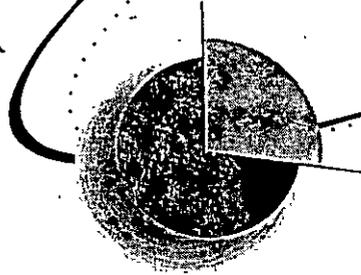


# DIPLOMADO EN RIESGO AMBIENTAL

**C**  
**a** **URSOS**  
DISTANCIA



**Módulo III :**

**Métodos y Análisis de Riesgo**

**( Cualitativo y Cuantitativo )**

**Coordinador Académico:**  
**Inq. Sara Gallardo Mendoza**

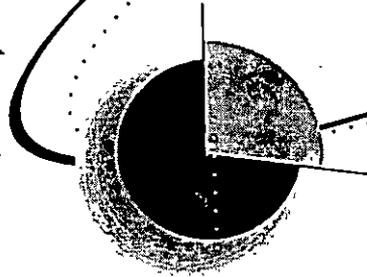


**DEC**



# DIPLOMADO EN RIESGO AMBIENTAL

**C**  
**a** **CURSOS**  
DISTANCIA



**Módulo III :**

**Métodos y Análisis de Riesgo**

**( Cualitativo y Cuantitativo )**

**Tema I :**

**Evaluación.**



## **INTRODUCCIÓN.-**

Los elementos que dan origen a los riesgos presentes en una industria son, en términos generales, los siguientes:

- \* **MATERIAS PRIMAS.**
- \* **PROCESO Y TECNOLOGÍA UTILIZADA.**
- \* **PRODUCTOS TERMINADOS.**
- \* **RECURSOS HUMANOS.**
- \* **COMUNIDAD Y VECINDAD.**
- \* **MEDIO AMBIENTE.**

La interrelación de estos elementos, por medio de la tecnología utilizada, es lo que da por resultado la existencia de riesgos reales y potenciales, siendo su magnitud función de las características particulares de los elementos mencionados.

El análisis de riesgo puede realizarse a través del "SENTIDO-COMÚN"; pero la complejidad de la tecnología moderna ha hecho que el proceso de análisis sea también complejo, por ello ha sido necesario el desarrollar y establecer metodología sistemáticas de alta confiabilidad, para realizar los diagnósticos de seguridad de los procesos industriales.

## **EVOLUCIÓN.-**

El diagnóstico de seguridad a una planta de procesos involucra responder una serie de preguntas, a saber:

**¿EXISTEN RIESGOS REALES Y POTENCIALES EN LA PLANTA?**

si es así:

**¿CUALES SON?**

**¿DE QUE MAGNITUD SON?**

**¿SON ACEPTABLES?**

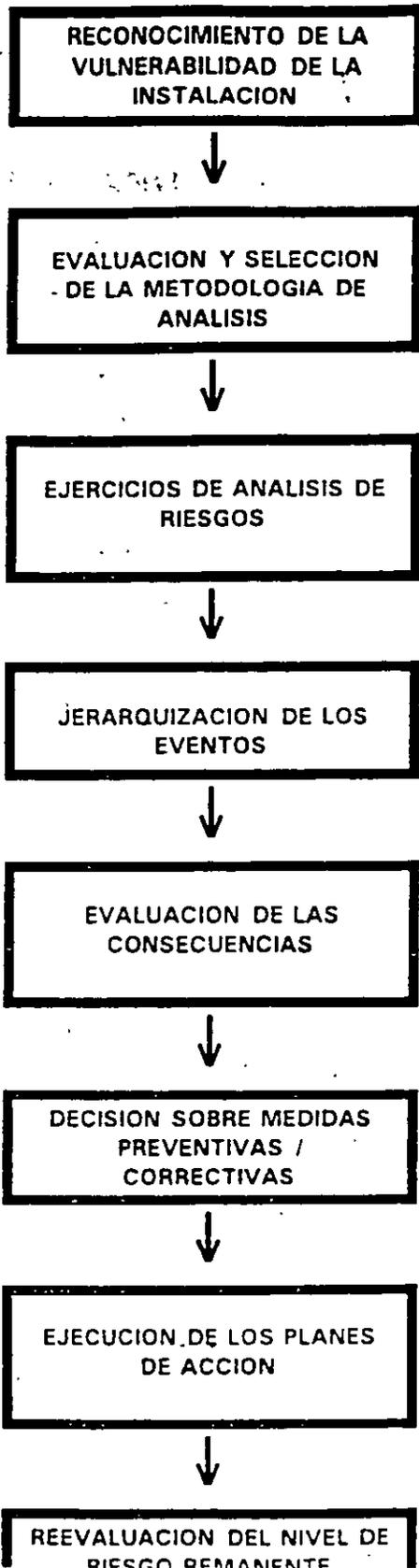
si no es así:

## **EVOLUCION DE LOS ANALISIS DE RIESGO.**

- 1920 - APARICION DE LAS PRIMERAS METODOLOGIAS. LA COMPAÑIA DUPON EN FRANCIA, DECIDE "ANALIZAR LOS ACCIDENTES" CALAMITOSOS DE SUS PLANTAS DE DINAMITA.
- 1960 - SE DESARROLLA LA METODOLOGIA CONOCIDA COMO "ANALISIS DE EFECTOS Y MODOS DE FALLA", LA CUAL ES UNA FORMALIZACION AL METODO WHAT IF...? YA EMPLEADO, POR ALGUNAS INDUSTRIAS DE PROCESO. ESTA FORMALIZACION ES REALIZADA POR LA INDUSTRIA AEROSPACIAL DE USA.
- 1962 - SE DESARROLLA LA METODOLOGIA "ARBOL DE FALLAS", POR LA MISMA INDUSTRIA AEROSPACIAL, EL CUAL ES COMPLEMENTADO POR LA INDUSTRIA NUCLEAR DE USA.
- 1960 - DURANTE LA DECADA ES DESARROLLADA LA METODOLOGIA CONOCIDA COMO HAZARD & OPERABILITY STUDIES (HAZOP), POR LA DIVISION MOND DE LA COMPAÑIA INGLESA ICI.
- 1985 - LA CHEMICAL MANUFACTURES ASSOCIATION (CMA) ESTABLECE LAS METODOLOGIAS DE ANALISIS DE RIESGO, EXISTENTES EN EL MERCADO DE USA:  
WHAT IF...?, HAZOP, CHECK LIST, HAZAN, DOW INDEX & ICI MOD INDEX.
- 1986 - CCPA DE CANADA (ASOCIACION DE PRODUCTORES DE QUIMICOS), ADOPTA EL PROCESO CAER (COMMUNITY AWARENESS & EMERGENCY RESPONCE).
- 1988 - CMA DE USA, ADOPTA EL PROCESO CAER COMO MARCO NORMATIVO SOBRE LOS CODIGOS DE SEGURIDAD, QUE DEBEN OBSERVAR TODOS SUS SOCIOS.

