



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

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

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

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

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

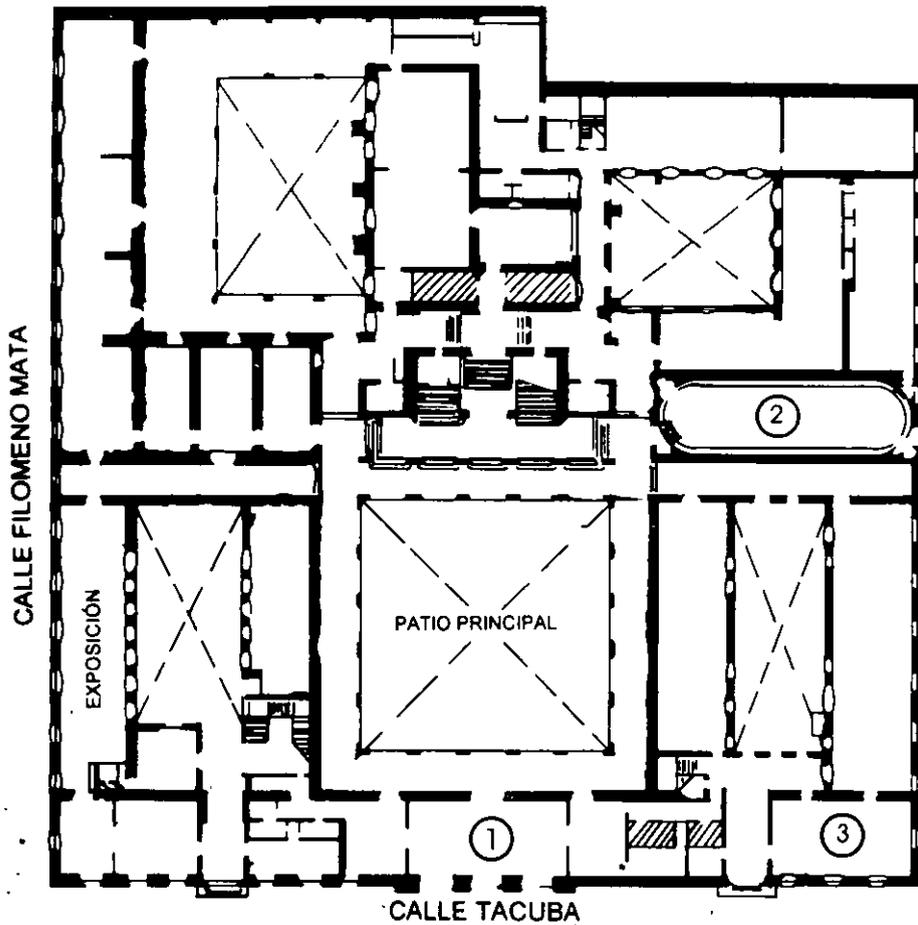
Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso, información que servirá para integrar un directorio de asistentes, que se entregará oportunamente.

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

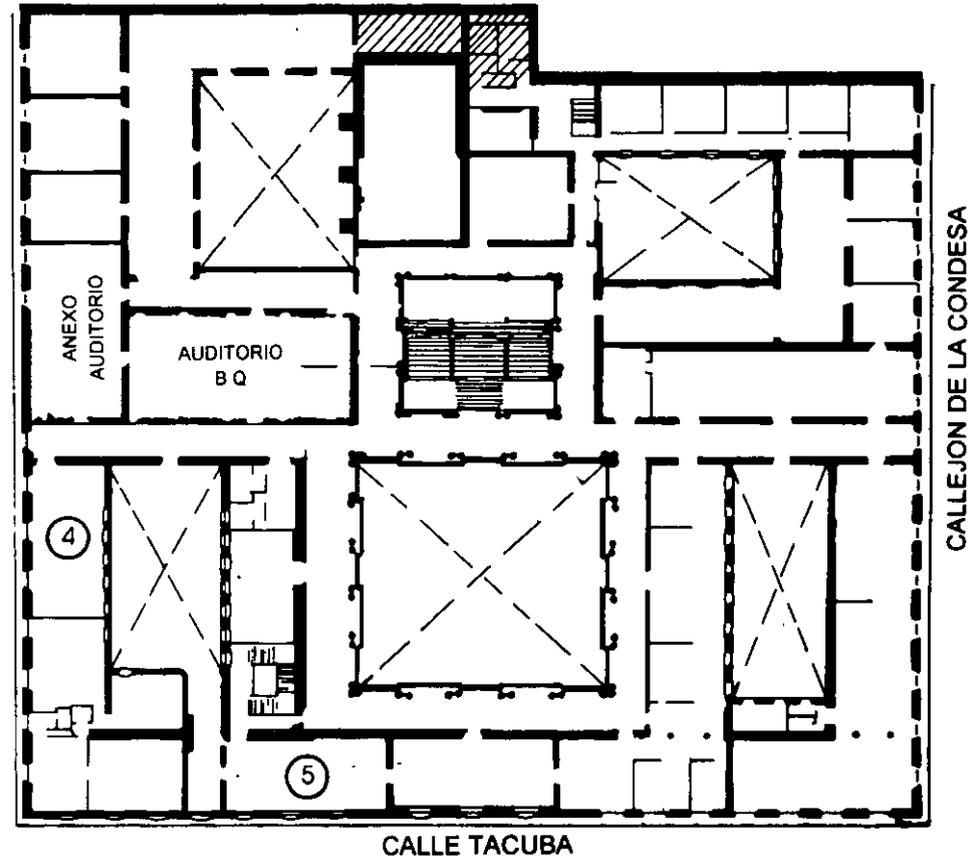
Se recomienda llenar dicha evaluación conforme los profesores impartan sus clases, a efecto de no llenar en la última sesión las evaluaciones y con esto sean más fehacientes sus apreciaciones.

**Atentamente
División de Educación Continua.**

PALACIO DE MINERIA

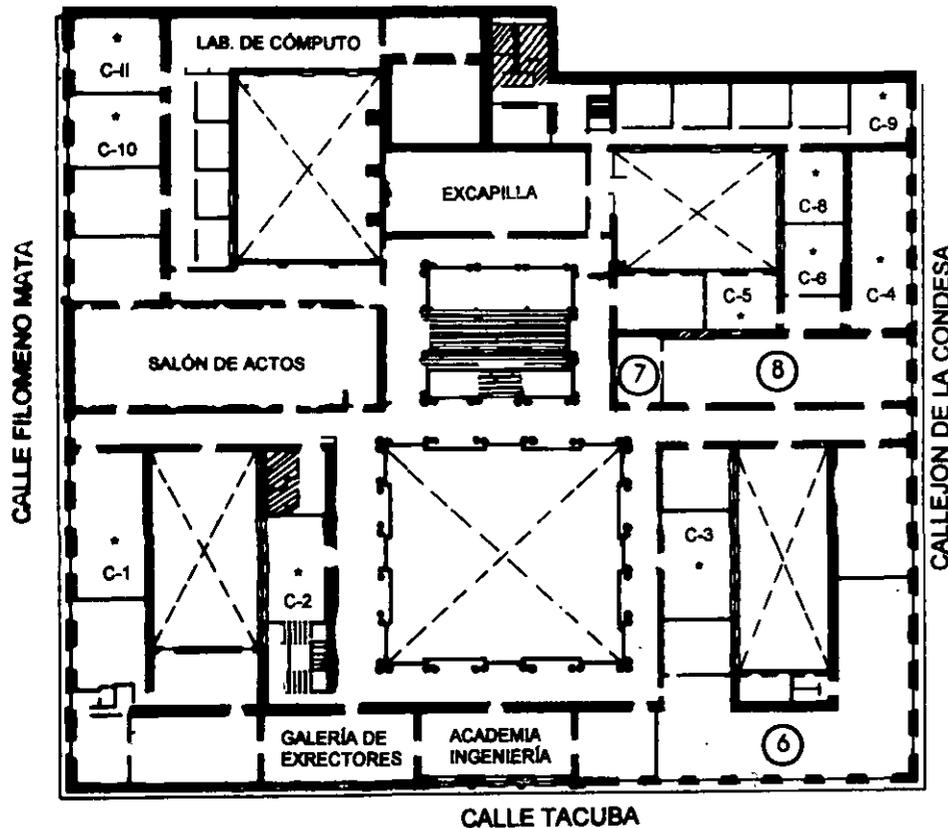


PLANTA BAJA



MEZZANINNE

PALACIO DE MINERÍA



GUÍA DE LOCALIZACIÓN

1. ACCESO
2. BIBLIOTECA HISTÓRICA
3. LIBRERÍA UNAM
4. CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN "ING. BRUNO MASCANZONI"
5. PROGRAMA DE APOYO A LA TITULACIÓN
6. OFICINAS GENERALES
7. ENTREGA DE MATERIAL Y CONTROL DE ASISTENCIA
8. SALA DE DESCANSO

SANITARIOS

* AULAS

1er. PISO



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERÍA U.N.A.M.
CURSOS ABIERTOS

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



209.11



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

CURSOS INSTITUCIONALES

**CAMINOS Y PUENTES FEDERALES DE
INGRESOS Y SERVICIOS CONEXOS**

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

Del 7 al 8 de Julio del 2000.

APUNTES GENERALES

**M. en C. Jacinto Elías Sedeño Díaz
Palacio de Minería
Julio/2000**

Métodos de análisis y cuantificación de Riesgos Ambientales

M. en C. Jacinto Elías Sedeño Díaz

Instructor

CONTENIDO

RESUMEN	4
INTRODUCCIÓN	5
OBJETIVO GENERAL	7
MÉTODOS CUALITATIVOS PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS	8
ANÁLISIS HISTÓRICO DE RIESGOS.....	8
Objetivos	8
Procedimiento.....	9
ANÁLISIS DE RIESGO PRELIMINAR	10
Objetivos	10
Procedimiento.....	10
ANÁLISIS ¿QUE PASA SI...?	11
Procedimiento.....	12
ANÁLISIS MEDIANTE LISTAS DE COMPROBACIÓN O VERIFICACIÓN	13
Objetivos	13
Descripción.....	13
Procedimiento.....	14
ANÁLISIS DE MÉTODOS DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE).....	15
Objetivos	15
ANÁLISIS FUNCIONAL DE OPERABILIDAD (HAZOP).....	17
Objetivos	17
Descripción.....	18
Procedimiento.....	19
CLASIFICACIÓN DE RIESGOS PARA HAZOP	21
CLASE I SEGURO:	21
CLASE II MARGINAL:	21
CLASE III CRÍTICO:	21
CLASE IV CATASTRÓFICO:.....	21
MÉTODOS SEMICUANTITATIVOS	22
ÍNDICE DOW.....	22
Procedimiento para cálculos de análisis de riesgo.....	23
selección de unidades pertinentes del proceso.....	25
Consideraciones importantes.....	26
Determinación del factor de material (m).....	26
Contribución de los factores de riesgo.....	27
Riesgos Generales de Proceso.....	28



Riesgos especiales de proceso.....	31
Riesgos especiales del proceso	34
Determinación del índice de fuego y explosión (f y e)	36
<i>Aspectos Preventivos y de Protección</i>	41
ÍNDICE MOND DE FUEGO, EXPLOSIÓN Y TOXICIDAD	42
<i>Metodología para el cálculo del índice Mond</i>	42
1. división de una planta en secciones	42
2. listado de materiales para una sección de la planta.....	44
3. <i>Método de aplicación</i>	45
1. Determinación del factor de material.....	45
2. Riesgos especiales del material (m).....	50
3. riesgos generales del proceso (p)	55
4. riesgos especiales de proceso (s).....	58
MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS	72
BIBLIOGRAFÍA	73
BIBLIOGRAFÍA	74



Resumen

En el presente documento, se presentan algunas de las herramientas que principalmente se utilizan para la determinación del riesgo ambiental, su presentación se realiza con base en la clasificación del producto resultante del análisis, es decir, si el análisis nos produce resultados de tipo cualitativo, cuantitativo o de carácter intermedio, mediante un índice que da un valor semicuantitativo.

Estas metodologías son aplicables a un basto y variado número de instalaciones tanto industriales como de servicios.

Los métodos se presentan tratando de seguir un solo esquema, empezando por el nombre del método o técnica, sus objetivos, su descripción y/o procedimiento, eventualmente se presentan algunos ejemplos que permiten visualizar la forma de aplicación de tales técnicas.



Introducción

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

- "What if?".
- HAZOP
- Listas de Verificación.
- Dow Index.
- Mond Index.

En la industria de procesos en México el uso de sistemas formales es incipiente y sólo algunos grupos industriales importantes han iniciado su aplicación (Dupont y Celanese Mexicana). En 1985, el grupo Negromex aplicó los metodologías Hazop y Hazan en el diseño de una planta piloto con excelentes resultados.

