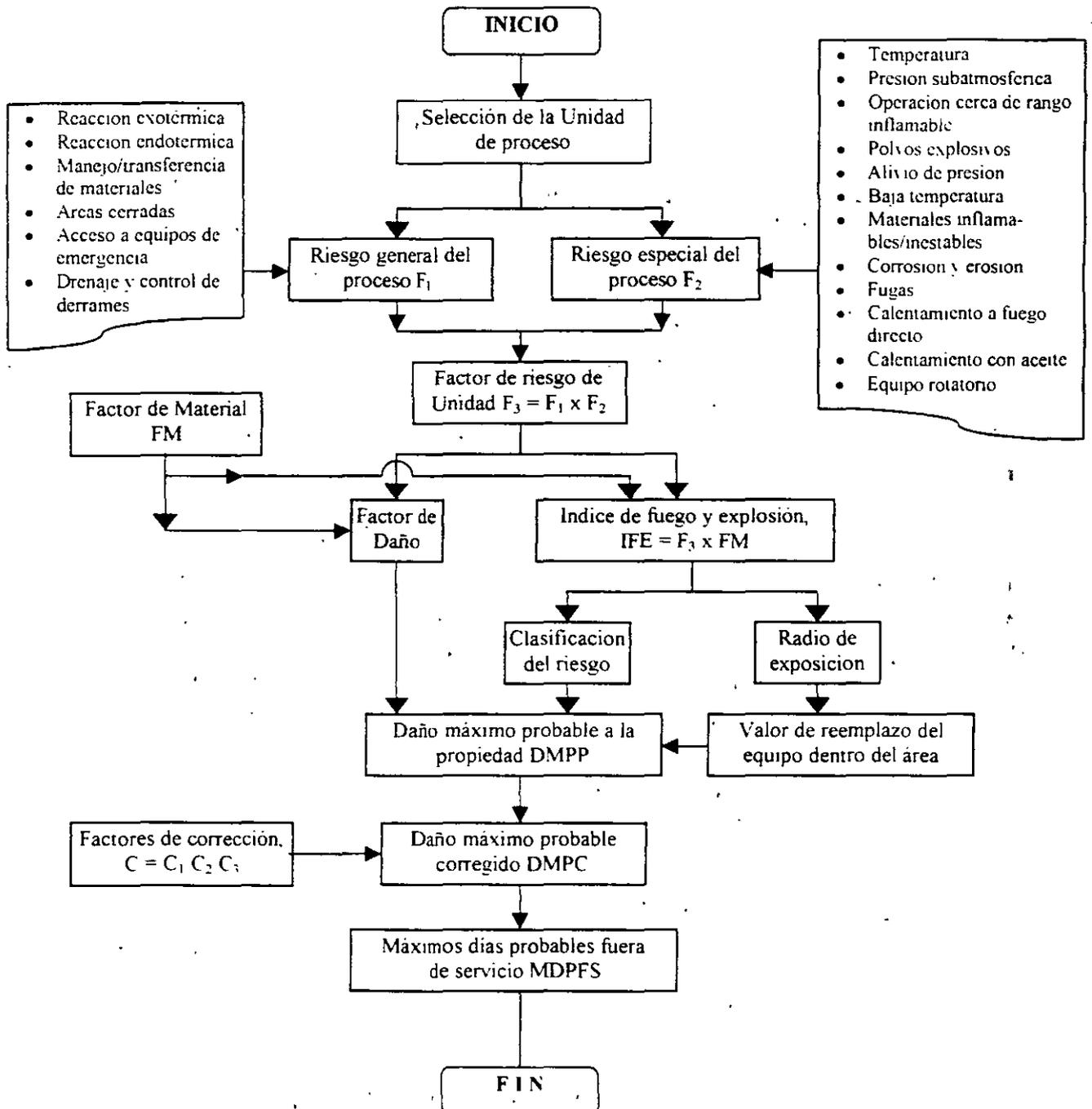
- Continuará incrementándose la preocupación pública acerca del riesgo, a pesar de la tendencia simultánea hacia una vida mas larga y saludable.
- Parte de lo anterior se debe a la naturaleza cambiante del riesgo que enfrenta la sociedad moderna, incluyendo el aumento en el número de "misteriosos" peligros 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 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. 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 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 (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:

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

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.