- 1989 - SEDESOL MEXICO, EMITE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION AL AMBIENTE. EN CUYO CAPITULO DE IMPACTO AMBIENTAL SOLICITA ESTUDIOS DE RIESGO A TODO PROYECTO A REGISTRARSE Y QUE MANEJE MATERIALES O PROCESOS QUE PUEDAN AFECTAR EL AMBIENTE O COMUNIDAD.
- 1990 - SEDESOL EMITE EL PRIMER LISTADO DE ACTIVIDADES ALTAMENTE RIESGOSAS.
- 1990 - OSHA PUBLICA "PROCESS SAFETY MANAGEMENT OF HIGHLY HAZARDOUS CHEMICAL", DIARIO OFICIAL DE JULIO 17. INCORPORANDO LOS ESTUDIOS DE RIESGO COMO UN REQUISITO OFICIAL DE TODO PROYECTO E INSTALACION QUIMICA EN USA.
- 1992 - DEBIDO A LA EXPLOSION QUE SE DESATO EN LA CIUDAD DE GUADALAJARA, JAL. MEX. EL PRESIDENTE SALINAS DE GORTARI EN LA REUNION DE PREVENCION DE DESASTRES VERIFICADA EL 29 DE ABRIL, GIRO INSTRUCCIONES PRECISAS A LA SEDESOL PARA INICIAR LAS AUDITORIAS ECOLOGICAS DE LAS EMPRESAS POTENCIALMENTE MAS RIESGOSAS, INCLUYENDOSE LOS ANALISIS DE RIESGO DE SUS PROCESOS.
- 1992 - SEDESOL EN MAYO, EMITE EL SEGUNDO LISTADO DE ACTIVIDADES ALTAMENTE RIESGOSAS.
- 1992 - SEDESOL EMITE LAS GUIAS DE INFORMACION BASICA QUE DEBEN SUMINISTRAR LAS PLANTAS QUE REALICEN:
- AUDITORIAS ECOLOGICAS.
  - ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL.
  - ESTUDIOS DE RIESGO MODALIDAD "ANALISIS DE RIESGO".
- 1993 - ANIQ, MEXICO, EN FORO ANUAL PRECIDIDO POR SALINAS DE GORTARI, ADOPTA EL CODIGO DE PRACTICAS DE RESPONSABILIDAD INTEGRAL, EL CUAL ESTA ACTUALMENTE EN DESARROLLO Y SERA CONDICION DE SU OBSERVANCIA, PARA SER MIEMBRO DE LA ASOCIACION.

# SISTEMA DE ANALISIS DE RIESGOS



- CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES
- TECNOLOGIA
- UBICACION
- RECURSOS HUMANOS

- ¿ QUE PASA SI ?
- HAZOP
- LISTAS DE VERIFICACION
- TORMENTA DE IDEAS
- ETC.

- IDENTIFICACION DE EVENTOS QUE PUEDEN CONducIR A:
  - INCENDIOS
  - EXPLOSIONES
  - FUGA DE TOXICOS
  - CONTAMINACION

- DE ACUERDO A:
  - PRIORIDAD 1: MORTALIDAD, INCAPACIDADES PARCIALES PERMANENTES, PERDIDA MAYOR DE INSTALACIONES, AFECTACION A LA COMUNIDAD, CONTAMINACION
  - PRIORIDAD 2: LESIONES, PERDIDA MENOR DE EQUIPO, PERDIDA DE PRODUCTO

- APLICACION DE METODOLOGIAS CUANTITATIVAS TALES COMO
  - ARBOL DE FALLAS
  - TNT
  - INDICES DOW Y MOND
  - PROGRAMAS DE DISPERSION, ETC.

- ELIMINACION
- REDUCCION
- TRANSFERENCIA
- ACEPTACION

- PROGRAMAS ADMINISTRATIVOS PARA LLEVAR A CABO LA DECISION TOMADA, TALES COMO
  - SUBSTITUCION DE MATERIALES
  - OPTIMIZACION DE PROCESOS O CAMBIO DEL MISMO (POT)
  - REUBICACION DE LA PLANTA
  - CAPACITACION, ETC.

- APLICACION CICLICA DE TODO EL PROCEDIMIENTO QUE SE INDICA

# CONCEPTOS DE INGENIERIA

## 1) GENERALIDADES

PARA EL **DESARROLLO DE UN PROYECTO O PROCESO INDUSTRIAL** SE REQUIERE CONJUNTAR UNA SERIE DE ESPECIALISTAS EN DIFERENTES DISCIPLINAS TANTO DEL AREA DE LA INGENIERIA COMO EN EL AREA ECONOMICA Y ADMINISTRATIVA.

EN ESTE CASO NOS OCUPAREMOS DE LAS ACTIVIDADES QUE DESARROLLA EL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ESPECIALMENTE EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE PROCESOS.

LA INGENIERIA DE PROCESOS TIENE COMO OBJETIVOS ESTABLECER LOS LINEAMIENTOS PARA TRANSFORMAR LAS **MATERIAS PRIMAS A PRODUCTOS**, ESTUDIANDO LAS ETAPAS DE CAMBIOS FISICOS, QUIMICOS Y ENERGETICOS INVOLUCRADOS, EL DISEÑO DE LOS EQUIPOS REQUERIDOS EN ESA TRANSFORMACION, ASI COMO SUS REPERCUSIONES ECONOMICAS Y CUIDANDO TAMBIEN CUMPLIR CON LA NORMATIVIDAD OFICIAL VIGENTE Y CON LAS NORMAS ECOLOGICAS, A FIN DE NO CONTAMINAR EL ENTORNO.

EL **DESARROLLO DE UN PROCESO** SE INICIA EN BASE A UNA IDEA PARA OBTENER UN DETERMINADO PRODUCTO Y/O POR LA NECESIDAD DE MEJORAR UN PRODUCTO YA ELABORADO.

ESTA IDEA DEBE TENER COMO BASE DE PROYECCION UN ESTUDIO DE MERCADO SOLIDO Y/O UNA NECESIDAD REAL DE PRODUCIRSE.

### 1.1) DESARROLLO DEL PROCESO

LOS PASOS A SEGUIR PARA EL DESARROLLO DE UN PROCESO SON LOS SIGUIENTES:

#### 1.1.1) SINTESIS DE PROCESOS:

UNA VEZ ESTABLECIDO EL PRODUCTO QUE SE DESEA OBTENER, SE PROCEDE HA REALIZAR UNA **BUSQUEDA DE INFORMACION** EN LA **TECNOLOGIA DISPONIBLE** PARA LLEVAR A CABO DICHO PRODUCTO. ESTA INFORMACION ES OBTENIDA BASICAMENTE DE REVISTAS DE INGENIERIA COMO SON: CHEMICAL ENGINEERING, HIDROCARBON PROCESSING, AICHE JOURNAL, ETC DE LAS CUALES SE OBTIENE LA TECNOLOGIA A TRAVES DE LICENCIADORES.

CON ESTA TECNOLOGIA DISPONIBLE, SE PROCEDE A REALIZAR UNA SERIE DE **ALTERNATIVAS DE PROCESO** PARA LLEVAR A CABO LA OBTENCION DEL PRODUCTO DESEADO.

ESTAS ALTERNATIVAS SE REPRESENTAN POR MEDIO DE **DIAGRAMAS DE FLUJO** ( ver tema: tipos de diagramas ).