La cada vez más fuerte presión social y gubernamental, ha orientado a la industria de procesos a la toma de decisiones oportunas para la eliminación o reducción de los riesgos de manera efectiva, esto está dando por resultado el uso de metodologías más confiables, que garanticen la identificación de todos los riesgos , reales y potenciales, existentes en las unidades operativas, personal, materias primas, medio ambiente e instalaciones.



Los métodos disponibles para la evaluación de riesgos, entre los que se cuentan los antes mencionados, se clasifican generalmente en cualitativos, semicuantitativos y cuantitativos, lo cual dependerá del tipo de información que proporcionan.

Las listas de control, de verificación, etc., proporcionan solamente información cualitativa a cerca de un sistema y ayudan a identificar los peligros.

El enfoque del índice nos dará una información semi-cuantitativa. Los índices de valores son adimensionales, y no tienen ningún significado fuera del que tienen en esa indexación en particular.

Los métodos cuantitativos se expresan en unidades de entendimiento popular y permiten hacer comparaciones y cuantificar los beneficios contra el costo de las medidas para reducción del riesgo.

Sin embargo, hay que recordar que un estudio completo de seguridad consiste de:

- La identificación de eventos indeseables en los cuales materiales peligrosos están involucrados.
 - Determinar la magnitud de los eventos físicos que pueden resultar.
 - Determinar el daño que pueden causar.
 - Determinar la probabilidad de ocurrencia de ese daño, ésta probabilidad puede surgir de lo siguiente:
 - i) La probabilidad de fallas humanas y/o equipo (probabilidad de falla).
 - ii) La casualidad de que este error o falla daría para la ocurrencia de los efectos físicos en cuestión (probabilidad de desarrollo).
 - iii) La probabilidad de exposición a estos efectos (probabilidad de ser alcanzado).
 - Estimar el riesgo (objetivo del estudio).
- Evaluar el riesgo.



Objetivo General

- Identificar los riesgos presentes y potenciales de las instalaciones.
- Identificar áreas de oportunidad para disminuir costos o de aumentar la rentabilidad de las instalaciones disminuyendo
 - i) Tiempos muertos debido a incidentes tanto ambientales como industriales.
 - ii) Tiempos muertos debidos a paros de emergencia de equipos .
 - iii) Tiempos muertos de operadores y supervisores ya que se debe investigar y/o analizar accidentes y incidentes
 - iv) Pérdidas de producción asociadas a la interrupción del proceso de fabricación entre otros.
 - v) Incapacidades laborales.
 - vi) Costos debido a primas de seguro.
- Estimar las consecuencias por accidentes potenciales
- Evaluar la eficacia de las acciones encaminadas a la reducción de riesgos.
- Justificar decisiones en materia de seguridad.



Métodos cualitativos para el análisis de riesgos

Son técnicas de análisis crítico que emplean diferentes herramientas lógicas sin recurrir al análisis numérico, su objetivo principal es identificar:

- Riesgos
- Efectos (Incidentes y accidentes cuando se materializan los riesgos)
- Causas (orígenes o fuentes de los riesgos)

Dado que en muchos casos, el análisis cualitativo sirve como base para la aplicación de otras técnicas semicuantitativas o cuantitativas, es importante que la calidad de éste sea alta.

Los métodos que aquí se describirán son los siguientes:

- Análisis histórico de riesgos
- Análisis de riesgo preliminar
- Análisis ¿que pasa si...?
- Análisis mediante listas de comprobación o verificación
- Análisis de métodos de fallos y efectos (AMFE)
- Análisis funcional de operabilidad (HAZOP)

Análisis histórico de Riesgos

Objetivos

Sus objetivos particulares son:

- Detectar directamente aquellos elementos de las instalaciones y operaciones que han determinado accidentes en el pasado.



- Estudiar dichos elementos de manera particularmente detallada
- Proponer medidas concretas que aumenten la fiabilidad de los elementos que provocan accidentes con la reducción correspondiente del riesgo asociado a ellos.
- Proponer medidas para mitigar efectos parecidos a los accidentes ocurridos y estudiados

Se trata de estudiar los accidentes que han ocurrido previamente, para lo cual se recurre a la descripción de éstos en diferentes bases de datos, para luego, considerando sus causas, consecuencias y parámetros estadísticos simples, extraer conclusiones y recomendaciones. Con lo anterior, es posible definir medidas preventivas sobre las causas, materiales y operativas, así como medidas mitigantes de los efectos o consecuencias.

Procedimiento.

El procedimiento a seguir es muy sencillo:

- Obtener información de las bases de datos sobre accidentes.
- Discernir que informes son asimilables a la instalación que se está valorando.
- Análisis estadístico
- Estudio técnico de cada accidente para revisar los puntos críticos
- Adopción de medidas técnicas que neutralicen los riesgos originados en los puntos críticos

Es una técnica en donde la evaluación se lleva a cabo de forma rápida, directa y económica.



Análisis de Riesgo Preliminar

El análisis de riesgo preliminar o análisis de peligrosidad es una técnica cualitativa la cual involucra un análisis disciplinado de la secuencia de eventos que podrían transformarse en un peligro potencial en un accidente. En esta técnica los posibles eventos indeseables son identificados primero y después se analizan por separado.

Objetivos

Sus objetivos principales son:

- Detectar directamente aquellos elementos de las instalaciones y de las operaciones de los que se sospecha la posibilidad de originar riesgo y accidentes.
- Estudiar dichos elementos de manera particularmente detallada.
- Proponer medidas concretas que aumenten la fiabilidad de las instalaciones y de las operaciones con la reducción correspondiente de riesgo asociado a los mismos.
- Proponer medidas para mitigar efectos.

Procedimiento.

El procedimiento se basa en:

- Obtener información y datos sobre materiales, materias y operaciones previstas.
- Discernir si se puede aprovechar la semejanza con otros procesos u operaciones experimentados anteriormente. Explorar y explotar dichas semejanzas.



- Exploración de las operaciones y equipo de las que cabe prever criticidad: Riesgos implicados (toxicidad, corrosividad, carga energética contenida y/o desarrollada, etc.).
- Estudio técnico de los aspectos críticos que se hayan detectado.
- Adopción de medidas técnicas que disminuyan el riesgo previsto para los aspectos críticos.

El resultado de este método ofrece una base para determinar cuales categorías de peligro deberían observarse más estrechamente y cual método de análisis es el más adecuado.

Análisis ¿Que pasa si...?

Sus objetivos son la detección y análisis cualitativo de las desviaciones, respecto al comportamiento normal, de los procesos y sus variables, que dan origen a eventos indeseables.

Descripción:

Preguntas ¿Qué pasa si . . .

- ... Las materias primas son de mala calidad?
- ... Las concentraciones utilizadas son incorrectas?
- ... Faltan o se interrumpen las corrientes de materias primas, productos o servicios durante el proceso?
- ... Se detienen los equipos impulsores (bombas, eyectores, compresores, etc.) intercalados en el proceso?



- ... Fallan los elementos de seccionamiento y/o regulación (válvulas) intercalados en el proceso?
- ... Fallan cada uno de los sistemas de instrumentación y control?
- ... Fallan las actuaciones previstas para los operadores humanos?
- ... No se usa el equipo adecuadamente?
- ... No se usa el equipo de protección personal?
- ... No se usa la herramienta en forma adecuada?

Procedimiento

El análisis, valga la redundancia, se inicia empezando por el principio del proceso (normalmente almacenamiento y admisión de materias primas), avanzando a lo largo de las etapas del mismo, se pueden utilizar como guía los diagramas de tuberías en instrumentación (DTI), hasta el final (salida y almacenamiento de productos y residuos), se plantean y anotan todas las preguntas ¿qué pasa si...? (QPS) que se le puedan ocurrir a los participantes del estudio. No se deben contestar durante el recorrido.

El siguiente paso es contestar las preguntas QPS, algunas preguntas pueden recurrir de la participación de especialistas o recurrir a la bibliografía especializada.

Posteriormente, se deben considerar las alternativas a cada pregunta, con la finalidad de adoptar medidas (existentes o implementarlas) para prevenir el riesgo, anulándolo o disminuyéndolo, de ser posible, desde su origen.

Se debe redactar un informe indicando lo siguiente:

- Breve descripción y esquema del proceso
- Preguntas QPS formuladas
- Su análisis y contestación
- Descripción detallada de las mejoras (alternativas o modificaciones) propuestas para neutralizar o reducir los riesgos.



Comunicar el informe a los centros pertinentes de decisión (de la planta o del proyecto) para que se adopten las medidas oportunamente.

Análisis mediante listas de comprobación o verificación

Objetivos

- Comprobar el cumplimiento de reglamentos y normas mediante listas de comprobación que incluyan los aspectos técnicos y de seguridad contenidos en dichas regulaciones.

- Comprobar el cumplimiento, a lo largo del desarrollo de un proyecto, de las especificaciones básicas de proceso y equipo.

En varias industrias se han adoptado una serie de estándares que cubren todas las áreas de diseño y construcción a fin de contar con instalaciones con un cierto grado de seguridad, de estos estándares se originan **Listas de Verificación** para comparar el "es" contra el "debiera" en nuestras instalaciones.

Descripción

Es un método de estructura lineal con lista de cuestiones concretas, relativas a los aspectos de proceso y de riesgo, que cabe plantear para todas las etapas de un proyecto, de la operación de una planta, de las paradas, etc. Deben cubrir todos los elementos de equipo (aparatos, tuberías, válvulas, instrumentos, controles, alarmas, etc.).



Las listas de Verificación son particulares para cada tipo de proceso e instalación, aunque es factible que instalaciones similares con procesos similares puedan aplicar listas de verificación iguales.

1. Elaboración de las listas de verificación.
 - 1.1 Definición de los estándares a cubrir (debiera)

Procedimiento

El procedimiento a seguir se basa en la secuencia de las listas de comprobación que se formulan con base en las regulaciones aplicables.

La ejecución de la identificación de riesgos mediante listas de verificación consta de:

- Definición de objetivos y alcance
- Selección del grupo de trabajo
- Preparación previa del análisis
 - 1 Selección del área de la planta a revisar
 - 2 Selección de una lista de verificación
 - 3 Realizar inspección
 - 4 Revisar el resultado
 - 5 Registrar las desviaciones
 - 6 Repetir 2 a 5 para todas las listas de verificación
 - 7 Repetir 1 a 6 para todas áreas de las planta
 - 8 Resumir todas desviaciones identificadas
- Registro de resultados

En los puntos 5 y 8 del procedimiento se realiza el registro de todas las desviaciones identificadas, de las cuales se generará el plan de acción correspondientes.



Es necesario generar un expediente que contenga la información utilizada y generada para seguimiento y control de los planes de acción.

En la primera etapa, el área de ingeniería de procesos conjuntamente con proyectos y seguridad definirán los estándares que la instalación debe cumplir y no necesariamente serán aquellos con los que originalmente diseñada y construida sino los que actualmente se requieran.

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

Análisis de métodos de fallos y efectos (AMFE)

Objetivos

- Establecer los fallos posibles en todos y cada uno de los elementos de equipo (de proceso y control) en una planta.
- Analizar las consecuencias de los fallos establecidos para detectar aquellas que puedan ser origen de accidentes
- Establecer medidas de protección que eviten los fallos que sean significativos.

Descripción.

En este método se analizan principalmente las desviaciones que pueden presentarse respecto al proceso y/o equipos en operación, respondiendo principalmente a cuestionamientos como los siguientes:



Debe	Fallo
➤ Estar cerrado	➤ Estar abierto
➤ Estar abierto	➤ Estar cerrado
➤ Flujo	➤ No fluir
➤ En marcha	➤ Parado
➤ Estanco	➤ Fuga
➤ Señal de indicación o mando	➤ Falta de señal
➤ Accionamiento	➤ Sin accionamiento
➤ Refrigeración	➤ Sin refrigeración
➤ Abrir	➤ No abrir
➤ Cerrar	➤ No cerrar

Para lo anterior, generalmente se llena una tabla con los siguientes encabezados:

<i>Elemento No.</i>	<i>Descripción</i>	<i>Modo de fallo</i>	<i>Detección</i>	<i>Efectos</i>	<i>Medidas correctivas</i>

Procedimiento.

- Identificar y listar todos los elementos de equipo (de proceso y de control).
- Definir el funcionamiento de cada elemento de equipo.
- Definir los fallos posibles según la lista de desviaciones.
- Definir las consecuencias de los fallos.
- Establecer si los fallos y las consecuencias definidos afectan a otros elementos de equipo aparte del que se esté evaluando. En caso afirmativo, debe trasladarse la parte del análisis correspondiente al elemento receptor de la influencia para determinar consecuencias sobre el mismo.



- Discernir y recomendar medidas preventivas viables que eviten los fallos que sean significativos a efectos de seguridad.
- Registro escrito del análisis (informe).