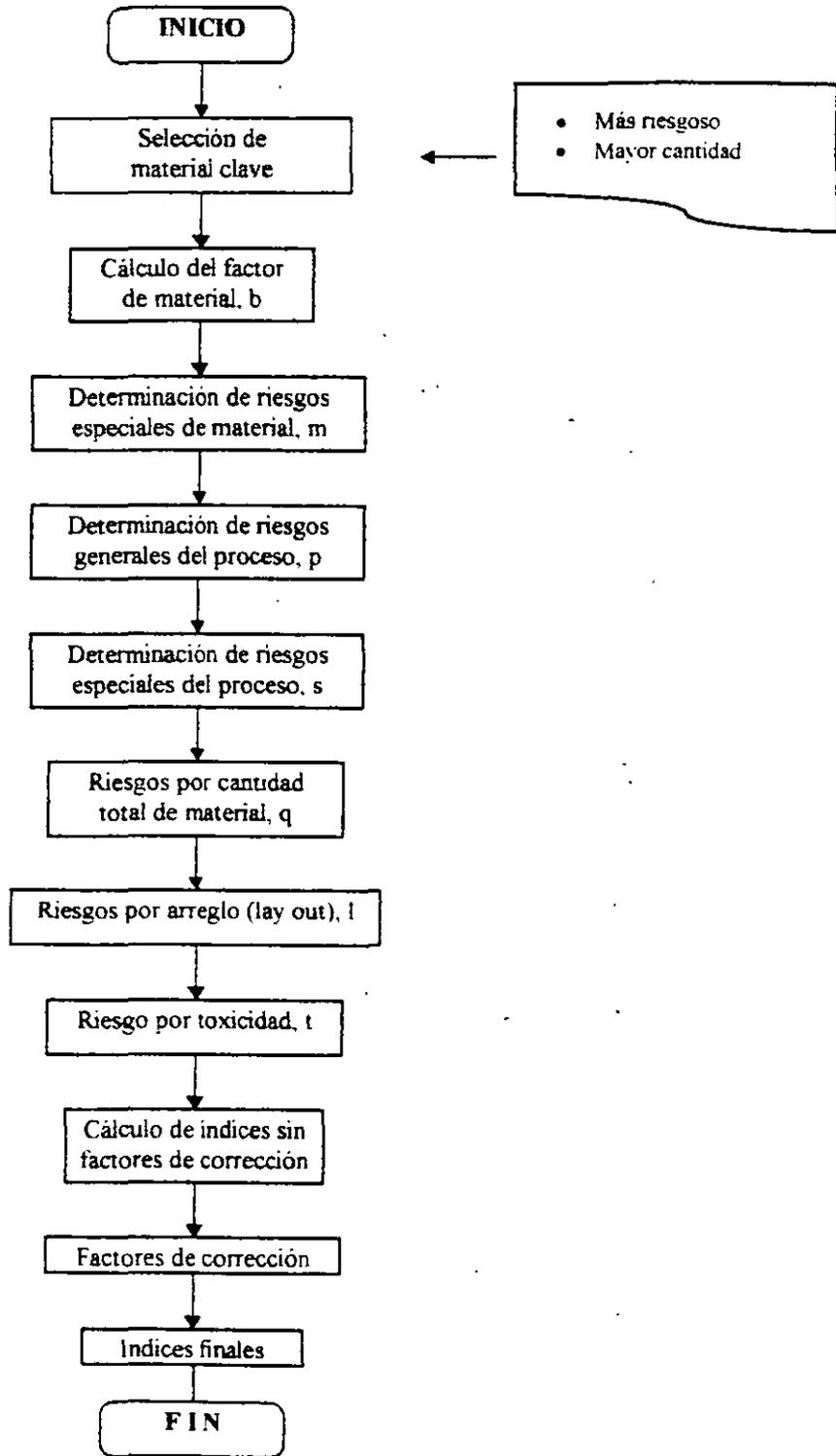
INDICE DOW DE FUEGO Y EXPLOSION

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.>Extrn(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/transferencia 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 tóxicos (0.20 - 0.80)			
B) Presión subatmosfénca (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) Corrosion y erosion (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 rotatono (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 dlls)		=	
Factor de daño:		=	
Daño Máximo Probable base (\$MM dlls)		=	\$
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 representa 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 Cálculo 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 SELECCION 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			TOXICIDAD DE LA	
TEMPERA- 1. A c carbón (T>-10°C) (15)			UNIDAD	
TURA 2. A c (carbón(T<-10°C) (50 A 100)			TOXICIDAD MAYOR	
D. ALTA 3 Otro material (0 a 100)			EXPLOSION	
TEMPERA- 1 Inflamabilidad (0 a 40)			EXPLOSION AEREA	
TURA 2. Matenales construcción (0 a 25)			TOTAL	
(Top= <input type="text"/> 25.00			MOND	
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			C. TUBERIA	
(AL PROMEDIO 40 A 100)			1. Diseño por tensión	
K. POLVOS O NIEBLAS RIESGOSAS (30 A 70)			2. Juntas y empaques	
L. OXIDANTES MUY. FUERTES (0 A 300)			D. CONTENEDORES ADICIONALES	
M. SENSIBILIDAD A LA IGNICION (0 A 75)		49	E. DETECCIÓN Y RESPUESTA A	
N RIESGOS ELECTROSTATICOS (0 A 200)			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.

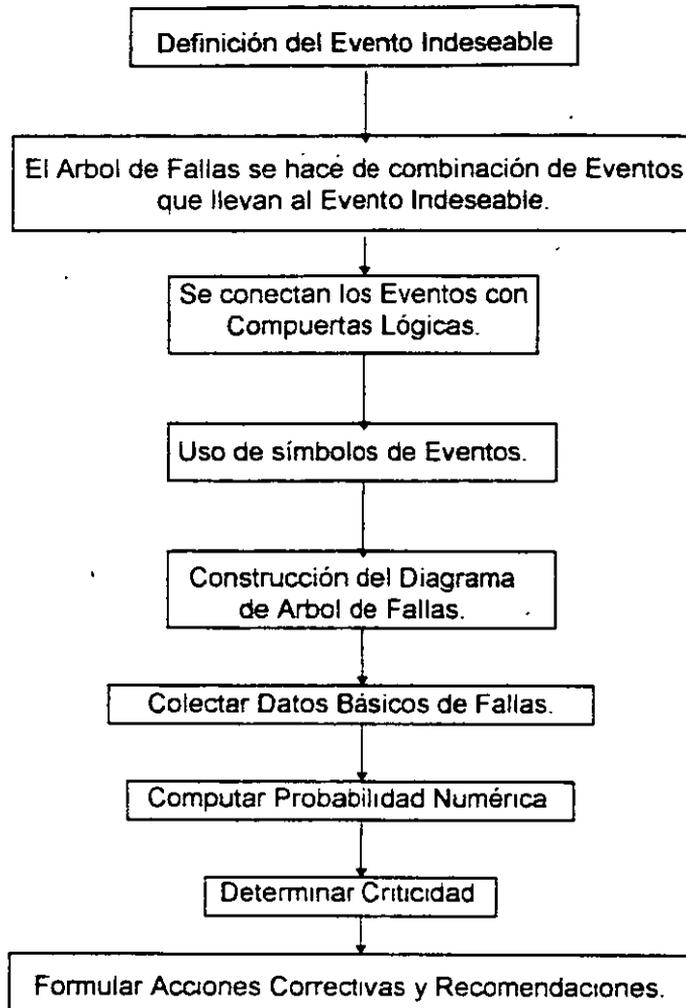
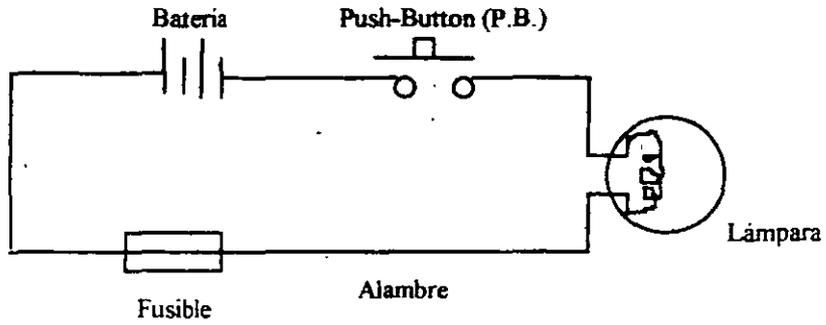
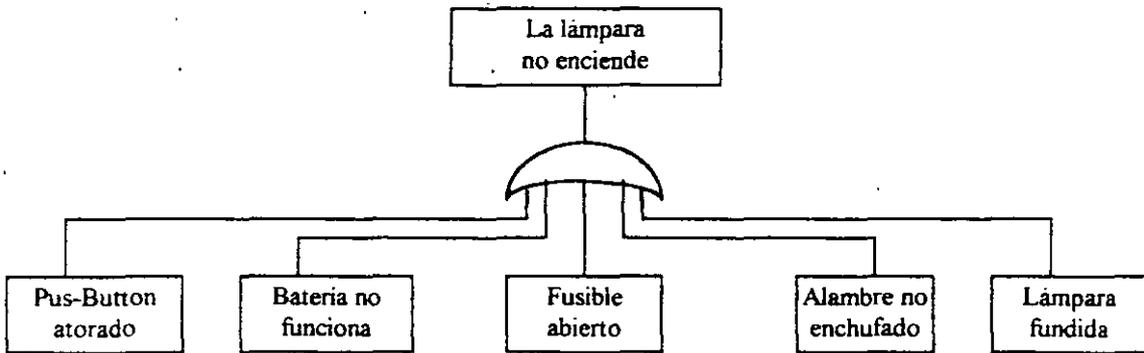