PARA PODER DEFINIR CUAL O CUALES SERAN LAS **ALTERNATIVAS DE PROCESO** QUE TENDRAN LA POSIBILIDAD DE SER EL PROCESO FINAL, ES NECESARIO REALIZAR DIFERENTES **ANALISIS DE PROCESO** ( Analisis rápidos ). ESTOS ANALISIS SE REFIEREN A **COSTOS DE MATERIAS PRIMAS** Y A CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS DE SEPARACION QUE SERAN UTILIZADOS EN EL PROCESO.

**LAS ALTERNATIVAS CUYO COSTO DE MATERIAS PRIMAS SEA BAJO Y CUYAS CONDICIONES DE OPERACION NO SEAN MUY EXTREMAS ( muy altas temperaturas y/o presiones ) SERAN LAS MAS ADECUADAS PARA EL DESARROLLO DEL PROCESO.**

**ADEMAS ES IMPORTANTE ANALIZAR LOS SISTEMAS DE SEPARACION ( Operaciones Unitarias ) QUE SERAN INVOLUCRADAS EN EL PROCESO. ESTO DEBIDO A QUE EL MAYOR NUMERO DE EQUIPO DEL QUE ESTA FORMADO UNA PLANTA ( aproximadamente 80% ) ES EL UTILIZADO EN LOS PROCESOS DE SEPARACION.**

**SE DEBEN ELEGIR SISTEMAS DE SEPARACION. PARA LO CUAL ES MUY RECOMENDABLE HACER CASO DE LAS SIGUIENTES SUGERENCIAS ( Reglas Heurísticas )**

### **1.1.2) REGLAS HEURISTICAS:**

**LAS REGLAS HEURISTICAS SE HAN OBTENIDO A PARTIR DE LA EXPERIENCIA DE LOS INGENIEROS. LA APLICACION DE ESTAS REGLAS TIENE COMO OBJETIVO ELIMINAR LAS ALTERNATIVAS MENOS PROMETEDORAS, REDUCIENDO DE ESTA MANERA EL TRABAJO DE LOS INGENIEROS Y EVITANDO GASTOS INNECESARIOS.**

**ALGUNAS DE LAS REGLAS HEURISTICAS UTILIZADAS EN LOS PROCESOS DE SEPARACION SON:**

- 1.- PREFIERA ALTERNATIVAS CUYAS CONDICIONES DE OPERACION ( Temperatura y presión ) SEAN LAS MENOS ALEJADAS DE LAS CONDICIONES AMBIENTE.**
- 2.- PREFIERA ALTERNATIVAS DE SEPARACION DONDE SE SEPAREN PRIMERAMENTE LAS ESPECIES MAS ABUNDANTES.**
- 3.- PRIMERAMENTE SEPRE LOS MATERIALES PELIGROSOS Y CORROSIVOS.**
- 4.- PARA LOGRAR UNA SEPARACION EN FORMA SENCILLA SE DEBE ELEGIR UNA PROPIEDAD FISICA Y/O QUIMICA LA CUAL SEA MUY DIFERENTE ENTRE LAS ESPECIES. CUANDO LA DIFERENCIA EN LA PROPIEDAD SEA MINIMA SE DEBE DEJAR ESTA SEPARACION AL FINAL DE LA ETAPA.**
- 5.- EN LOS CAMBIADORES DE CALOR SE DEBE REALIZAR LA TRANSFERENCIA DE CALOR ENTRE FLUIDO CALIENTE Y EL FRIO A CONTRACORRIENTE.**

**UNA VEZ DESARROLLADA LA SINTESIS DE PROCESO SE TIENEN LA O LAS ALTERNATIVAS MAS PROMETEDORAS PARA EL DESARROLLO DEL PROCESO EXPRESADAS EN FORMA DE DIAGRAMAS DE FLUJO.**

**EL SIGUIENTE PASO EN EL DESARROLLO DEL PROCESO ES EL ANALISIS DEL PROCESO.**

### **1.1.3) ANALISIS DE PROCESO.**

EN ESTA SECCION DE LA INGENIERIA SE LLEVA A CABO EL ANALISIS TERMODINAMICO Y CINETICO DE PROCESO.

#### **ANALISIS TERMODINAMICO**

EN ESTA SECCION SE ANALIZA LA ENERGIA LIBRE DE GIBS, LA CUAL DETERMINA LA FUERZA MOTRIZ DE UN PROCESO. ES DECIR NOS DETERMINA LAS POSIBILIDADES QUE EXISTEN DE QUE EL PROCESO SE PUEDA REALIZAR, Y MEDIANTE UN ANALISIS DE LA ENERGIA NECESARIA PARA QUE LA REACCION SUCEDA, SE DEFINE CUALES SERIAN LAS CONDICIONES DE OPERACION MAS ADECUADAS PARA LOGRAR LA MAYOR CONVERSION DE MATERIA PRIMA AL PRODUCTO DESEADO.

#### **ANALISIS CINETICO.**

UNA VEZ ESTABLECIDAS LAS CONDICIONES DE OPERACION DEL PROCESO, EL ANALISIS CINETICO NOS AYUDA A DETERMINAR LA RAPIDEZ CON LA CUAL SE LLEVARA A CABO LA REACCION QUE VA A DAR ORIGEN AL PRODUCTO DESEADO.

MEDIANTE LA CINETICA QUIMICA ESTABLECEMOS LA ECUACION DE RAPIDEZ DE LA REACCION PARA LOGRAR OBTENER EL PRODUCTO DESEADO EN EL MENOR TIEMPO POSIBLE Y POR LO TANTO CON EL MENOR CONSUMO ENERGETICO Y ECONOMICO.

EL ANALISIS CINETICO VA A DAR COMO RESULTADO LAS CONDICIONES DEFINITIVAS DE OPERACION DEL REACTOR.

ESTABLECIENDO LAS ECUACIONES TERMODINAMICAS Y CINETICAS DEL PROCESO SE TIENE DEFINIDA LA INGENIERIA BASICA DEL PROCESO EN EL DESARROLLO DEL PROCESO, YA QUE INCLUSO DEPENDIENDO DEL TIPO DE ECUACION CINETICA Y DE LAS CONDICIONES DE OPERACION DEL SISTEMA SE VA A ESTABLECER EL TIPO DE REACTOR A UTILIZAR.

ESTABLECIENDO EL ANALISIS DE PROCESO SE PROCEDE A REALIZAR:

### **1.1.4) EVALUACION DE PROCESO.**

EN ESTA ETAPA DEL DESARROLLO DE LA INGENIERIA, CON LAS CONDICIONES DE OPERACION DEFINIDAS, SE ESTABLECEN ASPECTOS ECONOMICOS DE EQUIPOS Y CONSUMOS DE ENERGIA A UTILIZAR PARA OBTENER RENDIMIENTOS Y PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO.

**RENDIMIENTO:** ES LA CANTIDAD DE PRODUCTO PRINCIPAL OBTENIDO EN RELACION A LA CANTIDAD DE MATERIA PRIMA REACCIONADA.

**PRODUCTIVIDAD:** ES LA CANTIDAD DE PRODUCTO OBTENIDO EN UN DETERMINADO TIEMPO DE PROCESO.

FINALMENTE TENDREMOS LA ETAPA DE:

### **1.1.5) OPTIMIZACION DE PROCESOS.**

LA OPTIMIZACION DE PROCESO CONSISTE EN LA APLICACION DE TECNICAS MATEMATICAS PARA OBTENER EL MEJOR PRODUCTO CON EL MENOR COSTO POSIBLE, Y LA MAYOR PRODUCTIVIDAD

UNA VEZ QUE SE HAN DESARROLLADO TODAS LAS ETAPAS QUE FORMAN LA INGENIERIA BASICA DE UN PROCESO SE PROCEDE AL **DISEÑO DETALLADO** DE LA PLANTA, A LA PROCURACION DE EQUIPO Y MATERIAL, **CONSTRUCCION**, **PUESTA EN MARCHA** Y **OPERACION** DE LA MISMA.