EJEMPLO:

Elemento No.	Descripción	Modo de fallo	Detección	Efectos	Medidas correctivas
1	Manguera flexible	a) Agujereada	Visual	Derrame ¿incendio?	Inspección más frecuente
		b) Tapada, aplastada	Visual	Falta o reducción de caudal	Inspección más frecuente
		c) Tipo equivocado	Visual (marcas, códigos, catálogo)	Corrosión, rotura o contaminación	Pruebas periódicas, marcado correcto.
2	Bomba	a) No arranca	Visual	No hay caudal	Revisión eléctrica y mecánica
		b) Fuga por empaque	Visual	Derrame, incendio local	Parar y aislar, reparar sello
3	Indicador de nivel	a) Atascado	Ciego hasta rebosamiento	Derrame por rebosamiento, incendio	Revisión periódica y limpieza

Análisis funcional de operabilidad (HAZOP)

Objetivos

- Detectar riesgos, sus orígenes, sus consecuencias y sus remedios mediante análisis, cualitativo pero sistemático y escrupuloso, que considera el meollo del proceso que son las desviaciones de sus variables.



- Al hacer la identificación sistemática de los riesgos facilita, al discernimiento de los analistas, decidir cuales de éstos deben ser objeto de análisis más afinado mediante métodos más detallados y/o cuantitativos.

En realidad, el objetivo de la técnica es estimular la imaginación en forma sistemática y es lo suficientemente flexible para aplicarse a todo tipo de planta, proceso, equipos, actividades, etc.

La técnica HAZOP fue desarrollada a principios de los 70's por Imperial Chemical Industries LTD. HAZOP puede ser definida como la aplicación de un examen sistemático crítico.

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

Descripción

Para desarrollar un estudio HAZOP se requiere de una descripción completa del proceso y se cuestiona a cada una de las partes de proceso y a cada componente para descubrir que desviaciones del propósito original, por lo cual fueron diseñados, pueden ocurrir y determinar cuales de esas desviaciones pueden dar lugar a riesgos al proceso o al personal.



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

Las desviaciones son estudiadas, se determinan sus causas y consecuencias indicando cuales son las condiciones en que se presentarían.

Procedimiento

Análisis sistemático de las desviaciones plausibles de todas y cada una de las variables de proceso, respecto de los valores de diseño que se consideran como de operación normal (tales valores cuantifican la intención de diseño o cometido ... previsto para el elemento que es objeto de análisis).

A través de la metodología uno imagina **desviaciones** utilizando ciertas **palabras clave** que, al ser analizadas por un grupo multidisciplinario, permite una búsqueda sistemática de los peligros escondidos en las instalaciones.

- No
- Más de (cantidad)
- Menos de (cantidad)
- Contrario de (invertido)
- Además de (añadido cualitativo)
- Parte de (falta cualitativo)
- Diferente de (otro que)

Establecida la desviación objeto de consideración, se investigan las causas posibles de la desviación. Se reserva el resultado.



Se investigan deductivamente las consecuencias posibles de la desviación con el fin de establecer cuál de las alternativas siguientes es aplicable al caso:

- Las consecuencias no entrañan riesgo: Descartar la consideración de esta desviación en la etapa siguiente.
- Las consecuencias entrañan riesgos menores o medianos: consideración de esta desviación en la etapa siguiente.
- Las consecuencias entrañan riesgos mayores: consideración de esta desviación en la etapa siguiente y envío de aquella (con lo obtenido en estas etapas) para su análisis mediante un método más detallado y/o cuantitativo.

Volviendo inductivamente a las causas posibles ya examinadas se trata ahora de determinar los remedios o medidas convenientes de protección (activa y pasiva) que eviten o palien dichas causas. Tales medidas serán objeto de recomendación, decisiones, asignación de responsabilidad y seguimiento para su control. Las decisiones mencionadas, previo estudio, se refieren a la elección entre alternativas viables (técnica y económicamente) que pueden darse para las medidas a tomar. También debe tenerse en cuenta que las medidas promovidas no generen riesgos añadidos.

Registro escrito de lo que sea significativo y sensato de entre lo obtenido en las etapas 1 a 4.

El objetivo de la técnica es estimular la imaginación en forma sistemática y es lo suficientemente flexible para aplicarse a todo tipo de planta, proceso, equipos, actividades, etc.



CLASIFICACIÓN DE RIESGOS PARA HAZOP

CLASE I SEGURO:

Condiciones en las que el error humano, diseño deficiente o inadecuado, o falla del equipo no resultará en daño al equipo o al personal.

CLASE II MARGINAL:

Condiciones en las que el error humano, diseño deficiente o inadecuado, o falla del equipo puede degradar el funcionamiento del sistema o dañar el equipo, pero que se puede arreglar por el personal o sistema de control sin que se presenten daños serios al personal.

CLASE III CRITICO:

Condiciones en las que el error humano, diseño deficiente o inadecuado, o falla del equipo causaran daños de consideración al equipo y personal o que resultan en un riesgo que requiera de acción correctiva inmediata para la sobrevivencia del personal y del sistema.

CLASE IV CATASTRÓFICO:

Condiciones en las que el error humano, diseño deficiente o inadecuado, o falla de equipo puede degradar severamente el funcionamiento del sistema y causa la perdida subsecuente del sistema o causar la muerte o daños serios e irreversibles al personal.



Métodos Semicuantitativos

Se trata de técnicas de análisis crítico que emplean índices globales del potencial de riesgo estimados a partir de las estadísticas.

Estos métodos suelen conducir a conclusiones comparativas:

- Entre distintas plantas existentes
- Entre situaciones, en una misma planta, antes y después de modificaciones o ampliaciones.
- Entre procesos diferentes dirigidos a un mismo fin
- Entre alternativas de diseño dentro de un mismo proceso
- Entre cualesquiera de los anteriores y valores procedentes de la experiencia.

Para efectos del presente curso, se verán los índices de Dow y Mond.

ÍNDICE DOW

El análisis de riesgo de una explosión es una evaluación objetiva paso a paso del fuego real, explosión y potencial de reactividad del equipo de proceso y su contenido. Las cantidades medidas empleadas en el análisis deben estar basadas en datos históricos de pérdidas, la energía potencial del material bajo estudio, y el alcance al cual se practica la prevención de pérdidas.

En pocas palabras, el propósito del análisis de riesgos usando el **índice de DOW** es:

- 1.- Cuantificar el alcance en daños y perjuicios del potencial del fuego e incidentes de explosión en términos reales.
- 2.- Identificar el equipo que podría estar contribuyendo ampliamente a la creación o escalamiento de un incidente.



3.- Comunicar el potencial de riesgo de fuego y explosión a manejar.

El objetivo más importante es ayudar a identificar caminos que disminuyan la severidad y resulten en mínimas o nulas pérdidas de una manera eficiente y efectiva.

Los impuestos de seguros de compañías de exposición potencial están basados típicamente en el peor incidente imaginable.

Aunque el sistema de fuego y explosión está diseñado para cualquier operación en la cual un material, flamable, combustible o reactivo es almacenado, manipulado o procesado, se puede usar en analizar el potencial de pérdida de tratamientos sucios, distribución de sistemas, cañerías, transformadores, boilers y ciertos elementos de fuerza en las plantas. El sistema puede ser usado para la evaluación de riesgo de procesos muy pequeños con pequeños inventarios de materiales potencialmente riesgosos: su aplicación en plantas pequeñas es ampliamente recomendada.

Los procesos riesgosos que contribuyen a la magnitud de pérdidas han estado cuantificados como penalidades que proveen factores para computación, pero no cada penalidad puede ser aplicable a una situación específica y algunos deben ser modificados.

Procedimiento para cálculos de análisis de riesgo

- 1.- Para desarrollar un análisis de riesgos tipo DOW se debe tener:
 - a) Un diagrama de distribución de la planta.
 - b) Un diagrama de flujo del proceso.
 - c) Una guía de clasificación de riesgos DOW
 - d) Una forma DOW
 - e) Un resumen de análisis de unidad.



- f) Un resumen de análisis de riesgo de la planta.
 - g) Datos de costos de equipo instalado del proceso bajo estudio.
- 2.- Identifique en el diagrama de distribución cualquier unidad de proceso que podrían tener gran impacto en la magnitud de fuego o explosión.
 - 3.- Determine el factor de material FM para cada unidad de proceso.
 - 4.- Evaluar cada uno de los factores que contribuyen al riesgo en el índice de fuego y explosión, y aplique las restricciones necesarias.
 - 5.- El producto del factor de riesgo general y el factor de riesgo especial representa el "Factor de Unidad de Riesgo", el cual mide el grado de riesgo de exposición de la unidad de proceso. El factor de unidad de riesgo se usa con el FM para determinar el factor de daños y perjuicios, el cual representa el grado de pérdida de exposición.
 - 6.- El producto del factor de unidad de riesgo y el FM representa el índice de fuego y explosión.
Este se usa para obtener el área de exposición alrededor de la unidad de proceso a evaluar.
 - 7.- Determinar el valor económico de todo el equipo dentro del área de exposición. Este valor es usado para obtener la base máxima probable de daños y perjuicios en propiedad (base MPPD):
 - 8.- La base MPPD se puede reducir a un actual MPPD aplicando varios factores de crédito y/o por relocalización de cierto equipo de alto valor fuera del área de exposición.
 - 9.- EL actual MPPD representa las pérdidas probables en un incidente de razonable magnitud con razonable funcionalidad de todos los equipos protegidos y facturados.
 - 10.- El actual MPPD se usa para obtener los días fuera de servicio máximos probables MPDD. La interrupción de los negocios se puede calcular de este dato.



SELECCIÓN DE UNIDADES PERTINENTES DEL PROCESO.

El cálculo del índice es destinado como instrumento para ayudar a determinar las áreas de gran potencial de pérdida en un proceso particular.

Un almacén puede tratarse como unidad de proceso. En particular los materiales almacenados dentro de un área de fuego en pared, adentro del área total del almacén cuando el fuego en la pared no es prevenido, podría constituirse como unidad de proceso.

Es claro que muchas plantas tienen muchas unidades de proceso. Para calcular el índice, sin embargo, únicamente unidades de proceso que pueden tener un impacto en el proceso de una prevención de pérdida desde este punto de vista puede ser evaluado. Esto se conoce como "Unidades de proceso pertinente".

Factores importantes para seleccionar unidades de proceso pertinentes incluyen:

- a) Energía potencial química (FM)
- b) Cantidad de material de riesgo en la unidad de proceso.
- c) Densidad de capital (Nuevos Pesos/metro cuadrado).
- d) Presión de proceso y temperatura de proceso (condiciones de operación)
- e) Historia pasada de problemas que pueden conducir al fuego e incidentes de explosión.

La destrucción en un incidente delimitado crítico o una clase de equipo dentro o cerca a la unidad de proceso puede producir muchos días de estancamiento. Para ayudar en la determinación en la cual las piezas de equipo tienen el gran potencial de fuego, y explosión, se puede consultar la experiencia de ingenieros de planta, u otros con experiencia en proceso.



CONSIDERACIONES IMPORTANTES.

1. Como regla general los cálculos del índice pueden proporcionar resultados significativos para plantas pequeñas.
2. Consideraciones cuidadosas se necesitan cuando el equipo es arreglado en serie y no son aislados efectivamente de otros. En tales situaciones el tipo de proceso determina en todo caso el total de la serie.
3. Es también importante dar consideraciones cuidadosas al estado de la operación. Por su naturaleza cada estado normal como arranque, operación en estado estable, paro, llenado, vaciado, adición de catalizadores, etc.

Determinación del factor de material (m).

El factor de material (FM) es el valor básico de partida en la computación del índice de fuego y explosión y otros valores de análisis de riesgo el FM es una medida de la velocidad intrínseca de potencial de energía liberada por el fuego o explosión producida por combustión u otra reacción química.

El FM se obtiene de **Nf** y **Nr**. El **Nf** y **Nr** son identificados por **NFPA**, que expresan flamabilidad y reactividad o inestabilidad respectivamente.

El valor de reactividad (Nr) se puede obtener de una descripción cualitativa de la inestabilidad o reactividad con agua de la sustancia, mezcla o compuestos a temperatura ambiente, como sigue:

- Nr = 0 La sustancia es completamente estable, aún bajo las condiciones de fuego y/o bajo calentamiento.
- Nr = 1 Reactividad ligera, sobrecalentamiento con presión.



- Nr = 2 Reactividad significativa, aún sin presión o calentamiento.
- Nr = 3 Posible detonación con confinamiento.
- Nr = 4 Posible detonación sin confinamiento.

Una vez que se obtiene el Nf o St y se determina el Nr, el resultado Nf (o St) y Nr se usan con la tabla 1 para determinar el Fm.

Mezclas.