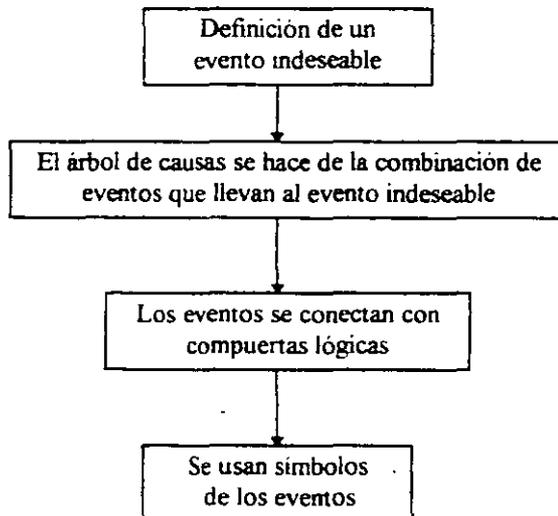
FIG. VI-1.- ETAPAS INVOLUCRADAS EN LA APLICACION DE ANALISIS DE ARBOL DE FALLAS.



a) SISTEMA PARA ENCENDER REMOTAMENTE UNA LAMPARA

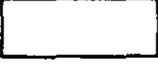
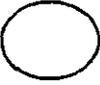


b) ARBOL DE CAUSAS



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.
	Ovalio	Condicionamiento de un evento - Representación de un evento condicional, usado con algunas compuertas lógicas.

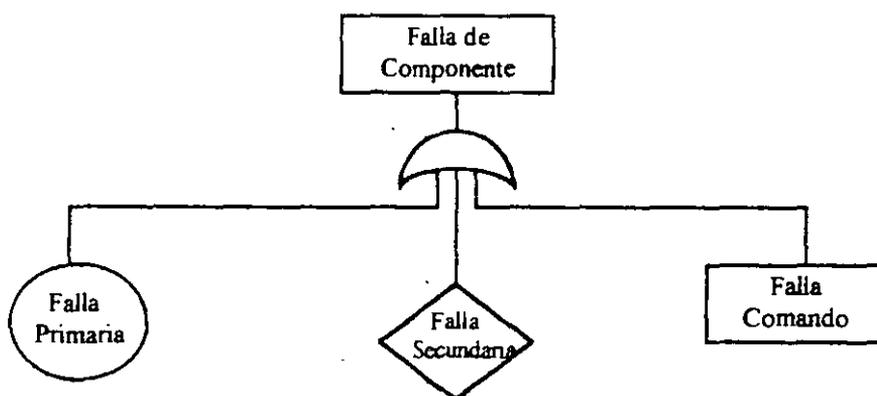


FIG. VI-3.- COMPONENTES DE ARBOL DE CAUSAS

TABLA VI-1.- COMPUERTAS LOGICAS MAS USADAS

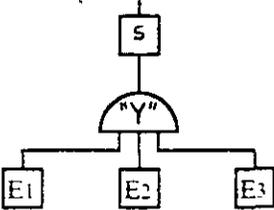
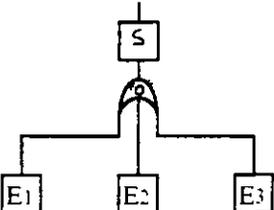
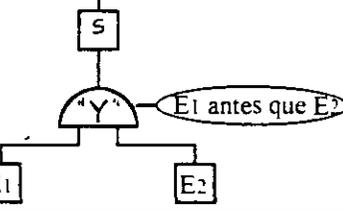
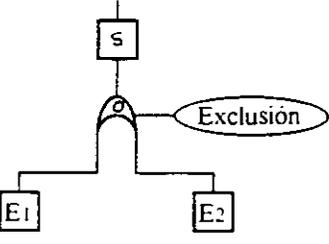
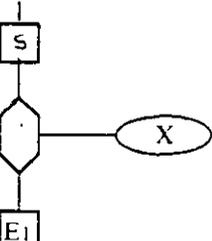
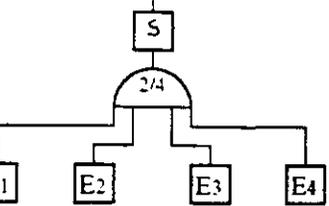
SIMBOLO	NOMBRE DEL SIMBOLO	SIGNIFICADO DEL SIMBOLO
	Compuerta "Y"	El evento de salida (s) de la compuerta "Y", ocurre si todos los eventos de entrada (E ₁ , E ₂ y E ₃) ocurren simultáneamente.
	Compuerta "O"	El evento de salida (s) de la compuerta "O", ocurre si cualquiera de los eventos de entrada (E 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 _i) 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 más 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.

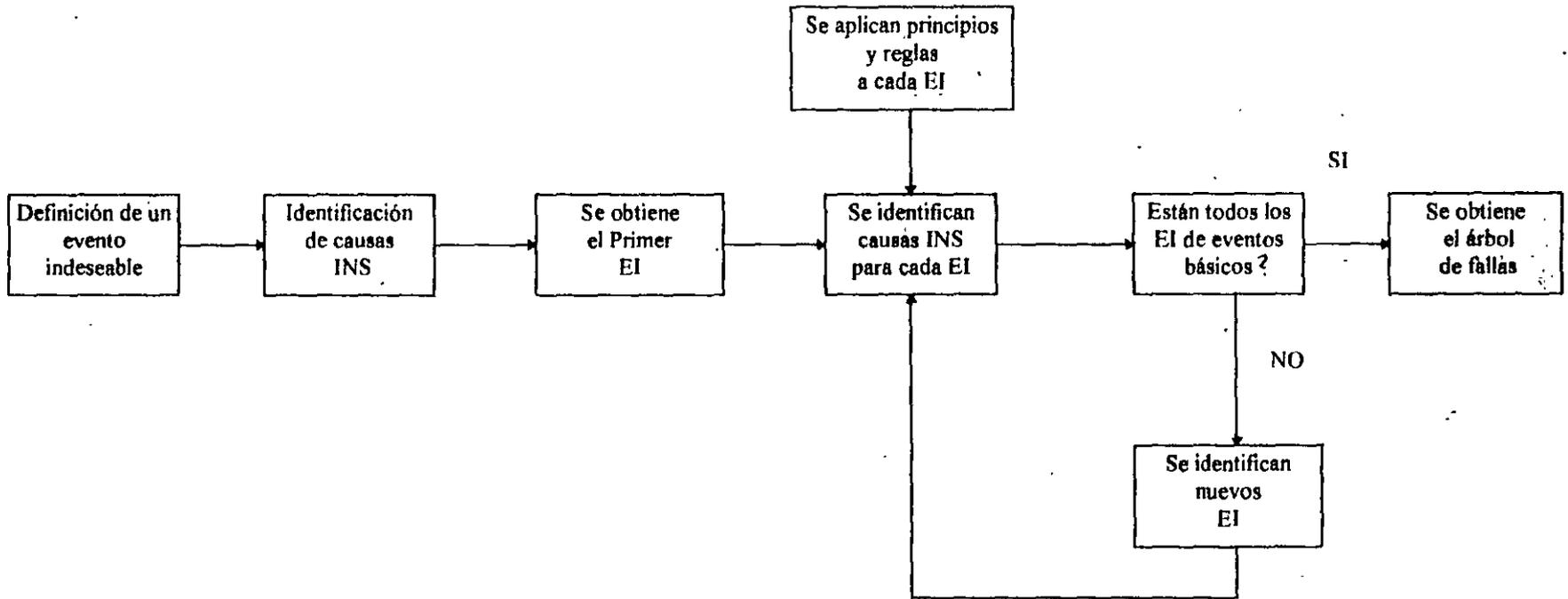


FIG. VI-4.- REPRESENTACION DIAGRAMATICA DE LA CONSTRUCCION DE UN ARBOL DE FALLAS

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.