ES IMPORTANTE HACER NOTAR QUE ESTAS ETAPAS ESTAN EN CONTINUA RETROALIMENTACION DURANTE EL DESARROLLO DEL PROCESO.

TAMBIEN ES IMPORTANTE ACLARAR QUE EN ALGUNOS PROCESOS NO SE CUENTA CON **REACTORES** Y TODO EL PROCESO ESTA BASADO EN **SISTEMAS DE SEPARACION**.

### **II) INGENIERIA DE DETALLE. SERVICIOS AUXILIARES.**

PARA LLEVAR ACABO EL PROCESO PRINCIPAL EN UNA INDUSTRIA, ES NECESARIO DISEÑAR, IMPLEMENTAR Y ABASTECER TODOS LOS REQUERIMIENTOS DE ENERGIA, SEGURIDAD Y CONTROL DE LA CONTAMINACION. A ESTO SE LE LLAMA SERVICIOS AUXILIARES.

**AGUA: DE PROCESO, DE SERVICIOS, DE ENFRIAMIENTO, CONTRA-INCENDIO, AGUA A CALDERAS.**

**AIRE: DE PLANTAS. INSTRUMENTOS.**

**ENERGIA ELECTRICA.**

**COMBUSTIBLES.**

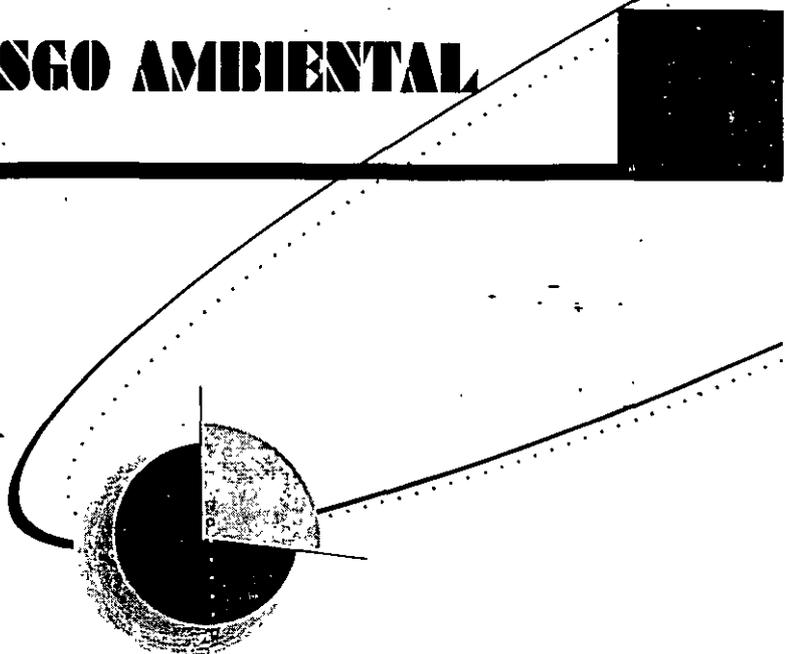
**AGENTES QUIMICOS.**

ESTOS SON TAMBIEN PROCESOS LOS CUALES SIGUEN LOS MISMOS PASOS QUE EL PROCESO PRINCIPAL DE UNA PLANTA.

UN PROCESO PUEDE SER TAMBIEN CUALQUIERA DE LOS SERVICIOS AUXILIARES MENCIONADOS ANTERIORMENTE, ADEMAS DE LOS **TRATAMIENTOS DE EFLUENTES** Y DE **LOS SISTEMAS DE SEGURIDAD** DE UNA PLANTA.

EN ALGUNAS OCASIONES CUANDO SOMOS **CONTRATADOS** POR ALGUN **CLIENTE** PARA EL DESARROLLO DE UNA **IDEA** ( PROCESO ), EL CLIENTE YA TIENE ESTABLECIDO EL **TIPO DE PROCESO** QUE SE VA A LLEVAR A CABO Y POR LO TANTO **NO SE SIGUE** EN FORMA CONCRETA LAS **ESTAPAS DE DESARROLLO** DEL PROCESO QUE SE HA DESCRITO. EN ESTOS CASOS, **PARTES DE ESTAS ETAPAS** SON APLICADAS.

SI EL **CLIENTE** ESTABLECE EL **TIPO DE PROCESO** QUE SE VA UTILIZAR PARA EL DESARROLLO DE UN PROCESO ES MUY IMPORTANTE EL SIGUIENTE DOCUMENTO QUE SE DETALLA A CONTINUACION LLAMADO: **BASES DE DISEÑO**.



**Módulo III :**  
**Métodos y Análisis de Riesgo**  
**( Cualitativo y Cuantitativo )**

**Tema 2 :**  
**Lista de Chequeo.**



## **INVESTIGACION DE ACCIDENTES, LISTAS DE VERIFICACION**

Actualmente en el mundo existen una serie de organizaciones muy grandes con grupos de ingeniería fuertes, los cuales han venido desarrollando estandares, códigos, normas, etc. en base a su extensa experiencia en el desarrollo de plantas, incorporando a su vez los Códigos de Diseño relacionados con actividades, equipos o procesos en particular ( American National Standards Institute, American Society for Testing and Materials, National Fire Protection Association, etc.) .

Con dichos Estandares o Códigos de ingeniería se han venido desarrollando una serie de Listas de Verificación, con la finalidad de:

- Establecer el Marco Técnico de una Empresa.
- Establecer las Bases de Diseño de un Proyecto.
- Comparar en Revisiones o Auditorias el "es" contra el "debiera".  
de las Instalaciones existentes de una planta.

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.

Existen por tanto listas de verificación para todas y cada una de las especialidades de ingeniería:

- Mantenimiento.
- Producción.
- Seguridad.
- Transporte.
- Etc.

Las Listas de Seguridad son las que nos ocuparan.

### **ELABORACION DE LISTAS DE VERIFICACION.**

- 1) - Definición de los estandares a cubrir.

En esta primera etapa, el area de seguridad definirá conjuntamente con la de Proyectos y Procesos, los estandares que la Planta deberá cumplir, no siendo obligadamente aquellos con los que fue originalmente Diseñada y Construida, sino los que actualmente se Requieran o cumplan con las Políticas de la empresa y los Requisitos Legislativos.

Esta definición, estará fundamentada en las Características de:

- Tipo de Proceso ( Cinética de la reacción, Variables de Control).
- Materiales a Manejar ( Características Peligrosas de M. Primas, Productos, Subproductos y Residuos).
- Tipo de Operación ( Manual, Auto o Semiautomática).
- Distribución interna de la planta ( Lay out, Plot plant).
- Sitio donde se ubicara o esta ubicada la Planta ( País, Estado, Comunidad vecina, Medio Ambiente a impactar, Zona Sismica, Etc.).
- Sistemas de Prevención (Interlocks, Detección, Flares, Etc.)
- Sistemas de Protección ( Detección y Extinción, Supresión, Etc.)