Las mezclas de varias clases de sustancias pueden ser inadecuadas bajo ciertas condiciones. Normalmente los materiales que reaccionan violentamente con combustible y aire o hidrógeno y cloruro por ejemplo, son mezcladas bajo condiciones controladas. Las reacciones generalmente toman lugar continua y rapidamente, produciendo productos no flamables, estables que son seguramente controlados dentro de una unidad de proceso.

CONTRIBUCION DE LOS FACTORES DE RIESGO

Después de que se ha determinado el apropiado FM, el siguiente paso es calcular la **unidad de factor de riesgo (f3)** al cual es el término que es multiplicado por el factor de material para obtener el índice de fuego y explosión.

El valor numérico del factor de unidad de riesgo se determina por revisión de cada una de las contribuciones de riesgo enlistadas en la forma f y bajo el título riesgos generales del proceso (f1) y riesgos especiales del proceso (f2).

Cuando se calculan las sanciones que comprende el factor de unidad de riesgo (f3), el pico de un simple instante específico en tiempo durante el cual el material se representa por el FM, es asociado con la unidad de proceso en el más riesgoso estado normal de operación.



RIESGOS GENERALES DE PROCESO

Los riesgos generales de proceso son factores que juegan un papel primordial en la determinación de la magnitud de un incidente de pérdida.

Recuerde, para evaluar el riesgo de explosión de una unidad de proceso realísticamente, usted debe aplicar cada sanción de riesgo de proceso general, bajo las más riesgosas condiciones normales de operación que puedan ocurrir durante la asociación de un factor específico de material con la unidad de proceso que está siendo analizada.

Reacciones químicas exotérmicas.

Tome esta sanción sólo si la unidad de proceso en cuestión es un reactor en el que una reacción química tiene lugar.

- 1.- Exotérmicas leves requieren una sanción de 0.30
- 2.- Exotérmicas moderadas requieren una sanción de 0.50
- 3.- Exotérmicas de control crítico requieren sanción d 1.00
- 4.- Exotérmicas particularmente sensibles, las que son reacciones exotérmicas completamente riesgosas requieren una sanción de 1.25.

El factor de material FM representa un riesgo para la elección de material.

El inicio exotérmico es la temperatura en la cual reacciones químicas generan calor.

Si la unidad de proceso es un reactor la exotérma se debe a que la reacción intentada es cancelada para propósitos de ajuste de temperatura.



PROCESOS ENDOTERMICOS

Esta penalización sólo es aplicada para reactores.

En este punto se incluyen los intervalos de penalización para este tipo de procesos y van desde 0.2 a 0.4.

MANEJO DE MATERIAL Y TRANSFERENCIA

Este punto es evaluado de acuerdo al potencial de flamabilidad involucrado en la unidad de proceso durante el manejo, transferencia y almacenamiento de material.

El intervalo de penalización en este punto es de 0.25 a 0.85.

UNIDADES DE PROCESO CERRADO

En esta sección se describe lo que es un área cerrada, nos indica que los colectores de polvo y los filtros deben ser localizados en un área totalmente abierta de cualquier otro tipo, señala que una ventilación mecánica diseñada apropiadamente no es tan efectiva como una construcción abierta, sin embargo, si un sistemas mecánicamente ventilado esta diseñado de tal forma que todo lo flamable sea colectado y disperso la penalización se reduce.

En esta sección también se indican las categorías de penalización .

ACCESO

En este punto se menciona que el equipo de emergencia debe estar listo en algún área de proceso unitario permanente.



Al menos uno de los accesos aproximados debe ser a partir de un tablero. Un monitor que permanecerá accesible y operable fácilmente durante un encendido puede ser considerado como un segundo acceso.

CONTROL DE DESAGÜE Y DERRAMES.

Esta sección enlista las penalizaciones para las condiciones de diseño que podrían causar grandes derrames de líquidos inflamables o combustibles para ser retenidos alrededor o cerca del equipo de proceso. Un diseño inadecuado de desagüe ha sido un factor contribuyente en un gran número de pérdidas incluyendo derrames de líquidos.

Para evaluar el control adecuado de desagüe y derrame, es necesario estimar el volumen combinado de material inflamable/combustible, así como el agua que tendrá que ser seguramente drenada o manejada en un incidente.

El cálculo de f y el de capacidad de desagüe será basado sobre:

Procesos unitarios y se usará el 75% de la capacidad de las unidades, y para los depósitos de almacenamiento, se usará la capacidad completa del tanque más largo. Asumir 30 minutos de flujo de agua.

Selección de la penalidad:

Diseño de diques y áreas de contención para prevenir un derrame que pueda ir a otras áreas, pero que exponga todo el equipo dentro del protector.

Un área plana alrededor del proceso unitario permitirá el esparcimiento de derrames, expandiendo el riesgo de incendio a mayores superficies.

Diseño de protección que rodee tres lados de un área y derrames directos.



Si la palangana o la zanja se expone a las líneas de utilidad, o no conoce los requisitos de distancia.

Es decir se requiere de un excelente desagüe si se quiere evitar un riesgo de incendio mayor.

RIESGOS ESPECIALES DE PROCESO.

Los riesgos especiales de proceso son factores que contribuyen primeramente a la probabilidad de una pérdida incidental.

MATERIALES TÓXICOS

Los materiales tóxicos pueden complicar la respuesta de una emergencia personal, por eso se deben reducir sus probabilidades de ocurrencia para provocar daños.

PRESIÓN SUBATMOSFÉRICA

En esta sección se aplica a una condición de proceso donde la pérdida de aire en un sistema puede crear un riesgo.

Esta penalización es aplicada solamente si la presión absoluta es menor de 500 mm. Hg atm.

EN OPERACIÓN O RANGOS CERCANOS A FLAMABLES

Hay ciertas condiciones de operación las cuales pueden causar la formación de aire. La introducción de aire puede llevar a la formación de una mezcla flamable y crear un riesgo.



EXPLOSIÓN DE POLVO

En esta sección se indican las penalidades en forma de listado para ser aplicadas en algún proceso unitario involucrando operaciones de manejo de polvo: transferencia, mezcla, almacenamiento uso y empaque.

PRESIÓN DE ALIVIO

Indica que cuando las presiones de operación son atmosféricamente altas, una penalización debe ser aplicada para contrarrestar el efecto de alta presión sobre la probabilidad de fugas con la más alta tasa de liberación.

La presión de alivio también afecta las características de dispersión.

Para determinar la generalización apropiada, se requiere consultar la figura 2, y usar la presión de operación para determinar un valor inicial.

Para poder determinar la penalización actual, se debe tomar la penalización inicial ajustada y multiplicarla por el radio de penalización de presión de operación, para válvulas de alivio.

Es usualmente ventajoso colocar la presión de alivio cerca de la presión de diseño del recipiente.

Las temperaturas de reacción más altas no deseadas pueden ser evitadas colocando la presión de alivio tanto que el solvente pueda hervir y remover calor antes que la temperatura más alta sea alcanzada.

TEMPERATURA BAJA

Si se evalúa minuciosamente se observa que no hay posibilidades de que existan temperaturas por debajo de la temperatura de transición debido a condiciones de operación normales y anormales, no se aplica ninguna penalización.



En caso contrario las penalizaciones que se aplican son:

- 1.- Para procesos que utilizan materiales de construcción de acero al carbono operadas o por debajo de la temperatura de transición.
- 2.- Para materiales diferentes al acero al carbono, donde la temperatura de operación es normal o por debajo de la temperatura de transición.

CANTIDAD DE MATERIALES FLAMABLES E INESTABLES.

Esta sección indica que existen tres categorías, cada una evaluada por una curva de penalización. Aplica solamente una penalización para la sección de entrada, basada en el material.

Líquidos o gases en proceso

Esta sección aplica una penalización a una cantidad de material que puede ser derramada y crear un riesgo de incendio. La penalización aplica a algún proceso de operación, que incluye bombeo dentro de tanques de manejo y es válido para los siguientes materiales cuando son seleccionados como MF.

- a) Líquidos flamables.
- b) Gases flamables
- c) Gases flamables licuados
- d) Líquidos combustibles con temperatura de ignición $>140^{\circ}\text{F}$
- e) Material reactivo.

La penalización esta basada sobre la cantidad de combustible que puede ser liberada en un tiempo de 10 minutos.

La experiencia ha demostrado que esta cantidad puede ser razonablemente estimada considerando la más crítica de las siguientes cantidades.



- i. La cantidad de material en el proceso unitario.
- ii. La cantidad de material en la más grande unidad conectada.

RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO

En este caso la penalización esta determinada al insertar en la figura 3 con el proceso unitario de contenido de energía.

Almacenamiento de líquidos en bases.

Los líquidos, gases flamables y combustibles, o gases licuados en almacenamiento fuera del área de proceso reciben una penalización más baja que aquellos que están en el proceso.

COMBUSTIBLES SÓLIDOS EN ALMACENAMIENTO/POLVOS ENCONTRADOS EN EL PROCESO.

Esta categoría cubre la penalización requerida para varias cantidades de sólidos almacenados y para polvos encontrados en una unidad de proceso cuando el sólido o polvo dado es el material base de la MF. La medida usada en esta penalización es la densidad del material y facilidad de ignición y su habilidad a sostener flama.

El peso total en libras de sólido almacenado o de polvo contenido dentro de la unidad de proceso es usado junto con la figura 5 para determinar la penalización.

CORROSIÓN Y EROSIÓN.

Al presentarse problemas de corrosión interna y externa- debido a efectos de las impurezas de la corriente, resquebrajamiento de pintura, porosidad del material del equipo o imperfecciones en revestimientos plásticos, se aplican sanciones que van desde 0.10 hasta 0.75 dependiendo del efecto corrosivo expresado en mm/año.



FUGAS EN UNIONES, EMPAQUES Y SELLOS

Generalmente los sellos, aberturas de vidrio, ensamblajes o juntas de expansión, uniones de tuerca, rellenos de bombas o compresores ameritan sanción en un rango de 0.10 a 0.15

USO DE CALENTADORES FLAMABLES.

La sanción que se aplica a equipo flamable o calentadores que presenta ignición con líquidos o vapores flamables depende del lugar donde se localice el equipo y la distancia probable de fuga, respecto a la Unidad de Proceso evaluada. Así también, será necesario considerar el Factor de Material utilizado respecto a su combustión o ebullición (usar curva AQ-1 y curva A-1).

En caso de que sea el calentador por sí mismo la unidad de proceso y que utilice material combustible, la sanción será igual a 1.0

Cuando el material procesado este por debajo del punto en combustión, no habrá sanción.

INTERCAMBIADOR DE CALOR DE ACEITE CALIENTE.

Este tipo de equipo (Unidad de Proceso) representa un peligro debido a la frecuencia con que se operan sobre el punto de ebullición del aceite. las sanciones se basan en la cantidad de fluido utilizado y su temperatura (punto de combustión y punto de ebullición) y son aplicables únicamente, cuando se trata de sistemas de intercambio de aceite caliente.

No sancionar cuando el fluido del intercambiador no es combustible y que se use bajo su punto de combustión: así también cuando el sistema de intercambio de aceite caliente es por si mismo la Unidad de Proceso.



EQUIPO ROTATORIO.

La sanción aplicada a este tipo de equipo -bombas, compresores, agitadores y centrifugas- se basan en el riesgo intrínseco que representan.

DETERMINACIÓN DEL INDICE DE FUEGO Y EXPLOSIÓN (F Y E)

Estima el daño que probablemente puede resultar de un incidente en la planta, debido a un efecto del fuego o explosión de combustible.

El F y E se relaciona con el radio de exposición.

DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE UNIDAD DE PELIGRO (F3)

Es el producto de F1 y F2, puesto que es la contribución de peligro aportada por F1 y F2. Tiene un rango normal de 1 a 8 y se usa para determinar el índice y el factor de daño.

FACTORES DE DISMINUCIÓN Y/O MITIGACIÓN PARA EL CONTROL DE PÉRDIDAS.

Considera el número de características básicas del diseño -según especifican códigos y normas nacionales e internacionales como **ASME, NFPA, ANSI**, y otros-, las cuales han demostrado por beneficios para la prevención de accidentes. Estas características se clasifican en tres tipos de control de pérdidas.

Control de Proceso (C1)
Aislamiento de material (C2)
Protección contra fuego (C3)

Dentro del **control de pérdidas del proceso (C1)** se contempla la respuesta a emergencias, enfriamiento, control de explosión; paro de emergencia, control de computadoras, gases inertes, procedimientos de instrucciones de operación y el estudio de reactivos químicos; con sus respectivas sanciones según sea el caso.



El control de pérdida depende del **aislamiento del material (C2)** considera: válvulas de control, descargas, drenaje y compuertas utilizadas en el manejo de materiales dentro de la unidad de proceso.