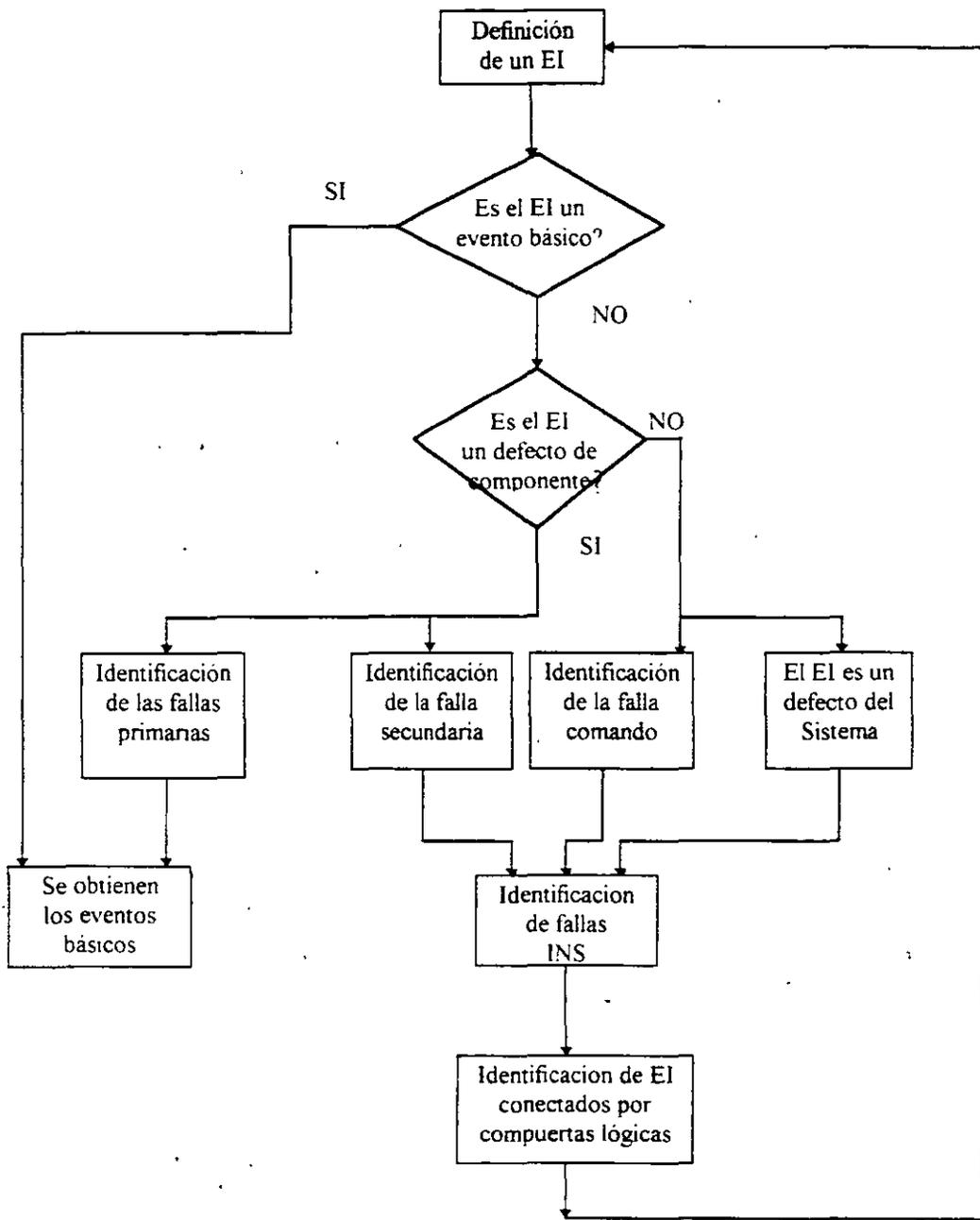


FIG. VI-5.- REPRESENTACION DIAGRAMATICA DE LOS ANALISIS DE CADA EVENTO INTERMEDIO (EI)

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".

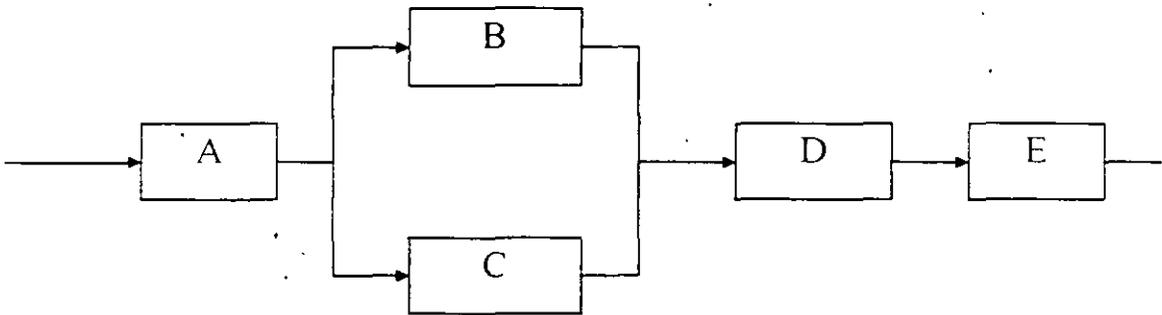


FIG. VI-6.- IDENTIFICACION DE FALLAS INS

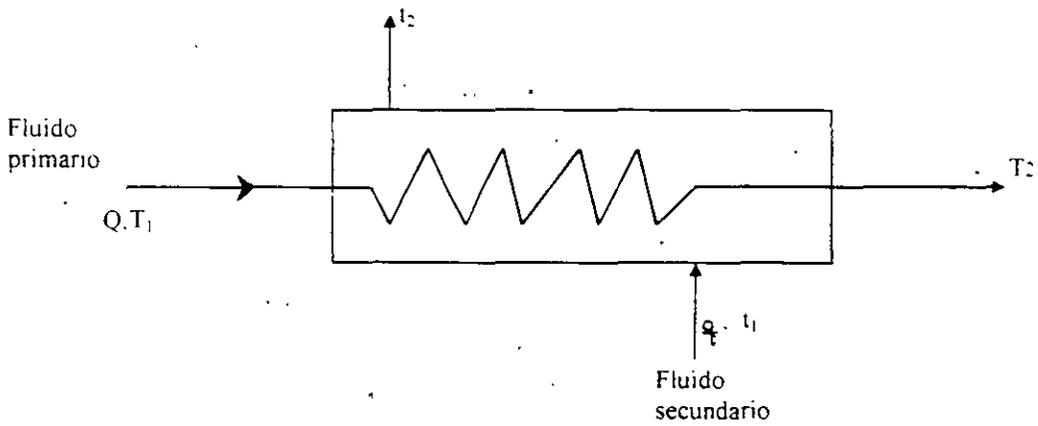


FIG. VI-7.- IDENTIFICACION DE FALLAS INS

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.