## 2) Integración de las Listas de Verificación.

En un momento dado, pudiera obtenerse una lista de verificación general para toda la instalación, pero seria sumamente compleja su aplicación, así como su estructura, es por ello que se deben integrar por el tipo de riesgo a identificar o eliminar:

- Auditorias a Proyectos:
- Ingeniería Básica.
- Ingeniería de Detalle.
- Construcción.
- Arranque.
- Auditorias a Plantas en Operación:
- Guardas.
- Sistema Contra incendio.
- Seguridad en Laboratorios.
- Bodegas y Almacenes.
- Calderas y Maquinaria.
- Seguridad en Oficinas.
- Orden y Limpieza.
- Transporte y Almacenamiento.
- Reacciones Fuera de Control.
- Derrames.
- Instalación Eléctrica.
- Mantenimiento.
- Procedimientos de seguridad.
- Logística.
- Administración de Cambios.
- Agentes Físicos, Químicos y Biológicos Agresores a los Trabajadores ( Ruido, Iluminación, Temperatura, Vapores).
- Operación de Sistemas de Tratamiento de Residuos.
- Capacitación y Destreza.

## APLICACION DE LAS LISTAS DE VERIFICACION.

El empleo de esta herramienta para la identificación de riesgos puede ser muy variada, pero se obtendrán óptimos resultados si se emplea como complemento en los siguientes

## **A - Auditorías a proyectos.**

## **B - Auditorías a plantas en operación.**

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

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

## **SECUENCIA DE APLICACION DE LAS LISTAS DE VERIFICACION.**

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

- 1) Definición de objetivos y alcance.
  - 2) Selección del grupo de trabajo.
  - 3) Preparación previa del análisis.
  - 4) Ejecución del análisis.
  - 5) Registro de resultados.
- 1) Definición de objetivos y alcance.

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

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

- 2) Selección del grupo de trabajo.

Aún cuando la aplicación de las listas de verificación puede ser realizada por las

disciplinas en forma individual, lo cual es recomendable en las etapas de diseño. Los resultados serán mas significativos cuando se aplican por un grupo multidisciplinario, ya que podrán ser conjuntados los diferentes puntos de vista, lo que permitirá identificar la mayor parte de los riesgos.

El grupo puede estar integrado por:

- SEGURIDAD.
- PROCESOS.
- MANTENIMIENTO.
- PRODUCCION.

El cual puede ser incrementado o reducido dependiendo de la complejidad y tamaño de las instalaciones.

### 3) Preparación previa del análisis.

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

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

### 4) Ejecución del análisis.

El procedimiento general para su aplicación es:

## **INICIO**

- 1 SELECCION DEL AREA DE LA PLANTA A REVISAR.
- 2 SELECCION DE UNA LISTA DE VERIFICACION.
- 3 REALIZAR EL ANALISIS (EN CAMPO Y EN ESCRITORIO).
- 4 REVISAR EL RESULTADO.
- 5 REGISTRAR LAS DESVIACIONES.
- 6 REPETIR 2 A 5 PARA TODAS LAS LISTAS DE VERIFICACION.
- 7 REPETIR 1 A 6 PARA TODAS LOS EQUIPOS E INSTALACIONES DEL AREA.
- 8 RESUMIR TODAS LAS DESVIACIONES IDENTIFICADAS.

## **FINAL**

### **5) Registro de resultados.**

- En los puntos 5 y 8 del procedimiento se realiza el registro de todas las desviaciones identificadas, con las cuales se generara un plan de acción para su cumplimiento.

## **INSPECCION EN ESTACIONES DE CARGA Y DESCARGA.**

### **OBJETIVO**

Complementar las listas de inspección en uso en cada localidad a fin de que las operaciones de carga y descarga de auto-tanques y carros-tanque sean seguras.

### **A LA LLEGADA DEL VEHICULO**

- 1.- Verificar la documentación correspondiente al embarque o descarga.
- 2.- Corroborar si la pipa o el carro-tanque tienen la especificación adecuada para el manejo seguro del material transportado ( Ref (56) parte 107 y 173).
- 3.- Aplicar el sistema de frenado por medio de calzas y frenos propios del vehículo.
- 4.- Limitar perfectamente el área de operación por medio de pintura y avisos.

- 5.- Emplear el equipo de protección personal recomendado para el manejo del material involucrado.
- 6.- Efectuar la conexión a tierra del vehículo.
- 7.- En operaciones de carga no es recomendable que se efectúen embarques de un volumen sensiblemente menor a la capacidad de la pipa.
- 8.- Procurar que las operaciones de carga y descarga, se realicen durante el día con el objeto de verificar el estado físico de la unidad e identificar cualquier desviación a las condiciones normales de operación.

### **INSPECCION DEL EQUIPO DE BOMBEO**

- 1.- Verificar la correcta conexión de las bombas.
- 2.- Revisar periódicamente los empaques de las bombas para evitar fugas.
- 3.- Verificar que exista una adecuada conexión a tierra.
- 4.- Contar con equipo de reserva para sustituir en caso de falla.
- 5.- Verificar el alineamiento de los coples de la bomba.
- 6.- Verificar que estos equipos se encuentran perfectamente fijados en una base.
- 7.- Llevar a cabo los mantenimientos preventivos programados de acuerdo a horas máquina.
- 8.- Contar con interruptores de presión, flujo o temperatura, para cuando la bomba opera en vacío y se produce el fenómeno de cavitación.
- 9.- Contar con interruptores de paro de bombas tanto cerca de ellas, como cerca de los tanques de almacenamiento para suspender su operación en caso de derrames o fugas.

### **INSPECCION DE TUBERIAS**

- 1.- Para la carga del material deberá considerarse que sea mediante tubo buzo para evitar la emisión de vapores.
- 2.- Verificar que no exista fuga a través de las bridas.
- 3.- Verificar periódicamente el estado de las juntas (empaques) y utilizar grafito (mollicote) al colocarlas.
- 4.- Verificar periódicamente el desgaste de las paredes internas y externas

tubos.

- 5.- Considerar que es recomendable el contar con una adecuada instalación de tuberías, de tal forma que se reduzcan las vibraciones en las bridas de las líneas.

### **INSPECCION DE MANGUERAS DE CONEXION RAPIDA**

Es recomendable el uso de mangueras de conexión rápida ya que con ellas se facilita la operación y se minimiza el tiempo para el acoplamiento de líneas.

Los puntos de seguridad a inspeccionar en este tipo de mangueras son:

- 1.- Revisar periódicamente el buen estado de las conexiones macho y hembra.
- 2.- Contar con recubrimientos metálicos.
- 3.- Sellar perfectamente la manguera en la conexión hembra-macho.
- 4.- Limpiar periódicamente con aire a presión para eliminar cuerpos extraños en el interior de las mismas.