En el caso de **protección contra fuego (C3)** se debe tomar en cuenta la detección de fugas, las estructuras de acero, tanques de doble pared y encerrados, suministro de agua, los sistemas especiales, los sistemas de rocío, contenedores de agua y los sistemas de espuma utilizados, extinguidores de mano y protección de cables utilizados para proteger la planta de posibles incidentes causados por fuego.

DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE UNIDAD DE DAÑO

El Factor de Unidad de Daño está determinado por el Factor de unidad de peligro (F3) y el Factor de material (FM). Ese factor representa el factor global de fuego y de un derrame de combustible.

DETERMINACIÓN DEL AREA DE EXPOSICIÓN.

El índice de F y E se convierte a un "radio" multiplicado por 0.84.

El radio de exposición representa un área de exposición el área que contiene el equipo que puede exponerse al fuego o a la explosión generada por combustibles.

Un incidente de explosión y/o fuego no se extiende en un círculo perfecto produciendo igual daño en todas direcciones. El daño se puede efectuar por la posición del equipo, dirección del viento y disposición del desagüe.

En el área de exposición es externa, es decir, incluye paredes y construcciones resistentes al fuego y/o explosión, no hay riesgo en la construcción y se puede excluir del área de exposición. Normalmente hay riesgo de explosión cuando una cantidad significativa de material esta siendo procesada cerca del posible punto de combustión.



VALOR DEL AREA DE EXPOSICION Y BASE MAXIMA PROBABLE DE PROPIEDAD DE DAÑO (BASE MPPD)

El valor de un área de **EXPOSICIÓN** se obtiene del valor reemplazado.

Valor reemplazado = costo original x 0.82 x Factor de escalamiento.

El factor 0.82 es un factor de descuento de costos no sujeto a pérdidas o reemplazos, como la preparación del área de la planta, carreteras, líneas subterráneas, cimientos y gastos de ingeniería. Este factor se puede cambiar si hay un estimado más preciso.

Si se calcula el valor reemplazado para el área de exposición es necesario usar el valor de los inventarios de producto junto con el valor del equipo. Para tanques de almacenamiento, se usa el 80% de la capacidad de tanques para las columnas, torres, bombas y reactores se usan los inventarios de producto o fuentes relacionadas.

El valor de producto se basa en costos de manufactura para el trabajo en proceso, en el valor de ventas de productos vendibles y en el costo de desechos.

MÁXIMA PROPIEDAD PROBABLE DE DAÑO ACTUAL (MPPD).

El producto de la base MPPD y el factor de crédito proporcionan el MPPD actual. Este producto representa la pérdida por daños que resultan de un incidente de magnitud razonable con un adecuado pero no perfecto funcionamiento del equipo de protección. Si alguno de los sistemas de protección falla, las pérdidas se acercan a la base MPPD.



MÁXIMOS DIAS PROBABLES DE INTERRUPCIÓN (MDPI)

El impacto económico en la interrupción de empleos puede ser igual o exceder el daño a las instalaciones y/o equipos, dependiendo de los niveles de inventario, demanda del producto y posición en el mercado.

SUMARIO DE ANÁLISIS DE RIESGO

Este sumario representa el probable impacto de la pérdida de propiedad de daño (MPPD) e interrupción de empleos (MPDD) para la planta que este siendo evaluada.

PAQUETE DE ANÁLISIS DE RIESGO.

A veces es necesario proporcionar seguros contra incendio con un resumen de características de pérdidas y prevención para plantas. El resumen se conoce como Paquete de Análisis de Riesgos.

Se recomienda que cada sitio mantenga un Paquete de Análisis de Riesgo actualizado para cada una de sus plantas.

MÁXIMA PROPIEDAD PROBABLE DE DAÑO (MPPD) - GENERAL

Hay un criterio que sugiere que un MPPD actual por semana de millones de dólares, puede considerarse aceptable.

Un enfoque alternativo puede ser colocar al valor MPPD aceptable en un 10% del valor de Reemplazo de Planta.

Cualquier nivel de MPPD es considerado como aceptable, pero importante considerar qué acción se puede o se debe tomar si el MPPD no es aceptable

RECURSOS NECESARIOS PARA REALIZAR EL INDICE DE FUEGO Y EXPLOSIÓN

- 1.- Lista de revisión mínima para previsión.



Esta lista muestra los tópicos de ingeniería necesarios a considerar para los requerimientos mínimos de prevención posibles. Estos tópicos incluyen, localización, edificios, regaderas, electricidad, alcantarillado, almacenamiento, materias primas, computadoras, manejo de materiales, proceso, seguridad general de equipo, etc.

Esta lista sirve como una guía cuando se desea evaluar el riesgo y revisar los requerimientos mínimos de prevención de otra planta. Esto también es una ventaja particular en la planeación de nuevas instalaciones.

Dicha lista no puede satisfacer completamente o hacer frente a todas las necesidades. Debe tenerse cuidado en el uso de la lista porque hay otros términos pertinentes que no se incluyen y no son considerados.

DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE MATERIAL (MF)

El MF representa el riesgo de flamabilidad y reactividad de una sustancia. Mientras más pura será fácil de determinar su MF.

Cuando se trata de una mezcla, no debe considerarse como representativa el MF más alto de algún componente, como tampoco puede determinarse un promedio por peso, sino que debe determinar primero algunos datos pertinentes tales como el punto laminar, DTA/DSC y el punto de ebullición. Estos datos pueden ser determinados mediante aproximaciones de ingeniería siempre que no haya reacción entre los componentes de la mezcla y sean químicamente homólogos.

La aplicación del factor de material se observa, por ejemplo en: 1) La producción de dicloro etileno (EDC) a partir de etileno y cloro. 2) En la producción de etileno a partir de la ruptura térmica de etano. 3) En la alquilación de benceno, 4) En la producción de polioles a partir de gliserina y óxido de etileno y óxido de propileno, 5) Producción electrolítica de HCl a partir de hidrógeno y cloro.



En ocasiones en una mezcla, el MF de la misma suele considerarse como el MF del compuesto más peligroso (volátil y flamable) de la misma, pero también se deben considerar las cantidades presentes que se encuentren disponibles. De aquí ya se ha mencionado que no siempre es válido tomar un promedio en peso, principalmente, debido a la discrepancia existente en las propiedades físicas de los componentes

Es importante considerar la cantidad de humedad presente en la mezcla, ya que afecta el valor calculado del MF y tiende a disminuir alejándolo del valor real.

Aspectos Preventivos y de Protección

Existen algunos aspectos preventivos y de protección en la industria a fin de preveer el riesgo existente en las instalaciones y equipos que pueden concluir en explosión o incendios.

Estos aspectos están contemplados por algunos códigos como el ASME, ASTM, ANSI y otros a parte del índice de Fuego y Explosión.

Los aspectos a cubrir no son siempre los mismos ya que dependen de las especificaciones de la instalación, pero si contemplan la protección del equipo y del personal desde el arranque, durante la operación y hasta el término del proceso.



Índice Mond de Fuego, Explosión y Toxicidad

Metodología para el cálculo del índice Mond

1. DIVISIÓN DE UNA PLANTA EN SECCIONES

Una "sección" se define como parte de una planta que se puede identificar lógica y fácilmente como una entidad separada. puede consistir en una porción de la planta que esta (o puede estar) separada del resto, ya sea por una distancia o por barreras contra fuego, dique, etc. la parte de la planta seleccionada como una sección es normalmente el área donde exista un proceso particular y/o un riesgo material, diferente de aquellos presentes en otras secciones cercanas.

Los tipos más comunes de secciones son:

- a) Almacenamiento de materias primas
- b) Sección de alimentación
- c) Sección de reacción
- d) Destilación de un producto
- Sección de absorción o agotamiento
- e) Almacenamiento intermedio
- f) Almacenamiento de productos
- g) Sección de carga y descarga
- h) Sección de manejo de catalizadores
- i) Tratamiento de subproducto
- j) Tratamiento de efluentes
- k) Una porción del puente de tuberías que entre al área la planta.



Estos tipos de unidades no son las únicas, hay otras tales como filtración, secado, procesamiento de sólidos, compresión de gas, etc., que deben usarse para dividir a la planta en secciones adecuadas.

Solamente dividiendo a la planta en un número de secciones de diferentes tipos, pueden establecerse las características de riesgo de las diferentes unidades de la planta; de otra manera, toda la planta o una gran parte de ella se caracterizaría por la sección más peligrosa. también permite considerar límites para que los incidentes no se extiendan a otras unidades de alta inversión de capital desde la sección más peligrosa de una planta.

Evaluando las áreas de almacenamiento, una unidad comprenderá generalmente un dique y todos los tanques y equipos contenidos.

Otras áreas cercadas separadamente se consideran como secciones diferentes para identificar correctamente los peligros relativos de gases licuados, líquidos altamente inflamables, líquidos combustibles y materiales que tengan riesgos especiales, como riesgos de polimerización espontánea, formación potencial de peróxido, propiedades de explosión de la fase condensada, etc. los puentes de tuberías más grandes que están dentro del área de la planta se estudian como secciones separadas de los procesos de la planta y de las unidades de almacenamiento. una sección adecuada para considerar los riesgos de un puente de tuberías es el largo del puente de tuberías entre los polos de soporte principal y el armazón completo con la tubería colocada encima.

Los tubos que corren a nivel del piso se consideran como una sección. se sugiere una longitud de 25 m como definición adecuada de una sección (trincheras completas o tuberías individuales) para estudio, a menos que las condiciones locales indiquen otra alternativa de longitud.



En el caso de edificios de muchos pisos donde se efectúan operaciones de procesos separados en diferentes pisos y en diferentes partes del edificio, se puede dividir en secciones apropiadas tanto en dirección vertical como horizontal, teniendo cuidado de que ninguna operación (como columnas de destilación) pase a través de los límites entre las diferentes secciones verticales u horizontales. una vez que los límites de las secciones se definan, se analiza cada una en forma separada.

2. LISTADO DE MATERIALES PARA UNA SECCIÓN DE LA PLANTA

Los materiales, catalizadores, intermedios, subproductos y solventes se identifican y listan para la sección junto con las reacciones u operaciones normalmente efectuadas dentro de ella. a continuación se selecciona uno de estos materiales (o mezclas de los mismos) que represente el mayor riesgo de la unidad. esto se basa generalmente en el grado de inflamabilidad combinado con la cantidad de material entre los listados individualmente en la sección, pero en algunos casos la combinación de cantidad y energía potencial explosiva puede considerarse como de mayor riesgo.

Para que un material se seleccione como material clave, debe estar presente en tal magnitud que sea peligroso. si un material que tiene riesgo excepcional (como el acetileno) esta solamente presente en pequeñas cantidades en relación con una mayor cantidad de un material como el propano, este último (propano) se seleccionara como el material clave. sin embargo, si un material tal como el acetileno esta presente en pequeñas cantidades relativas a un material inerte como el nitrógeno, el acetileno se seleccionara como el material clave. _____

Si una sección de la planta tiene más de un material apropiado, se deben hacer apreciaciones separadas basadas en cada material clave y establecerse como final el más severo, seleccionándolo como representando los riesgos de la sección.



también se puede hacer una mezcla como el material clave si la mezcla permanece constante y representa la reacción o el potencial dominante de fuego, reactividad, explosión o toxicidad en la sección.

3. Método de aplicación

1. DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE MATERIAL

El primer punto para la aplicación de la técnica es el cálculo del factor de material de material clave (o mezclado de materiales) previamente identificado al listar los materiales, reacciones y operaciones incluidas en la sección.