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

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

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 sólo 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.



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

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS ABIERTOS

DIPLOMADO INTERNACIONAL EN RIESGO AMBIENTAL

MODULO III: METODO DE ANÁLISIS Y CUANTIFICACION DE RIESGOS AMBIENTALES

TEMA

MODELOS MATEMATICOS

**EXPOSITOR: ING. MIGUEL ALONSO CASTILLO HOIL
PALACIO DE MINERIA
JUNIO DEL 2001**

MODELOS MATEMATICOS

INTRODUCCIÓN

La emisión de contaminantes a la atmósfera y el importante manejo de sustancias peligrosas debidos a la actividad industrial son hoy en día un aspecto relevante de nuestra sociedad.

- El aspecto del manejo, transporte o almacenamiento de sustancias peligrosas es de primera importancia, debido a los efectos que se pueden presentar en caso de un accidente; de particular interés es el referente a la liberación en la atmósfera de un gas o vapor tóxicos provenientes de una fuga o derrame de un líquido que se evapora. A este respecto, el factor importante a considerar es la posible exposición de gente a concentraciones de un gas o vapor que puedan afectar severamente su salud o incluso provocar su muerte.

Además con mucha frecuencia en las industrias se manejan sustancias que en determinado momento pueden provocar una explosión. En este sentido resultan de especial interés los gases o líquidos que puedan dar lugar a la formación de una nube explosiva. En este caso es importante el poder estimar los radios de afectación y la magnitud de los daños potenciales por la ocurrencia de un evento explosivo, considerando el personal expuesto y las características de instalaciones y procesos existentes.

Así, se consideran diferentes tipos de modelos matemáticos como:

1. **Modelos atmosféricos:**
 - a) Modelo de evaluación de daños provocados por nubes explosivas
 - b) Modelo de dispersión de un gas o vapor proveniente de una fuga o derrame de un líquido que se evapora
 - c) Modelo de dispersión de una emisión puntual continua de un gas
 - d) Modelo de dispersión de un gas liberado en forma masiva e instantánea
2. **Modelos para el transporte de contaminantes del suelo**
 - a) Modelos de transporte conservativo
 - b) Modelos de transporte no conservativo
3. **Modelos de hidrodinámica y transporte de contaminantes**
 - a) Modelos para el control de la contaminación en lagos y ríos
 - b) Modelos para el control de la contaminación en lagunas
 - c) Modelos para la calidad del agua

- d) Modelos para predecir la trayectoria de un derrame de petróleo en el mar, etc

En fin, todo lo que es susceptible de ser representado bajo forma de sistema complejo de objetos interactivos puede ser simulado. Es posible realizar simulaciones científicas a nivel de mecánica cuántica y efectos especiales sorprendentes en imágenes de síntesis o video

- Para la determinación de estos modelos de simulación de accidentes, se consideran las condiciones extremas que pudieran crear un evento en el que se presente un derrame mayor, con la formación de una nube con características tóxicas, inflamables o explosivas.

Para su mayor comprensión se ejemplifican los siguientes modelos matemáticos aplicados a una estación de servicio en el D.F., que son solicitados por el Departamento del Distrito Federal, el Instituto Nacional de Ecología y la diferentes Secretarías de Ecología estatales.

CIRCULOS DE RIESGO POR INFLAMABILIDAD.

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, en base a su límite inferior de explosividad.

La distancia de la zona de influencia se obtiene entonces de la siguiente manera:

$$d = 2(6W \times 10^6 / C \times 3.1416)^{1/3}$$

En dónde:

C= Concentración Mínima Explosiva en mg/m³.

W= Peso del líquido evaporado en Kg.

En dónde:

$$C = \frac{LIE \times 1.2928 \times \rho \times 10^6}{100}$$

Dónde:

LIE= Límite Inferior de Explosividad: gasolina = 1.4%;

ρ = Densidad Relativa de los Vapores: gasolina = 3.22%;

Por lo tanto se tiene:

Gasolina

$$C = \frac{1.4 \times 1.2928 \times 3.22 \times 10^6}{100} = 58,279.42 \text{ mg/m}^3$$

Porcentaje de producto evaporado = $P_v/P_t \times 100$

En dónde:

P_v = Presión de vapor 20°C

Gasolina = 100 mmHg

P_t = Presión de Vapor Total = 585 mmHg

Por lo que se obtiene:

% mol gasolina evaporada = $(100 \text{ mmHg}/585 \text{ mmHg})100 = 17.09 \%$

Centro de trabajo:	Estación de Servicio "Gasolinera XXXX."
Descripción del evento:	Nube inflamable por el derrame completo de un tanque de almacenamiento para gasolina (Magna), con una capacidad de 60,000 lts.

Capacidad nominal del tanque de almacenamiento para gasolina =		60,000 lts
Capacidad real del tanque de almacenamiento para gasolina =		61,695 lts
Gasolina almacenada =	61,695 lts x 0.724 Kg/l =	44,667.18 Kg
Kg mol de gasolina =	44,667.18 Kg/100 Kg/Kgmol =	446.67 Kg mol
Kg mol de gasolina evaporada =	446.67Kg mol x 0.17 =	76.35 Kg mol
Kg de gasolina evaporada (W) =	76.35Kg molx 100 Kg/Kg mol =	7,635.38 Kg
Gasolina : distancia	$d=2[(7,635.38\text{Kg}10^6)/(58,279.42\text{mg}/\text{m}^3 \times 3.1416)^{1/3}$	d=mts.

La temperatura ambiente, se consideró de 25°C

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

Se considerará que puede presentarse fuego en dos puntos:

A) Por la ocurrencia de un derrame completo de un tanque de almacenamiento, con la formación de una nube inflamable y que éste ocurre al encontrar una fuente de ignición en el punto en que la concentración de los vapores alcanzan su límite inferior de explosividad.

B) En el sitio de localización de un tanque de almacenamiento, por los vapores desprendidos del combustible, sin que ocurra derrame alguno y que se escapan por el registro hombre por cualquier causa (calentamiento del producto, falla de válvulas de venteo y formación de una fuente de ignición).

Para simular estos eventos se considera 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/m²); la franja de amortiguamiento se delimitará con 110 BTU/Hr-Pie² (1.40 Kw/m²).