### **INSPECCION DE VALVULAS**

- 1.- Las válvulas de reserva deben contar con su protección de fábrica hasta el momento de ser instaladas.
- 2.- La acción del vástago debe ser libre (es decir no presenta resistencia al movimiento).
- 3.- Evitar el instalar válvulas en tuberías ascendentes a fin de no ocasionar taponamientos al conducir sólidos en suspensión.
- 4.- Instalar las válvulas en lugares de fácil acceso.
- 5.- Contar con manerales apropiados en cada una de las válvulas.
- 6.- Llevar a cabo el programa de mantenimiento preventivo a estos equipos.
- 7.- Cambiar los empaques de los vástagos en forma programada.

### **INSPECCION EN INSTALACIONES**

- 1.- El área para confinar derrames deberá estar libre de obstáculos (limpia y drenada).
- 2.- Utilizar escaleras de acceso debidamente protegidas (tipo jaula de gato o marinas).

- 3.- Los pasillos deberán contar con pasamanos y piso antiderrapante.
- 4.- Verificar por la mirilla el nivel del tanque de almacenamiento antes de ejecutar la descarga del vehículo.
- 5.- Los tanques de almacenamiento expuestos a la intemperie deberán contar con equipos de extinción fijos.
- 6.- Asegurarse que al cargar una pipa o carro-tanque, éste se encuentra inicialmente vacío.
- 7.- Prohibir el acceso de personas ajenas durante las operaciones de carga y descarga.
- 8.- Para el caso de líquidos inflamables, verificar que están aterrizados adecuadamente los tanques de almacenamiento y que están protegidos contra descargas eléctricas atmosféricas.
- 9.- Prever la existencia de guardas (bardas, barandales, postes, etc.) para proteger las bombas de descargas y a las tuberías, de posibles golpes de los vehículos.

#### **INSPECCION DE MANOMETROS**

- 1.- Instalarlos en lugares de fácil acceso para su mantenimiento.
- 2.- Protegerlos de los efectos naturales de la intemperie.
- 3.- Verificar que las carátulas cuenten con su debida protección (mica, vidrio, etc.).
- 4.- Alejarlos de campos magnéticos cercanos que pudieran afectar su funcionamiento adecuado.
- 5.- Verificar periódicamente que su lectura es real y contar con un programa de mantenimiento.
- 6.- Contar con equipo de reserva para sustituir de inmediato en caso de falla.
- 7.- Su ubicación deberá permitir que la lectura se tome con facilidad.

#### **CIERRE DE OPERACION**

Una vez concluida la operación de carga o descarga, deberá revisarse lo siguiente:

- 1.- Verificar que no exista goteo en las líneas.
  - 2.- Llevar a cabo la limpieza del vehículo.
- 

- 3.- Limpiar cualquier derrame exterior en las unidades.
- 4.- Limpiar las mangueras exteriormente al terminar la operación.
- 5.- Mantener orden y limpieza en el área.
- 6.- Guardar el equipo de protección personal debidamente descontaminado en lugares adecuados.

## EN CUANTO A LOS VEHICULOS AUTOMOTORES

- 1.- Establecer un programa master de mantenimiento electromecánico a unidades de transporte en base a horas máquina a fin de:
  - a) Detectar fallas potenciales de siniestros en las unidades.
  - b) Reducir costos en los mantenimientos preventivos.
  - c) Definir los tiempos utilizasos en los viajes para tener un estándar de los mismos.
- 2.- Elaborar bitácoras de viaje por parte del operador, en las cuales deberán anotar los incidentes ocurridos.
- 3.- Impartir por lo menos una vez al año cursos de entrenamiento a transportistas en cuanto a:
  - a) Empleo del equipo de protección personal.
  - b) Cambio de los letreros de seguridad en transporte (LST).
  - c) Precauciones al momento de hacer las operaciones de carga-descarga.
  - d) Conocimiento de los peligros asociados con el material transportado.

## LISTA DE VERIFICACION PARA LA SEGURIDAD DEL PROCESO

Nota: Se debe considerar esta lista no solamente para una operación normal sino también para la puesta en marcha, paro y cualquier clase de contratiempo concebible.

### A. MATERIALES.

1. ¿Qué materiales de proceso son inestables y espontáneamente inflamables?
  - a) ¿Qué evaluaciones se hicieron sobre la sensibilidad a los impactos?
  - b) ¿Qué evaluaciones se hicieron sobre la posibilidad de reacciones y descomposiciones incontrolables?
  - c) ¿Se manejarán materiales pirofóricos?
2. ¿Qué datos hay disponibles sobre la cantidad y el índice de generación de calor durante la descomposición de cualquier material que está en proceso?

3. ¿Qué precauciones son necesarias para los materiales inflamables, incluye almacenamiento y los sistemas de tubería?
4. ¿Qué peligros de polvos inflamables existen?  
¿Qué precauciones son requeridas?
5. ¿Qué materiales son altamente tóxicos?
6. ¿Qué se hizo para asegurar que los materiales de construcción son compatibles con los materiales de los procesos químicos con que están relacionados?
7. ¿Qué control de mantenimiento se necesita para asegurarse que los reemplazos de materiales no producirán corrosión excesiva ni compuestos peligrosos con los reactivos?
8. ¿Qué cambios se han producido en la composición de las materias primas y qué cambios ha producido esto sobre el proceso?
9. ¿Qué se hace para asegurar un control eficiente sobre la identificación y la calidad de la materia prima?
10. ¿Qué peligros podrían surgir por la falta de suministro de una materia prima ó de más de una?
11. — ¿Qué seguridad hay de que pueda lograrse un suministro adecuado de materia prima?
12. ¿Qué peligros pueden presentarse por la falta de gas para la purga, el mantenimiento o para inertizar? ¿Cuán seguro es el suministro de gas?
13. ¿Qué precauciones son necesarias considerar para lograr la estabilidad de todos los materiales que están almacenados?
14. ¿Qué agentes extintores son compatibles con los materiales de proceso?
15. a) ¿Se cuenta con un suministro confiable de gas inerte para purgar, inhibir o desactivar? (Referencia NFPA # 69)  
b) ¿Qué medidas existen para rectificar el barrido mediante la purga en paro y arranque?

## B. REACCIONES

1. a) ¿Se definen las reacciones potencialmente peligrosas?  
b) ¿Cómo se aíslan?  
c) ¿Cómo son prevenidas?
2. a) ¿Qué variables del proceso se podrían aproximar, o se aproximan a condiciones límites para crear un peligro?