El factor de material se define como una medida del fuego, explosión o energía potencial liberada por el material clave a una temperatura de 25 °c y a presión atmosférica (gas, líquido o sólido). en el formato de trabajo el factor material se designa con la letra "b".

a). el factor de material para materiales normalmente inflamables se define como el calor neto en aire a 25 °c del material clave en su estado normal a 25 °c y a presión atmosférica. el factor de material se calcula como sigue:

$$b = \frac{hc}{1000} \text{ donde } hc \text{ se expresa en } \text{btu/lb} \text{ de material clave}$$

$$b = \frac{hc1 \times 1.8}{1000} \text{ donde } hc1 \text{ se expresa en } \text{calorías/gr. de material clave}$$

b) Materiales poco inflamables

El factor de material para materiales clave que tengan poca inflamabilidad o que se consideren como incombustibles en situaciones de transporte, no debe tomarse



como cero debido a que se puede calcular un calor neto de combustión equivalente. esto se hace con referencia a los colores de formación del material clave y sus productos de combustión (en estado gaseoso) en la forma convencional. el factor de material a partir del calor neto de combustión equivalente se determina como sigue:

$$b = \frac{hr \times 1.8}{m} \quad \text{donde } hr = \text{calor equivalente de combustión en kcal/gr.}$$

$m = \text{mol de "combustible".}$
 $m = \text{peso molecular del "combustible".}$

ejemplo de materiales poco inflamables:

tricloroetileno 1.1.1. tricloroetano, percloroetileno, cloruro de metilo, cloroformo.

c) Materiales no combustibles. Algunas veces el material clave puede ser de los que no dan calor neto de combustión con oxígeno. ejemplos: agua, arena, nitrógeno, helio, tetracloruro de carbono, dióxido de carbono y hexacloroetano. para este grupo de materiales, que estrictamente no tienen factor de material, debe usarse un valor de 0.1 a fin de permitir que el método sea efectivo.

d) Mezclas de materiales inflamables con diluyentes

En caso de mezclas de materiales, se usa el factor de material de componente más combustible o explosivo. a menos que siempre este una proporción fija de diluyente. en este caso se puede tomar el factor de material para el componente combustible y ajustarlo en base al peso y tomando $f_m = 1.0$ para un diluyente inerte (o un valor más alto para materiales poco inflamables).

e) Sólidos y polvos combustibles

Muchos materiales sólidos tiene valores de calor de combustión que no son apropiados para usarse en el índice Mond. Por ejemplo, cuando sólidos metálicos voluminosos u otros con materiales orgánicos como madera en gran volumen (otros que no sean granulados o más pequeños), se seleccionan como el material clave. en



estos casos, se aplica un valor $f_m = 0.1$, a menos que el sólido combustible este en forma separada, granular o en polvo, lo que se reconoce como más peligroso que usando el mismo material en forma masiva. en estos casos de mayor riesgo, se calcula el factor de material basado en el calor de combustión del material.

f) Materiales de composición no especificado

Algunos materiales tales como gases combustibles, materiales patentados para aplicaciones especializadas, polvos mezclados (productos farmacéuticos), algunos polvos (harina, carbón, etc.) pueden presentar dificultad para obtener el valor de calor de combustión (a menos que se cuente con datos de bomba calorimétrica). en algunas situaciones se puede disponer de datos en forma de presión de explosión de recipientes cerrados, que pueden convertirse en factor de material por la siguiente relación:

$$b = \frac{p \times t}{288 \times 6.2}$$

donde p = presión de explosión máxima en psig
partiendo inicialmente de presión atmosférica.
t = temperatura inicial °k

g) Combinación de materiales que pueden reaccionar

Esto se refiere a combinaciones de materiales donde la cantidad de calor que se puede liberar excede del valor del calor de combustión para el material clave. Estas combinaciones surgen cuando se pueden mezclar en la planta cantidades de materiales oxidantes y reductores, y como ejemplo están las reacciones tipo "termita", reacciones de metales finamente divididos con solventes de hidrocarburos halogenados, reacciones de nitración o sulfatación.

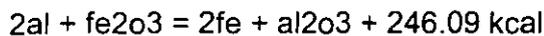
Bajo estas condiciones, se calcula el calor de reacción de la combinación y se determina el factor de material como sigue:



$$b = \frac{hr1 \times 1.8}{m1}$$

donde: hr1 = calor de reacción en kcal/grmol de un componente
 m1 = peso molecular del componente usado para calcular
 hr + el peso molecular equivalente del otro
 componente basado en el mecanismo de reacción.

ejemplo de reacción "termita" de aluminio con oxido férrico:



$$b = \frac{246.09 \times 1.8}{53.96 + 159.69} = 2.07$$

Para identificar las combinaciones reactivas potenciales de materiales se debe consultar las referencias 1,2 y 3.

h) Materiales que tienen potencial de explosión o descomposición de la fase condensada

Se considera bajo esta categoría la situación en la que cantidades apreciables de materiales tienen algunas propiedades de comportamiento de este tipo. por ejemplo: nitrometano, dinitrobenzeno, acetileno, nitrato propílico, peróxido de hidrogeno concentrado, peróxido orgánico, tetrafluoretileno, etc. en estos casos es necesario establecer si el calor neto de combustión es mayor o menor que el calor neto liberado durante la explosión o descomposición. el valor de liberación de calor que sea mayor se usa para determinar el factor de material.

En los casos en que el material clave pueda formar una mezcla o producto que tiene potencial de explosión o descomposición en la fase condensada al exponerse al aire u otras condiciones, no se considerara este hecho en el cálculo del factor material, ya que el material modificado no representa el volumen total del material presente durante la operación de la unidad.



Consideraciones de medidas preventivas potenciales

Al considerar muchos aspectos de los riesgos especiales de proceso, surgen problemás para fijar el valor correcto de los factores cuando se sabe por anticipado que se tomaran medidas preventivas para neutralizar algún riesgo especial del proceso en particular. obviamente, si no se hace ninguna concesión para el sistema más simple de control de la unidad o estándar de diseño, resultara un riesgo alto fuera de la realidad. por otra parte, si se supone que todos los sistemas de seguridad y control operan correctamente todo el tiempo, esto dará una estimación muy baja de riesgos porque no se toman en cuenta las fallas de los operadores ni del equipo.

La directriz que debe seguirse en el estudio de riesgos especiales de proceso (y cualesquiera otras comparables) es suponer que la planta cuenta con sistemas de control (si se operan correctamente) apropiados para mantener la operación del proceso (aunque con algunas desviaciones). este es el sistema de control básico sin considerar los sistemas complejos que normalmente se instalan para mejorar la eficiencia o por razones de control de seguridad. por lo mismo, se considera que la unidad contara con equipo eléctrico de acuerdo con los materiales presentes normalmente y con la guía de clasificación eléctrica de áreas (ver ref. 4).

Los sistemas especiales de interlock, equipo de supresión de explosión, sistemas de venteo o desecho, sensores de gas combustible o analizadores de gás continuo, sistemas fijos de inerte, válvulas de exceso de flujo u operadas a distancia y muchos otros aspectos similares de seguridad, no deben tomarse en cuenta para el estudio inicial de la sección de proceso.

El objetivo del estudio inicial es asegurar que el resultado represente el nivel de riesgo potencial si todos los sistemas de seguridad especiales no operaran. el



tamaño y naturaleza de este incidente potencial se puede revisar junto con los sistemas especiales que existan en la sección o los que se consideren por la vía de otros estudios de riesgos. la técnica de la estimación del índice de fuego, explosión y toxicidad mond tiene como uno de sus objetivos la identificación de algunas, pero no necesariamente todas las áreas que requieren estudio más detallado de riesgo.

En una etapa posterior, los valores de factores de riesgo seleccionados inicialmente se revisan y se asignan factores para medidas preventivas.

2. RIESGOS ESPECIALES DEL MATERIAL (M)

Los aspectos a revisar para determinar los riesgos especiales del material tienen por objeto tomar en cuenta las propiedades específicas del material clave o cuando se mezcle con otros materiales tales como catalizadores, los factores de riesgo se asignan en función de las circunstancias de uso del material clave en la sección que se estudia y no se definen por las propiedades del material clave aislado.

a) Materiales oxidantes

Se aplica cuando el material es capaz de liberar oxígeno bajo condiciones de fuego y a cualquier material que se clasifique como una sustancia oxidante en los reglamentos de transporte. El factor usado debe estar entre 0 y 20 y debe relacionarse con la cantidad de material oxidante respecto al material clave y a su poder oxidante. ejemplos: oxígeno líquido, cloratos, nitratos, percloratos, peróxidos.

No se aplica un factor cuando en material oxidante se haya incluido como parte de una combinación especialmente reactiva en la determinación del factor material. no se debe aplicar en los casos de reacciones de oxidación controlada o cloración, donde el abastecimiento de material oxidante o cloración se controla de manera que no se libere ninguna cantidad bajo condiciones de fuego.

b) Materiales que reaccionan con agua para producir gas combustible



Se consideran aquellos materiales que en estado normal o bajo condiciones de fuego reaccionan con agua para liberar gas combustible. si la cantidad de material reactiva es lo suficientemente pequeña como para producir solo un fuego pequeño o un aumento insignificante del incendio, aplique un factor de hasta 5. si el material reactivo es inflamable, no se aplica ningún factor. en los casos en que los que la contribución al fuego de la reacción del material con agua es apreciable, se selecciona un factor de hasta 30. ejemplos: carburos, sodio, magnesio, amidas metálicas alcalinas, hidruros, etc.

c) Características de mezclado y dispersión (m)

El grado de riesgo del material clave esta en función de si se trata de un gas denso o ligero, líquido inflamable, gas licuado inflamable, material viscoso, etc., aunque el material de material sea sensiblemente constante. se selecciona un factor m para los aspectos de riesgo de mezclado y dispersión por fugas o derrames como sigue:

1. Gases inflamables de baja densidad

A menos que estos estén a temperaturas bajo cero, se dispersan rápidamente y su contribución a los riesgos de fuego y explosión es menor que la de los gases con densidad igual a la del aire.

hidrogeno	-use un factor de -60 (menos 60)
metano y amoniaco	-use un factor de -20 (menos 20)
mezclas con otros materiales	-use un factor proporcional basado en los valores arriba anotados y un factor cero a la densidad del aire.

2. Gases licuados inflamables

Un gas licuado inflamable se define como un material inflamable con una temperatura crítica arriba de -10 °C para estos gases se usara un factor de 30.

3. Líquidos criogénicos inflamables



El material criogénico se define como un líquido que se almacena a, o cerca de la presión atmosférica y a temperaturas de -73 °C o menos.

En los casos en que sean inflamables (como el hidrógeno líquido) se aplica un factor de 60.

4. Materiales viscosos

Si el material clave es altamente viscoso a temperaturas relevantes de la sección, se debe seleccionar un factor de -20 (menos 20); por ejemplo: alquitrán betún, aceites lubricantes pesados, resinas, asfaltos, materiales tixotrópicos, etc.

d) Sujetos a calentamiento o combustión espontánea

A los materiales que pueden desarrollar efectos de calentamiento durante el almacenamiento o uso, se les asigna un factor de 30; ejemplos: algunos peróxidos orgánicos y almacenamiento en silos de carbón, materiales orgánicos como paja y pasto, nitrato de amonio, etc.

A los sólidos pirofóricos (como sulfuro de hierro, metales reactivos, fósforo, etc.) se les asigna un factor de 50 a 250. el valor del factor seleccionado debe referirse a la tendencia al fuego que surja de las partículas de sólido pirofórico y si hay impurezas inertes que reduzcan el grado de piroforicidad.

A los líquidos pirofóricos se les asigna un factor de 100. si hay duda de las propiedades del material clave, se deben consultar las referencias 3 y 5.

e) Polimerización espontánea



Para materiales que se puedan polimerizar espontáneamente con rápida generación de calor, cuando se sobrecalientan con fuego o contaminación bajo condiciones normales de almacenamiento, use un factor de 75.

f) Sensibilidad a la ignición

Se refiere a la sensibilidad a la ignición en general del material clave del aire como oxidante. no se incluye la piroforicidad. la guía para seleccionar factores de sensibilidad a la ignición se basa en estándares de clasificación eléctrica para equipos de gas y de vapor, con cambios específicos en los casos en que el trabajo de estudio de riesgo requiere el reconocimiento de diferentes niveles de riesgo como se muestra en la tabla i.

En la tabla i se notaran variaciones entre los diferentes códigos de clasificación relacionados con sensibilidad a la ignición, y a menos que aparezca una guía específica en la tabla mencionada, se debe usar el factor más alto para sensibilidad a la ignición.

g). Sujetos a descomposición explosiva

Una descomposición explosiva se define como una reacción acompañada por la liberación de grandes cantidades de gases calientes que ocurre con suficiente rapidez para proporcionar una rápida reacción o una explosión visible a un observador.

El factor 125 se asigna para el caso de etileno de alta presión, peróxidos concentrados vaporizados, vapor de oxido de etileno, acetileno a presiones a bajo de una parcial de 20 psig, vapor de nitrato propilico, etc. dicho factor también se debe aplicar al acetileno almacenado en cilindros conteniendo absorbente poroso inerte aprobado. no se debe aplicar ningún factor bajo este encabezado a materiales explosivos en fase condensada (ver i) o a materiales sujetos a detonación gaseosa (ver h).



h) Sujetos a detonación gaseosa

Ciertos materiales pueden dar lugar a detonación gaseosa bajo condiciones normales de procesos o con el equipo específico involucrado o cuando es necesario depender de la instrumentación para conservar el material fuera de los rangos especificados de temperatura, presión, etc. para evitar detonación a estos materiales se le debe dar el factor de 150; ejemplos: acetileno con una presión de más de 20 psig; tetrafluoroetileno bajo presión, peróxido de hidrogeno concentrado, etc. este factor no debe aplicarse a combustibles que detonan cuando se mezclan con aire u otro soporte.

i) Propiedades explosivas de la fase condensada

Bajo este encabezado se consideran las propiedades propulsoras y detonantes explosivas de la fase condensada del material clave o de la mezcla. cuando el material tiene propiedades deflagrantes o de propulsión se le asigna un factor de 200 y 400.

Cuando el material puede detonar, se le asigna un factor entre 500 y 1000.