Por lo que se aplicará la Ecuación No.8 del API-RP-521:

$$D = (TFQ/4 \times 3.1416 \times K)^{1/2}$$

$$T = 0.79 (100/r)^{1/18} (30.5/Dp)^{1/18}$$

$$F = 0.048 (PM)^{1/4}$$

$$Q = W(Hc)$$

$$K = \frac{TFQ}{4 \times 3.1416 \times D^2}$$

W = A x 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 (m²).

Vq = Velocidad de quemado (Kg/m² x S).

X = Distancia del centro del tanque al punto considerado (m).

Y = Altura Total de la base del tanque al centro de la flama (m).

Se puede observar en la hoja de calculo adjunta el procedimiento de este modelo.

Centro de trabajo:	Estación de Servicio "Gasolinera XXXX."
Descripción del evento:	Incendio de un tanque de almacenamiento para gasolina (Magna), con una capacidad de 60,000 lts., de acuerdo al área del "pasa hombre".
K =	1,500 BTU/Hr-Pie ²

Se propone una distancia $D_p = 5$ mts

HT =	0 mts		
d =	1.4 mts		
r =	58%		
Vq =	0.055 Kg/m ² /s		
Hc =	10,524 Kcal/Kg 18,805.498 BTU/Lb		
T =	$0.79(100/r)^{1/16}(30.5/D_p)^{1/16}$	$0.79(100/58)^{1/16}(30.5/5)^{1/16} =$	0.8496
F =	0.48		
A =	$((3.1416)(d^2))/4$	$((3.1416)(1.4^2))/4 =$	1.53 m ²
W =	A(Vq)	$(1.53)(0.055) = 0.8466$ Kg/s =	671.36 Lb/Hr
Q =	W(Hc) =	$(671.36)(18,805.498) =$	126,252,28 2.67 BTU/Hr
D =	$((TFQ)/4(3.1416)(K))^{1/2}$	$((0.8496)(0.48)(126,252,282.67))/(4(3.1416)(1,500))^{1/2}$ $= 18.527$ pies =	5.037 mts
Y =	HT + (d/2) =	$0 + (1.53/2) =$	0.765 mts
X =	$(D^2 - Y^2)^{1/2} =$	$((5.037)^2 - (0.765)^2)^{1/2} =$	4.97 mts

Centro de trabajo:	Estación de Servicio "Gasolinera XXXX."
Descripción del evento:	Incendio de un tanque de almacenamiento para gasolina (Magna), con una capacidad de 60,000 lts., de acuerdo al área de la elipse formada por la nube inflamable de la gasolina (ver punto no. 1 "Círculos de riesgo por inflamabilidad").
K =	1,500 BTU/Hr-Pie ²

Se propone una distancia $D_p = 920$ mts

HT =	0 mts		
d =	213mts		
r =	58%		
Vq =	0.055 Kg/m ² /s		
Hc =	10,524 Kcal/Kg 18,805.498 BTU/Lb		
T =	$0.79(100/r)^{1/16}(30.5/D_p)^{1/16}$	$0.79(100/58)^{1/16}(30.5/920)^{1/16} =$	0.613
F =	0.48		
A =	$((3.1416)(d^2))/4$	$((3.1416)(213)^2)/4 =$	71,265.62 m ²
W =	A(Vq)	$(71,265.62)(0.055) = 3,919.60$ Kg/s =	31,080,600.64 Lb/Hr
Q =	W(Hc) =	$(31,080,600.64)(18,805.498) =$	584,986,173,108.61 BTU/Hr
D =	$((TFQ)/4(3.1416)(K))^{1/2}$	$((0.613)(0.48)(584,986,173,108.61)/(4(3.1416)(1,500)))^{1/2} = 3,021.375$ pies =	920.91 mts
Y =	HT + (d/2) =	$0 + (71,265.62/2) =$	35,632.81mts
X =	$(D^2 - Y^2)^{1/2} =$	$((920.91)^2 - (35,632.81)^2)^{1/2} =$	1268849073.268mts

- En el caso del evento B, el centro del círculo se tomó inmediatamente arriba del área de almacenamiento de los combustibles y en el caso del evento A el centro se tomó en el punto en que la nube formada con características inflamables, alcanza su límite inferior de inflamabilidad, punto que fué obtenido del modelo de simulación para determinación del riesgo potencial por inflamabilidad con anterioridad.
- En el caso A, se tomó en cuenta además la dirección predominante de los vientos, los cuales los predominantes son del Norte; definiendo el sitio de mayor probabilidad de transporte de la nube inflamable y de ocurrencia de la ignición.

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 una 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.

Hc = 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.

Para la estimación del daño máximo probable se usará $f = 0.02$

GASOLINA

(tanque de 60,000 lts)

$$\text{Ton (TNT)} = \frac{37,489.89 \text{ Kg} \times 10,524 \text{ Kcal/Kg} \times 0.02}{10^6}$$