- b) ¿Qué medidas de seguridad son proporcionadas para controlar tales variables?
3. ¿Qué reacciones indeseables y peligrosas pueden producirse debido a un flujo o a una condición de proceso anormal o a una contaminación?
  4. ¿Qué mezclas combustibles pueden producirse dentro de los equipos?
  5. ¿Qué precauciones se toman para los procesos que se realizan dentro o cerca de los límites de inflamabilidad?
  6. a) ¿Cuáles son los márgenes de seguridad en el proceso de todos los productos reactivos intermedios?  
b) ¿Qué consecuencias podría producir la pérdida de ingredientes o una proporción incorrecta de reactivos?
  7. ¿Qué datos sobre la velocidad de la reacción hay disponibles ante posibles reacciones normales o anormales?
  8. ¿Qué cantidad de calor debe eliminarse de las posibles reacciones exotérmicas normales o anormales?
  9. ¿Cuánto se sabe acerca de la química de los procesos incluyendo las reacciones deseables e indeseables? (Ver NFPA # 491 M, "Manual de las Reacciones Químicas peligrosas").
  10. ¿Qué materias extrañas pueden contaminar el proceso y crear peligros?
  11. ¿Qué medidas de seguridad se han tomado para la eliminación rápida de reactivos si esto fuese necesario debido a una emergencia de la planta?
  12. ¿Qué precauciones se han tomado para controlar una reacción en cadena (o fuera de cauce) que se avecina o para detener una que ya haya empezado?
  13. ¿Qué reacciones peligrosas pueden presentarse como resultado de la falla mecánica de un equipo (bomba, agitador, etc.)?
  14. ¿Qué condiciones peligrosas del proceso pueden resultar de la obstrucción gradual o repentina de un equipo, incluyendo líneas?
  15. ¿Existen medidas para la remoción o prevención de obstrucciones?
  16. ¿Qué materias primas o materiales del proceso pueden ser afectados debido a condiciones extremas del tiempo?
  17. ¿Qué cambios se han hecho en el proceso desde que se hizo la última revisión de seguridad?

## C. EQUIPOS

1. ¿Cómo fueron adecuadas las medidas del equipo asegurado en vista de los cambios en el proceso realizados desde la última revisión de seguridad?
2. ¿Qué procedimientos hay para asegurar un nivel adecuado de líquido en los obturadores de los líquidos?
3. ¿Cuáles son los peligros potenciales de incendios externos que podrían crear condiciones peligrosas en el proceso interno?
4. ¿Es necesario un mecanismo supresor de explosiones para detener una explosión después de que se ha iniciado?
5. ¿En qué lugares se necesitan arrestaflamas y dispositivos para contener detonaciones?
6. ¿Cómo se protegen contra los derrames los equipos que trabajan con fuegos abiertos en sectores restringidos?
7. ¿Qué control de seguridad se mantiene en las zonas de almacenamiento?
8. ¿Puede usarse un material más durable en caso de que haya equipos de vidrio o de otro material frágil?  
Si no es así, ¿Está adecuadamente protegido el material frágil para reducir los peligros de ruptura? ¿Qué peligro podría producir una ruptura? ¿Qué medidas se han previsto para manejar esta situación?
9. ¿Se usan visores o mirillas de vidrio en los reactores sólo en caso de que sean absolutamente necesarios?
10. ¿Qué válvulas e interruptores de emergencia no pueden alcanzarse con facilidad?
11. ¿Cuándo se verificó por última vez el régimen de presión especialmente de los equipos que trabajan bajo presión?
12. ¿Qué peligros podrían producir las fallas de los agitadores?
13. ¿Qué taponamiento en las tuberías podrían ocurrir y cuáles serían los peligros?
14. ¿Qué precauciones se tomaron para drenar totalmente los equipos a fin de que los trabajos de mantenimiento puedan efectuarse con seguridad?
15. ¿Están diversificados los sistemas de ventilación y de ser así puede esto crear algún peligro?
16. ¿Cómo se estableció que la ventilación es adecuada?
17. ¿Qué medidas se tomaron para disipar la electricidad estática a fin de evitar chispas?

18. ¿Qué necesidad hay de instalar resguardos o barreras de concreto para aislar a los equipos altamente susceptibles y proteger las instalaciones adyacentes contra la desorganización de las operaciones?
19. ¿Qué medidas se han tomado para aliviar las fuerzas explosivas dentro de los edificios, equipos o en zonas operativas?
20. ¿Cumplen los equipos de presión con los requerimientos locales y nacionales?
21. ¿Están registrados todos los equipos de acuerdo a los requerimientos locales y nacionales?
22. ¿Cuándo fueron inspeccionados visualmente, calibrados, radiografiados, probados de una manera hidrostática, etc., los equipos?
23. ¿Se ha revisado completamente el historial de todos los equipos?

#### D. CONTROL DE LA INSTRUMENTACION

1. ¿Qué peligros se presentarían si todas las fuentes de fuerza motriz que hacen funcionar los instrumentos fallaran casi simultáneamente?
2. ¿Habría un margen de seguridad suficiente para toda la operación; si todos los instrumentos fallasen simultáneamente?
3. ¿Qué medidas se han tomado para la seguridad del proceso cuando un instrumento que funciona tanto en la seguridad como en el control del proceso es retirado de servicio a fin de efectuarle tareas de mantenimiento? ¿Qué medidas se tomarán cuando tal instrumento pase por un periodo de inactividad por calibración o cuando, por otra razón, la lectura del instrumento no está disponible? Deberán hacerse previsiones para mantener la seguridad operacional?
4. ¿Qué hizo para minimizar el tiempo que tardan en reaccionar los instrumentos que son directa o indirectamente significativos para la seguridad del proceso?  
¿Se encuentran todos los instrumentos que son directa o indirectamente significativos o mecanismos de control apoyados por un instrumento independiente o por un método de control que funciona de una manera totalmente distinta? ¿Están estos dos métodos de control de un proceso crítico apoyados por un tercer dispositivo final de paro?
5. ¿Se ha considerado integralmente la función de seguridad de los instrumentos con la función de los mecanismos de control del proceso en el diseño de la planta?
6. ¿Cuáles son los efectos de las condiciones extremas de la humedad y temperatura atmosférica sobre los instrumentos?
7.
  - a) ¿Qué manómetros, medidores y registradores no pueden leerse fácilmente?
  - b) ¿Qué modificaciones se están efectuando para solucionar este problema?

8. ¿Está el sistema totalmente exento de visores de vidrio, de niveles de lectura directa o de otros dispositivos que al romperse puedan permitir el escape de los materiales del sistema?
9.
  - a) ¿Qué se está haciendo para verificar que los sellos de los instrumentos están correctamente instalados?
  - b) ¿Están los instrumentos conectados a tierra?
  - c) ¿Están debidamente diseñados para el ambiente?
10.
  - a) ¿Qué procedimientos se han establecido para probar el funcionamiento de los instrumentos?
  - b) ¿Con qué frecuencia?
11. ¿Qué pruebas periódicas se programaron para controlar el buen funcionamiento de los instrumentos?
12. ¿Están protegidas las reacciones altamente exotérmicas por un sistema de instrumentos doble e independiente, el cual incluya alarmas y dispositivos de paro?

#### **E. OPERACIONES**

1. ¿Cuándo fué la última vez que se revisaron y actualizaron los procedimientos escritos de operación?
2. ¿Cómo se entrena al personal nuevo y se mantiene actualizado al personal experimentado sobre los procedimientos operativos, especialmente para las puestas en marcha y paros de plantas, así como para casos de imprevistos y emergencias?
3. ¿Qué modificaciones se efectuaron en la planta desde la última revisión de seguridad del proceso?
4. ¿Qué necesidades especiales de limpieza existen antes de la puesta en marcha y cómo se les controla?
5. ¿Qué válvulas e interruptores de emergencia no pueden alcanzarse fácilmente?  
¿Qué medidas existen para solucionar estas situaciones?
6. ¿Qué medidas de seguridad se necesitan para cargar líquidos en los tanques o para descargarlos de ellos? ¿Se han tomado las medidas necesarias para evitar la generación de electricidad estática?
7. ¿Qué peligros introducen en el proceso los procedimientos rutinarios de mantenimiento? Revisar los procedimientos para eliminar estos peligros.
8. ¿Qué evaluación se ha efectuado sobre los peligros de los materiales que van a las alcantarillas o drenajes, durante las operaciones normales y anormales?