Cuando el material sea tal que una explosión de gas o de fase vapor inicie una explosión de fase condensada, adicione 500.

Debe tomarse en cuenta que el comportamiento de la fase condensada de un material es una función de la cantidad del material presente, la presencia de contaminantes y de inertes.

Si el comportamiento es dudoso, debe consultarse con el área de seguridad industrial para definir el factor a asignar.

j) Otro comportamiento extraño



Un ejemplo de riesgos especiales que pueden producir fuego espontáneo o explosión, es el hexano mezclado con el 20 % o más de alquil aluminio, que provoca fuego espontáneo cuando se pone en contacto con el aire.

Las referencias 5 y 6 deben consultarse para estos casos peligrosos y se debe asignar un factor entre 0 a 150. Cuando se presente este riesgo especial se recomienda consultar el área de seguridad industrial.

3. RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (P)

a) Solo manejo y cambio físico

El almacenamiento de materiales inflamables que cuenta con protección adecuada (dique o equivalente) y este separado de las operaciones de carga y descarga se le asigna un factor de 10.

Cuando un material, que esta siendo almacenado esta caliente y tiene una fase acuosa separada, y/o el recipiente de almacenamiento esta calentado con vapor, se usa un factor de 50.

Las operaciones de proceso que incluyen manejo y cambio físico solamente se llevan a cabo en sistemas cerrados con tubería permanentemente instalada (como destilación, absorción, evaporación, etc.) deben ser calificados con un factor de 10.

Los procesos como centrifugado, mezclado batch, filtración, etc., requieren un factor de 30.

b) Reacciones continuas simples

Para reacciones endotérmicas y aquellas exotérmicas que se efectúan en soluciones diluidas de manera que el solvente pueda absorber todo el calor que se genere en la reacción sin crear una situación peligrosa, se aplica un factor de 25; ejemplos:



reacciones de separación (cracking) e isomerización y también producción de clorohidrina cuando la sección del reactor contenga más del 90 % de agua.

El factor de 50 se asigna a otras reacciones exotérmicas como polimerización, cloración, etc.

A los procesos que incluyen materiales sólidos como pulverización, mezclado, transportación neumática, tolvas, filtración de polvos, secado de sólidos, etc., se le asigna un factor de 50.

c) Reacciones batch simples

El factor a aplicar se basa en el inciso b para reacciones continuas, más un factor adicional entre 10 y 60 para tomar en cuenta un posible error del operador. el factor escogido debe ser mayor cuando la reacción batch sea rápida (menos de una hora) o lenta (más de un día). las reacciones de velocidad media entre estos valores deben tener un factor bajo.

d) Reacciones múltiples o diferentes operaciones de proceso efectuadas en el mismo equipo.

Se debe incluir otro factor extra por el riesgo de contaminación de una a otra reacción o por bloqueo de sólidos. el procedimiento es considerar las reacciones individuales u operaciones bajo los incisos a), b) o c) (el que aplique) y seleccionar el factor más alto para la reacción u operación individual.

Se debe aplicar un factor de contaminación cuando las reacciones u operaciones difieran considerablemente una de otra o cuando se use el reactor para hacer otro tipo de producto en el que la contaminación afecte la reacción.

Aplique un factor de hasta 50 de acuerdo con el grado de contaminación.



Donde haya una alteración en el orden de tiempo o de admisión de reactivos en una situación multi-reacción, que pueda conducir a reacciones esperadas, aplique un factor de hasta 75.

Si por la multiplicidad de reacciones u operaciones se tiene un riesgo de bloqueo debido a las reacciones de los subproductos use un factor de 25.

e) Transferencia de materiales

En este inciso se consideran los riesgos adicionales asociados con métodos específicos de llenado, vaciado o transferencia de materiales.

1) Solamente donde haya tubería permanentemente instalada, completamente cerrada, aplique un factor de cero.

2) Donde haya tubería flexible o donde la operación requiera la conexión o desconexión de tubería use un factor de 25.

3) Donde las operaciones de llenado o de vaciado se efectúen a través de compuertas o otras tapas o salidas inferiores (por ejemplo reactores batch, mezcladores, centrífugas, filtros) use un factor de 50.

f) Recipientes transportables

Si los tambores, tanques desmontables, pipas y carros tanque están bien cerrados (excepto cuando se llenan o se vacían), las consecuencias de choques, fuego externo y otros incidentes pueden ser mayores que en las unidades fijas de las plantas, debido a que el venteo disponible es mínimo. este inciso considera los riesgos adicionales causados por esta razón; también se a tomado en cuenta el caso de tambores llenos de vapor y otros recipientes.



- 1) Cuando se trata de tambores llenos (que no estén en vehículos de transporte) use un factor de 25.
- 2) Cuando se trate de tambores llenos de vehículos de transporte, use un factor de 40.
- 3) Cuando se trate de tambores vacíos (en o fuera de vehículos) use un factor de 10.
- 4) Cuando se trate de pipas o trailers, use un factor de 100.
- 5) Cuando se trate de carros tanque, use un factor de 75.

4. RIESGOS ESPECIALES DE PROCESO (S)

En esta sección los factores se asignan con respecto a las características de operación del proceso, almacenamiento, transporte, etc., que intensifiquen el riesgo total sobre la clasificación determinada por las características del material clave y del proceso u operación básica de que se trate, siendo de la mayor importancia hacer una estimación correcta de las medidas de control y de protección con que se cuente.

a) Baja presión

Cuando los procesos operan a baja presión o al vacío pueden entrar al sistema de proceso. Cuando el aire u otro contaminante (por ejemplo vapor de agua) no represente un riesgo, no se necesita aplicar un factor; ejemplo: unidades que contienen "neón" o "argón", unidades de compresión de cloro, sistemas de condensación de agua, etc. Si el aire o los contaminantes que entren al sistema reaccionan con materiales presentes para producir una condición riesgosa, aplique



un factor de 50; por ejemplo: el manejo de diolefinas (dioxano) donde hay el peligro de formación de peróxido y polimerización catalítica subsecuente; y el manejo de materiales pirofosfóricos.

Los procesos que operan casi a presión atmosférica (definida como ± 0.5 psig o ± 0.35 bar) o al vacío (hasta un diferencial de 600 mm hg) con materiales inflamables, presentan un gran peligro por el riesgo de explosión originado por la entrada de aire al sistema. en tales casos se aplica un factor de 100. ejemplos: Sistemas colectores de hidrogeno, destilación o vacío parcial de líquidos inflamables.

Los procesos que operan a alto vacío (diferencial superior a 600 mm hg) con materiales inflamables, presentan un riesgo menor y se aplica un factor de 75.

b) Alta presión

Donde se opera una unidad de planta a una presión más alta que la atmósfera, se requiere un factor para compensar la intensidad de riesgos de fuego y de explosión interna. los riesgos de fuego se aumentan si se aumenta la presión de la sección y por lo tanto el riesgo de una explosión interna. se aplica un **factor p** para representar el peligro de alta presión, el cual se determina por medio de la fig. 1. el rango de 0 - 900 psig (0 - 62.1 bars man.) se grafica como la curva principal, con una segunda curva para el rango 1000 - 10,000 psig (69 a 690 bars manométricos).

Los sistemas que operen a más de 3000 psig (207 bars manométricos); involucran un riesgo considerable de un escape grande de fluido descargado a la atmósfera (excepto donde se trate de semi-sólidos como es en las operaciones de moldeo por extrucción o inyección), por lo que la curva de la fig. 1 aumenta rápidamente arriba de 3000 psig (207 bars manométricos) debe aumentarse el factor p en 10 por cada 2500 psig adicionales (172.4 bars).



c) Baja temperatura

Donde los equipos instalados son de acero al carbón normal a temperaturas normales de operación entre 10 °c (50 °f) y -10 °c (14 °f), asigne un factor de 15.

Cuando se use acero al carbón normal a temperaturas normales de operación entre -10 °c (14 °f) y -25 °c (-13 °f) sin posibilidad de alcanzar temperaturas menores a 25 °c bajo cualquier condición, asigne un factor de 30.

Donde se use acero al carbón normal a temperaturas normales de operación abajo de -25 °c (-13 °f) o donde haya posibilidad de alcanzar temperaturas menores a -25 °c bajo condiciones anormales, asigne un factor de 100.

El propósito de esta sección es tomar en cuenta la posible fragilización de unidades de acero al carbón al ser operadas a una temperatura igual o menor a la de transición. sin embargo si las pruebas muestran que el acero al carbón se encontrara siempre sobre sus temperatura de transición, no se aplica ningún factor.

Cuando se usan grados de acero para bajas temperaturas, aleaciones de acero u otras aleaciones resistentes a la corrosión, se aplicara un factor entre 0 y 30, pero ocasionalmente hasta 100, cuando la temperatura normal de operación difiera menos de 10 °C de la temperatura de transición (tomando la temperatura normal de transición del acero al carbón como 0 °C). se debe buscar la guía de los especialistas en diseño de recipientes a presión y de metalurgistas para los valores de la temperatura de transición de aleación de aceros etc., y para los efectos que se pueden anticipar al usar contracciones de paredes gruesas.

d) Alta temperatura

La operación a alta temperatura presenta un efecto doble: primero aumenta los riesgos inherentes al manejo de material inflamable, y segundo, la resistencia la equipo de planta se puede ver afectada negativamente.



1. Los efectos de la alta temperatura los riesgo del material dominante presente son mayores cuando el material es un liquido inflamable pero también son significativos con gases y vapores inflamables.

Cuando la unidad contenga el material dominante en fase liquida o sólida, asigne un factor de inflamabilidad por alta temperatura como sigue:

- Cuando un liquido o sólido inflamable este arriba de su flash point de copa cerrada use un factor de 20.
- Si el liquido o sólido esta por arriba del flash point de copa abierta, use un factor de 25.
- Si el material dominante esta en fase liquida a una temperatura arriba de su punto de ebullición a 760 mm hg, use un factor de 25 esto también se aplica en el caso de gases licuados inflamables presentes en la sección como un liquido.
- Si el material es un sólido a temperatura normal, pero se presenta en la unidad en fase liquida, use un factor de 10
- Si el material ya sea su estado normal gas, liquido o sólido se maneja arriba de su temperatura normal de autoignición, use un factor de 35.

Cuando un material cae bajo varios de estos criterios se usa el factor más grande, o donde los factores sean iguales, se debe usar un factor de 1.1 veces el factor individual.

2. Se debe asignar un factor adicional, cuando aplique para el efecto de la temperatura sobre la resistencia del equipo de la planta, como sigue:

- Si la temperatura es tal que el material (metales, plásticos, plomo, etc.) usado para construir los equipos de la planta se opera bajo condiciones de esfuerzo longitudinal o progresivo, aplique un factor de 25.



- Si la temperatura de operación esta en el rango donde la resistencia permisible del material de construcción se reduce en un 25 % o más por un aumento en la temperatura de 50 °c, aplique un factor de 10.

3. Anotar la temperatura en °k como el valor de t

e) Riesgos de corrosión y erosión

1) Velocidad de corrosión menor que 0.1 mm/año, factor de 0.

2) Velocidad de corrosión menor que 0.5 mm/año, con algún riesgo de perforación o erosión local, factor de 10.

3) Velocidad de corrosión cercana a 1 mm/año, con o sin efectos de erosión, factor de 20.

4) velocidad de corrosión mayor que 1 mm/año sin efectos de erosión o hinchazón de plásticos, factor de 50.

5) velocidad de corrosión mayor que 1 mm/año acompañada de efectos de erosión, factor de 100.

6) alto riesgo de desarrollo de tensión y agrietamiento, factor de 150.

7) si cuando un tubo soldado en forma espiral se usa en lugar de un tubo soldado longitudinal o fundido, se usa un factor de 100 a menos que la calidad del tubo y su uso se controle de manera que su comportamiento no este por abajo del tubo longitudinal soldado.

Estos factores deben asignarse tanto con respecto a la corrosión interna como a la externa. cuando la planta se construye con revestimientos resistentes (plásticos, ladrillos, hule, metales recubiertos, etc.) los efectos del desquebrajamiento en los agujeros para espigas, uniones con cemento, soldaduras contaminadas, etc., se deben tomar en cuenta en todos los problemas de corrosión. Igualmente se deben revisar los efectos de la corrosión de subproductos normalmente producidos cuando la reacción deseada se inhibe o modifica.



f) Riesgos de juntas y empaques

Estas partes pueden causar problemas, particularmente donde se tienen ciclos de temperatura y presión. Se selecciona un factor de acuerdo con el diseño y los materiales escogidos para estas partes.