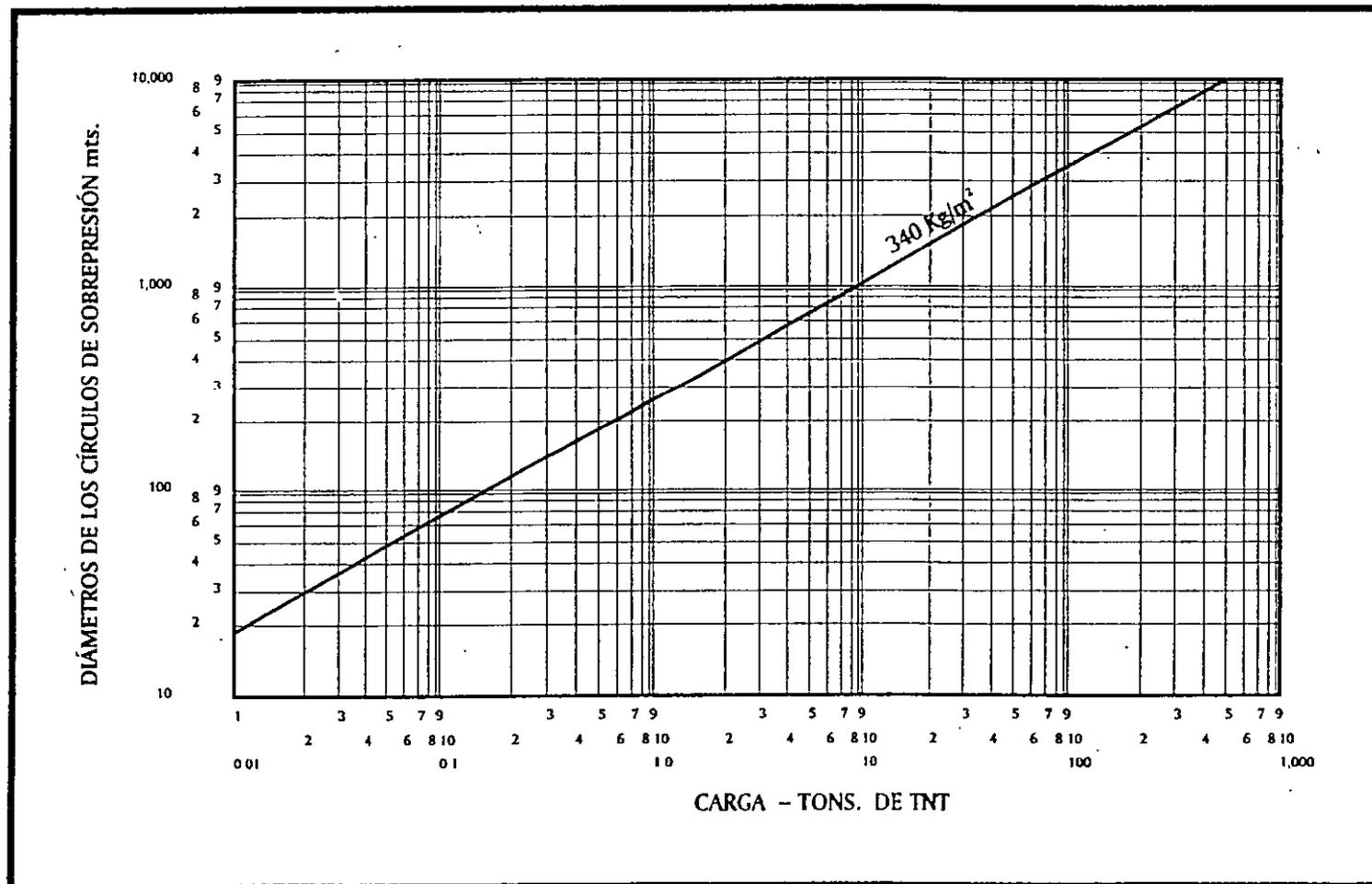
$$\text{Ton (TNT)} = 7.89 \text{ Kg}$$

- Las ondas expansivas, producto de una explosión, se expresan en unidades de presión y varían de 0.5 psi a 30 psi. Las ondas de mayor presión estarán en circunferencias cerca del centro de la nube explosiva, mientras que las de menor presión abarcan una circunferencia de diámetro mayor.

La determinación de los diámetros de estas circunferencias de onda expansiva se lleva a cabo por medio de la Gráfica No. 1.

GRAFICA I

DIÁMETRO DE LOS CÍRCULOS DE SOBREPRESIÓN
REFERIDOS AL DAÑO PRODUCIDO POR LA EXPLOSIÓN
DE UNA CARGA DE TNT CON UNA FUERZA DE 340 Kg/m²



Se considerará una onda expansiva de 0.5 psi (340 Kg/m²) que tendría como efecto en construcciones de concreto y estructura de fierro, la ruptura de ventanas.

De esta manera se obtuvieron los siguientes diámetros de círculos de sobrepresión.

GASOLINA = 800 m

Los radios alrededor del punto de almacenamiento serían de:

GASOLINA = 400 m

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).

→ Como se hace mención en el capítulo No. VII de este estudio, es poco factible que un derrame de gasolina pueda 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 hrs. por ejemplo); por lo que un efecto mayor al mareo o dolor de cabeza, es mucho más probable sólo a nivel ocupacional.

Las características combustibles de los productos manejados en la estación de servicio (gasolinas) son más definitivas; por lo que los daños más factibles al exterior de las instalaciones de una estación de servicio, pueden ser causados por un accidente en que sea probable su inflamación o explosión.

→ Los únicos valores de toxicidad de las gasolinas encontrados se refieren a su TLV (Theshold Limit Value), que se refiere a la concentración máxima permisible de sus vapores, a la que se puede exponer un trabajador durante una jornada de 8 horas de trabajo, la cual se ha establecido en 2,000 mg/m³.

→ Para tal efecto, se considerará el mismo modelo utilizado con anterioridad, para el caso de simulación por un accidente en que se forme una nube con características inflamables; cambiando únicamente la concentración del límite inferior de explosividad, por el del TLV establecido.

Debe apreciarse que la concentración de los límites inferiores de explosividad de estos productos son mucho mayores ($58,279 \text{ mg/m}^3$ para las gasolinas) con respecto a los de toxicidad ($2,000 \text{ mg/m}^3$), 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 8 horas.

→ 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.

De la aplicación del mismo modelo mencionado para el caso de riesgo por inflamabilidad, la distancia de influencia por toxicidad de los vapores de la gasolina sería entonces:

$$d = 2(6W \times 10^6 / C \times 3.1416)^{1/3}$$

En dónde:

C = Concentración de Límite Máximo permisible
de exposición (8hrs) = 2000 mg/m^3

La temperatura ambiente, se consideró de 25°C

Obteniéndose la siguiente distancia:

GASOLINA :

$$d = 2[(6 \times 37,489.89 \text{ Kg} \times 10^6) / (2,000 \text{ mg/m}^3 \times 3.1416)]^{1/3} \quad d = 655 \text{ m}$$