1. Construcción soldada para la mayoría de las uniones, más uniones con bridas diseñadas para no causar problemas, cuellos de bombas y válvulas bien selladas (posiblemente con fuelles o doble sello mecánico), factor de cero.
2. Uniones bridadas que llegaran a tener fugas regulares, factor de 30.
3. Sello de las bombas que podrían tener fugas de menor cuantía, factor de 20.
4. Problemas mayores de sello en el proceso, (fluido del proceso que penetra, lodos abrasivos, etc.) factor de 60.

g) Riesgos de vibraciones y de fatiga por cargas cíclicas y fallas de cimentación y soportería

Algunos tipos de operaciones, tales como unidades de compresión, introducen vibración en equipos asociados en tuberías. efectos similares en un periodo de tiempo más largo se pueden producir en un equipo en donde las condiciones de temperatura y presión varían cíclicamente dentro de un rango razonable. ambas situaciones introducen riesgos de fatiga en el equipo que intensifican el riesgo de sección. en estos casos aplique un factor de hasta 50, de acuerdo con el grado de riesgo (esto se puede reducir con un diseño apropiado del equipo involucrado).

Otros tipos de operación (operaciones de llenado de pipas, carros tanques, estructuras elevadas, etc.) pueden introducir riesgos si los cimientos u otros soportes de estructuras fijas, tales como puentes de tuberías, se debilitan por corrosión, abrasión, etc. donde estas son fuentes potenciales de riesgo de la unidad, se asigna un factor de hasta 30 de acuerdo con las consecuencias que en ocasiones la falla.



Cuando un recipiente se coloca sobre celdas de carga o estructuras similar de tal manera que los movimientos laterales pueden causar inestabilidad al recipiente, use un factor de 50.

h) Procesos o reacciones difíciles de controlar

Cuando se llevan a cabo reacciones exotérmicas o en caso en los que se debe evitar una reacción lateral exotérmica, hay una gran posibilidad de que la reacción quede fuera de control. ejemplos: nitraciones, algunas polimerizaciones y reacciones de friedel - grafts.

A la operación de un proceso a temperatura normal dentro de 20 °c del limite de temperatura especificado por seguridad para dicho proceso (definido con respecto a la capacidad real de operación y materiales de construcción) se le asigna un factor de 100.

Se asignan factores en el rango entre 20 y 300 para otros aspectos de difícil control, dependiendo de la dimensión del factor de la influencia de impurezas y cantidad de catalizador, de la sensibilidad general de la reacción a condiciones súbitas fuera de control sin cambios de avance detectables, etc.

Para determinar el valor del factor a aplicar, se debe considerar el efecto de inercia a cambios del material en una unidad. Con reacciones liquido - liquido y liquido - gas, hay una cantidad amortiguadora que actúa como un agente buffer en los riesgos introducidos por un cambio en el flujo de un material. en estas situaciones, se considera un valor en el rango de 20 a 75. en el caso de sistemas de gas o fase de vapor, el tiempo de residencia es mucho más corto y los efectos de un cambio en velocidad. de un material son más pronunciados, por lo que se seleccionan factores en rango de 100 a 300, de acuerdo con el grado de dificultad de control esperado.



i) Operación en o cerca del rango inflamable

No se aplica a las unidades de proceso que operan a baja presión. los límites de inflamabilidad considerados en este apartado son aquellos reportados en **NFPA 325** m.

En el caso de almacenamiento de líquidos inflamables dentro de recipientes cerrados que no tienen venteo atmosférico, se usa un factor de 25 si el espacio de vapor puede caer dentro del rango inflamable por venteo accidental.

Se asigna un factor de 150 a los tambores vacíos u otros recipientes que hayan contenido materiales inflamables y no haya sido descontaminadas o purgadas totalmente.

Donde se almacenan líquidos inflamables de manera que el espacio de vapor este (bajo condiciones normales o de equilibrio) fuera del rango inflamable, pero que puedan entrar en el rango inflamable durante el llenado o vaciado, o en otras situaciones infrecuentes pero normales, se usa un factor de 50. por ejemplo: tanques de almacenamiento de gasolina y crudo (normalmente ricos en combustible) que pueden producir una atmósfera inflamable si se vacían rápidamente.

Igualmente un líquido inflamable de manera que el espacio de vapor (bajo condiciones normales o de equilibrio).

Igualmente un líquido inflamable almacenado a una temperatura por debajo de su flash point de copa cerrada puede producir un espacio de vapor inflamable o la entrada de líquido caliente, formación de neblina y donde se tiene un llenado de golpe (sin evitar salpicaduras) se usa un factor de 50.



Las reacciones de proceso y otras operaciones que se efectúen cerca del rango inflamable donde se debe tener confianza en la instrumentación para permanecer fuera de los límites de inflamabilidad, se aplica un factor de 100. un ejemplo es la oxidación del tolueno a ácido benzoico con aire.

Se les asigna un factor de 150 a lo procesos que siempre operen dentro del rango inflamable. un ejemplo es la destilación y/o de vaporización del oxido de etileno.

j) Riesgo de explosión mayor que el promedio.

Para que los procesos que usen líquidos inflamables o gases licuados inflamables a temperaturas y presiones tales que una fuga resulte en rápida vaporización y formación probable de concentración inflamable en una gran parte el edificio o atmósfera circundante, se aplica en factor de 40.

A los procesos con riesgo de explosión de vapor se les asigna un factor de 60; por ejemplo: procesos donde el agua de enfriamiento se usa en conjunto con circuitos de sal fundida.

A los procesos susceptibles de acumular contaminantes que puedan causar una explosión se les asigna un factor de 100; por ejemplo: plantas de separación de aire, almacenamiento de oxido de etileno, etc.

Para cualquier proceso donde por la experiencia que se tiene se sospeche que la escalación en tamaño pueda afectar la reactividad y aumentar la naturaleza peligrosa de la operación. Aplica un factor de por lo menos 60; ejemplos: el uso a gran escala de químicos sensibles, tales como el etileno, acetileno, oxido de etileno, presurizados o el cambio de un proceso de reactores de serpentín o reactores kettle, etc.



Donde los subproductos, productos corrosivos o residuos pueda acumularse en la unidad y producir la descomposición de los materiales que están siendo procesados, se aplica un factor de por lo menos 50.

Donde se almacenen gases licuados inflamables bajo refrigeración y en los casos de almacenamiento criogénico de líquidos inflamables u oxidantes, aplique un factor de 80.

k) Riesgo de explosión por polvo o neblina

Se aplica un factor para este riesgo cuando bajo condiciones normales o ligeramente anormales se pueda desarrollar un potencial de explosión por polvo o neblina.

Si se sabe que un proceso bajo condiciones y variaciones definidas no origina un riesgo por polvos, no se necesita ningún factor; por ejemplo: el manejo y transporte controlado de pellets de polietileno, donde no exista peligro de polvo.

Para procesos donde los materiales se manejen de manera que los riesgos de explosión por polvo o neblina dentro o fuera del equipo puedan producirse únicamente por ruptura o falla del equipo use factor de 30. ejemplos: aceite hidráulica de alta presión, oxido de difenilo, sistemas de azufre o naftaleno fundido.

Si en el proceso o la operación se manejan líquidos a una temperatura que sea susceptible de ignición o explosión de manera que pueda haber formación de neblina dentro del equipo, aplique un factor 50. por ejemplo: sistemas dowtherm de transferencia de calor y el bombeo de aceites hidráulicas calientes, aceites minerales, aceites fluidizantes, etc.

En los procesos en los que el riesgo de formación de polvo o neblina casi siempre esta presente, se les asigna un factor de 50 a 70. el manejo de los polvos finos que se clasifican como explosivos es ejemplo de los anterior y el valor del factor debe



relacionarse con el grado de riesgos presentado por el polvo. la neblina se considera de igual manera.

I) Procesos que usan oxidantes gaseosos muy fuertes.

La liberación de energía potencial de procesos que usan oxígeno, mezclas de aire-oxígeno, óxido de nitrógeno y cloro, es un riesgo mayor que en los procesos de oxidación con aire a la misma temperatura y presión. se debe hacer una consideración máxima del soporte en la corriente del proceso de la planta bajo la base de combustible.

- 1) Donde el oxígeno se use como oxidante, use un factor de 300.
- 2) en el caso de aire enriquecido por oxígeno, aplique un factor calculado con el x % de oxígeno, aplique un factor calculado de acuerdo con el x% de oxígeno disponible en el aire enriquecido.

$$(x - 39) \frac{300}{79}$$

- 3) Donde se use cloro sin dilución, se aplica un factor de 125.
- 4) Si el cloro se diluye con un inerte hasta una concentración de y % Cl_2 , en una base libre de combustible, use un factor dado por:

$$(y - 39) \frac{129}{61}$$

- 5) Donde N_2O o NO_2 se usan sin ser diluidos, el aumentado en la liberación de energía potencial es similar al del oxígeno. por lo tanto, se usa un factor de 300.
- 6) la dilución de N_2O o NO_2 se trata igual que la del oxígeno diluido (inciso 2).
- 7) Si el óxido nítrico sin dilución es el oxidante, se usa un factor de 230.
- 8) en lo cual que se refiere al óxido nítrico diluido, se calcula el factor basado en la composición % del óxido nítrico, como sigue:

$$\text{factor} = (z - 26) \frac{230}{74}$$

- 9) En el caso de oxidantes mezclados, recurra a especialistas.



No se deben dar factores negativos para las condiciones en las que el soporte se diluye abajo del equivalente de aire, ya que el aire puede entrar el equipo de la planta durante una operación normal.

m) Sensibilidad a la ignición.

Al igual que los efectos anteriores sobre la liberación de energía potencial, se debe introducir un factor separado para ajustar una mayor sensibilidad a la ignición de algunas mezclas comparada con el mismo material en el aire. Este factor se usa para tomar en cuenta la posible formación de sub-productos pirofóricos, peróxidos inestables, etc. que puedan actuar como fuente de ignición.

El factor se selecciona como sigue:

- 1) Si O_2 concentrado, N_2O o NO es el oxidante, use 50.
- 2) Donde Cl_2 concentrado o NO_2 es el oxidante, use 75.
- 3) Donde el oxidante se diluye, use un factor linealmente proporcional, de manera que de un factor cero a 21% O_2 , 21% NO_2 , 26% NO_2 y 39% Cl_2 .
- 4) Donde es probable que el proceso produzca materiales pirofóricos, que puedan provocar ignición en espacios de vapor o donde es probable que se formen pequeñas cantidades de materiales inestables (como peróxidos), use factor de 25.

n) Riesgos electrostáticos.

Los riesgos electrostáticos se pueden crear cuando una unidad contiene:

- a) Polvos y materiales granulados en movimiento,
- b) Líquidos puros de gran resistividad,
- c) Líquidos que contienen dos fases,
- d) Descargas de gas que contienen dos fases y
- e) Cuando el equipo en estudio está hecho de materiales aislantes o tiene recubrimientos aislantes, ejemplo: plásticos y hule.



Métodos cuantitativos para el análisis de riesgos

Son técnicas de análisis crítico que incluyen estructuras y cálculos para establecer la probabilidad de sucesos complejos a partir de valores individuales de la probabilidad de fallo que corresponde a los elementos (equipo y humanos) implicados en los procesos.

En esta clasificación se agrupan los siguientes métodos:

- Análisis cuantitativo mediante árboles de fallos
- Análisis cuantitativo mediante árboles de sucesos
- Análisis cuantitativo de causas y consecuencias

En este apartado, sólo se verá el primero de ellos, ya que su desarrollo es muy similar a los otros dos.

Análisis cuantitativo mediante árboles de fallos

Objetivos

- 1.- Análisis cuantitativo de los eventos o sucesos de fallo en sistemas complejos
- 2.- Estimación deductiva (desde los sucesos básicos al suceso capital) de las probabilidades de acontecimiento.
 - Establecido el marco cuali y cuantitativo de las relaciones causa – efecto y de las interacciones se puede:
 - Detectar qué causas son más importantes en su contribución a la probabilidad de suceso capital, para definir medidas correctivas o de protección.
 - Introduciendo tales medidas, con sus probabilidades, en el árbol: estimar sus efectos sobre la probabilidad de ocurrencia del suceso capital.

Es frecuente el uso de este método para una exploración detallada y profunda de aquellos sistemas (complejos) que se haya demostrado que son fuente de peligro.



Bibliografía



Bibliografía

_____. 1994. Evaluación de daños ambientales. Residuos peligrosos. Convenio de cooperación técnica México – Canadá. Bovar – Concord Environmental. México.

Alp, Ertugrul. 1994. Emergencias Ambientales: Evaluación y manejo de accidentes ambientales. Convenio de cooperación técnica México – Canadá. Bovar – Concord Environmental. México.

Storch de Gracia, J. M. 1998. Manual de Seguridad Industrial en Plantas Químicas y Petroquímicas. Fundamentos, Evaluación de Riesgos y Diseño. Mc Graw Hill. España.

Ramos A. Isaías. 1997. Curso "Ingeniería de Riesgos Industriales" Edición B. México.