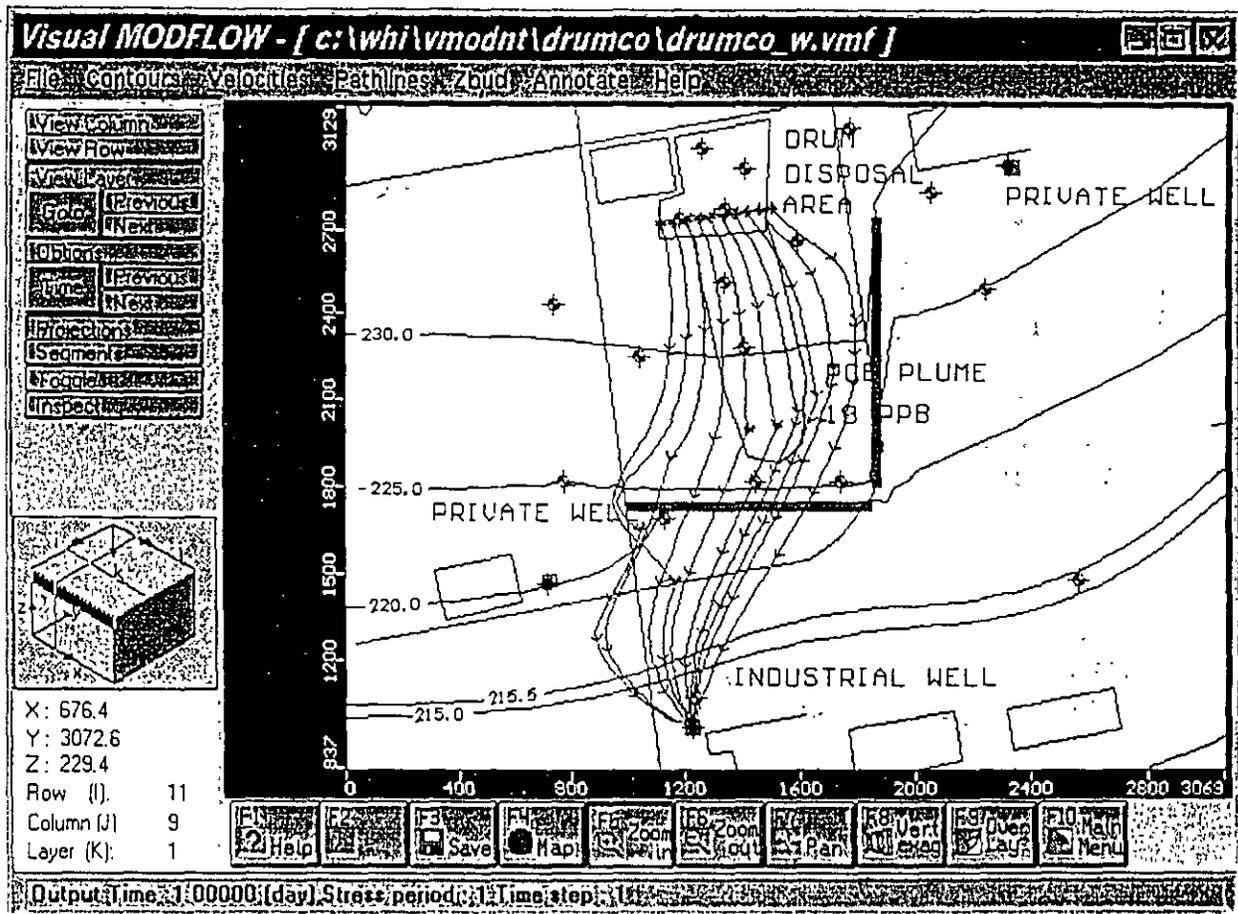


Figura 27: Líneas de Trayectoria de Flujo – Embudo y Compuertas

En este desplegado podemos ver claramente que el sistema de remediación de embudo y compuertas no consigue capturar la pluma de contaminación puesto que varias partículas del área de desecho de tanques aparecen en la parte oeste de la pared y el resto de las partículas se dirigen hacia abajo pasando por la zona de conductividad y por debajo de la pared del embudo. La migración descendente de las partículas de contaminación pasando por la zona de conductividad es el resultado de la saliente de agua subterránea formada en el lado gradiente arriba de la pared del embudo, lo cual crea una gradiente de flujo descendente significativamente vertical. Por lo tanto, este sistema, tal y como está diseñado hasta el momento, no sirve para encauzar adecuadamente el agua subterránea hacia la 'compuerta'.

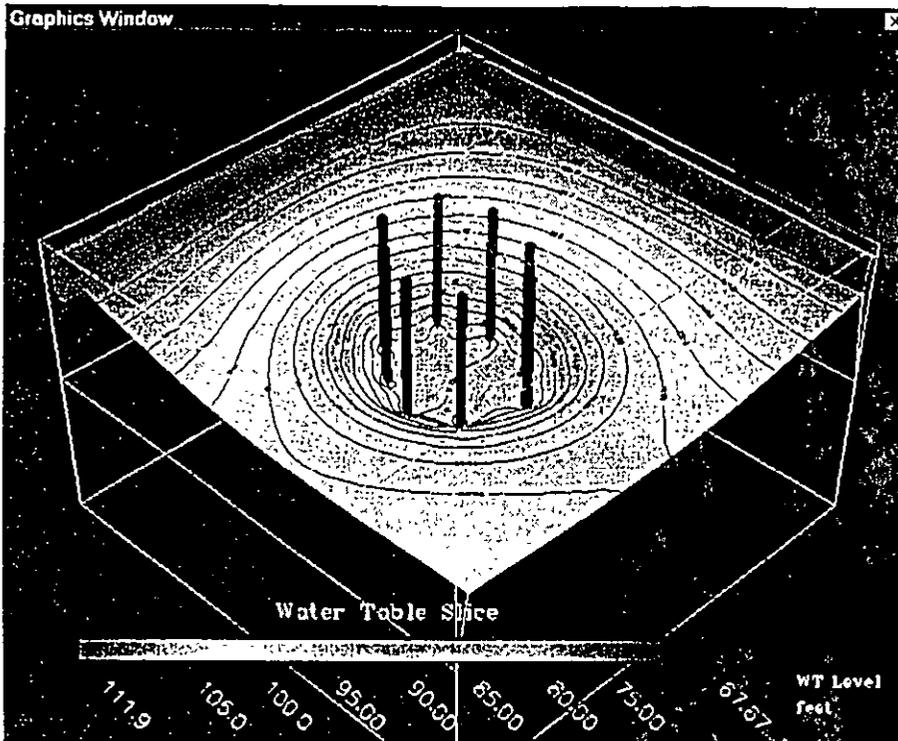
Basándose en estos resultados, el sistema de remediación de embudo y compuertas no es una alternativa viable para la limpieza del local, dadas sus condiciones geológicas e hidrogeológicas. Sin embargo, puede continuar con el estudio de viabilidad modificando el sistema de embudo y compuertas ya sea usando una compuerta más ancha o añadiendo un componente norte-sur de la pared del embudo en la parte oeste que servirá para capturar el flujo fugitivo horizontal al oeste de la pared del embudo. En cualquier caso, tendrá que lidiar con la gradiente abajo vertical que es la que dirige la migración de las partículas contaminantes en ese sentido. Si tiene tiempo durante este ejercicio, intente modificar el diseño de embudo y compuerta de forma que consiga capturar y

EJERCICIO DE VISUAL MODFLOW: LIMPIEZA DEL LOCAL DRUMCO

encauzar completamente la pluma de contaminación de agua subterránea.

Si cuenta con tiempo, le sugerimos que no deje de explorar algunas de las otras capacidades de Visual MODFLOW que no han sido tratadas en este ejemplo.

Aquí terminamos la simulación y ejercicio de limpieza del local Drumco.



Al terminar de girar y animar el juego de datos, detenga la animación y reponga la vista. Para detener la animación,

- [Stop] (el botón de Animación del medio)
- [Time Reset] (la pequeña figura del reloj con la palabra RESET debajo de los controles de Animación)
- [XYZ Home] (para volver a la vista de planta)

Use el Dial X para girar a una vista lateral.

Use el Slider Z para regular el zoom.

Use el Slider Y para centrar la imagen.

Sección 6: Visualización de Valores de Carga en Cortes de Subsuperficie

Después de haber visto las elevaciones del nivel freático, estudiaremos la piezometría en un corte del modelo en subsuperficie. Ésto nos permite visualizar la naturaleza tridimensional del flujo calculado por el modelo. Para facilitar la visualización de los valores de carga hidráulica, borraremos primero el isovolúmen de carga constante (constant head).

- Input (en el cuadro Data Class)
- Boundaries(G) (en el cuadro Data Set)
- Const. Heads (en el cuadro Scalars)
- Isosurface (en el cuadro Object Class)
- Clear (para -Render- en el cuadro Operators)

Complete los pasos siguientes para visualizar las cargas hidráulicas.

- Output (en el cuadro Data Class)
- Output heads (en el cuadro Data Set)
- Slice (en el cuadro Object Class - parte inferior izquierda)
- [Create] (en el cuadro Object Class)