9. ¿Cuán confiables son los suministros de gas inerte y con cuánta facilidad estos pueden interrumpirse hacia las unidades individuales?
10. ¿Qué márgenes de seguridad se han reducido debido a revisiones del diseño o la construcción en un esfuerzo por eliminar "cuellos de botella" en las operaciones, reducir costos, aumentar la capacidad o mejorar la calidad?
11. ¿Qué medidas contiene el manual de operaciones para las puestas en marcha, paros, imprevistos y emergencias?
12. ¿Qué evaluación económica ha influenciado en la elección entre un proceso discontinuo y uno continuo?

#### F. MAL FUNCIONAMIENTO

1. ¿Qué peligros podría crear la pérdida de una alimentación y la pérdida simultánea de dos o varias alimentaciones?
2. ¿Qué peligros podría causar la pérdida de un servicio auxiliar (agua, vapor, aire, gas inerte) y la pérdida simultánea de dos o más de estos servicios?
3. ¿Cuál sería el incidente probable más grave, por ejemplo, la peor combinación imaginable de trastornos razonables que podrían ocurrir?
4. ¿Cuáles son los riesgos de derrames y qué peligros pueden derivarse de ellos?

#### G. DISPOSITIVOS PARA ALIVIO DE PRESIONES

1. ¿Existen arrestaflamas en la descarga de las válvulas de alivio o de los discos de ruptura de recipientes presurizados? Normalmente NO deben ser instalados en la descarga de estos dispositivos.
2.
  - a) ¿Qué medidas existen para retirar, inspeccionar y reemplazar las válvulas de seguridad y los discos de ruptura?
  - b) ¿Existe un procedimiento programado?
3.
  - a) ¿Qué necesidad hay de instalar mecanismos de alivio para emergencias como son: líneas de venteo o respiraderos, válvulas de seguridad, discos de ruptura y sellos de líquidos?
  - b) ¿Sobre qué base se establecen las medidas?
4. ¿Cómo se establecen las medidas con respecto a la capacidad y al diseño del tanque donde se usan los discos de ruptura para evitar daños por explosiones?
5. ¿Qué se está haciendo para asegurarse de que la medida es adecuada con respecto a la dinámica del alivio donde los discos de ruptura tienen líneas de entrega hacia el disco y desde este? ¿Qué se hace para evitar "latigazos" en el extremo de la línea?

6. ¿Están las descargas de los venteos, válvulas de seguridad, discos de ruptura y chimeneas ubicadas de forma tal que no constituyen un peligro para los equipos y el personal?
7. ¿Qué equipo u operación a presión propensa a desarrollar presiones internas por imprevistos del proceso no está protegido por un dispositivo de alivio y cuál es el motivo?
8. ¿Están las tuberías de descarga y las válvulas de seguridad apoyadas independientemente? Las tuberías deben ser lo más cortas posibles y tener el menor cambio posible de dirección, soportadas adecuadamente para prevenir el doblamiento y los latigazos en los desfogues de alivio.
9. ¿Se han instalado conexiones de drenaje para la tubería de descarga de las válvulas de seguridad donde podría acumularse condensado?
10. ¿Se han instalado válvulas de seguridad: en la descarga de las bombas de desplazamiento positivo; entre los compresores de desplazamiento positivo y las válvulas de bloqueo; entre las bridas de escape de las turbinas de contra-presión y las válvulas de bloqueo, y en cualquier equipo en donde el líquido pueda estar detenido o estancado y calentado posteriormente?
11. Donde los discos de ruptura están en serie con las válvulas de seguridad. Para evitar la corrosión de la válvula o fugas de materiales tóxicos deberá instalarse discos de ruptura después del recipiente y el monitor de la sección de la tubería que está entre el disco y la válvula de seguridad; además deberá existir un manómetro y una línea de purga. ¿Hay algún disco de ruptura instalado en la descarga de la válvula de seguridad?

#### H. UBICACION Y DISTRIBUCIO GENERAL

1. ¿Están los equipos adecuadamente espaciados y ubicados de manera tal que permitan un mantenimiento anticipado durante la operaciones sin peligro para el proceso?
2. ¿Qué daños podrían haber para la comunidad en caso que ocurra un derrame imprevisible?
3. ¿Qué peligros hay para las zonas vecinas debido a los materiales que se derraman en las alcantarillas y drenajes?
4. ¿Qué riesgos públicos existen por la generación de nieblas, humos y ruidos? y ¿Cómo han sido controlados y reducidos?

#### I. MIRILLAS DE VIDRIO

1. ¿En qué equipo de proceso (sujetos a condiciones peligrosas) son necesarias mirillas de vidrio? Ejemplo; condiciones inflamables, toxicas, de alta presión, temperaturas extremas, etc.

**C**  
**a** CURSOS  
DISTANCIA

**Módulo III :**

**Métodos y Análisis de Riesgo**  
**( Cualitativo y Cuantitativo )**

**Tema 3 :**

**¿ Que pasa si ... ?**



## ¿QUE PASA SI...?

La seguridad y la operabilidad son factores significativos que forman parte integral en el diseño de procesos. Las revisiones de diseño pueden agruparse en dos tipos: "primarias" y "secundarias". En el primero de ellos el nivel de detalle y profundidad es muy alto y para lo cual se utiliza la metodología conocida como Análisis de Riesgos y Operabilidad (HAZOP), la que permite identificar riesgos difícilmente reconocibles por simple observación o revisiones generales. El segundo tipo consiste en una serie de revisiones de seguridad de tipo general en base a la que establece el procedimiento PTI-26 y a estas revisiones asiste un grupo multidisciplinario el cual, a través de hacer la pregunta ¿qué pasa si...? a cada etapa del proceso, identificará riesgos generales en el diseño. Esta metodología puede ser utilizada en las revisiones preliminares del diseño o a plantas en operación.

### Procedimiento para el análisis

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

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

El procedimiento contempla las siguientes etapas:

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

#### Definición de objetivos y alcance

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

- Revisar ingeniería básica
- Revisar ingeniería de detalle
- Revisar el plan de arranque
- Revisar la operación normal de una planta
- Revisar operaciones de arranque y paro
- Revisar trabajos de mantenimiento mayor
- Verificar procedimientos de operación.

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

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

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

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

#### Selección del grupo de trabajo

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

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

- Mantenimiento
- Producción
- Procesos
- Seguridad e Higiene

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

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

Dentro del grupo de trabajo debe de existir una persona que conduzca la revisión, verificando que la metodología sea aplicada apropiadamente. El director de la reunión de trabajo puede ser el responsable del proyecto o la planta o el responsable del área de Seguridad e Higiene.

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

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

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

Preparación previa del análisis.

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

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

Información.- Esta normalmente consta de la descripción del proceso, diagramas de flujo, balance de materia y energía, diagramas de tuberías e instrumentación, diagramas de distribución de la instalación (Lay out), Manual de operación. El tipo de información puede variar dependiendo de la etapa del proyecto, en el caso de nuevos diseños.

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

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

Planeación de la secuencia de análisis.- El director del grupo de trabajo deberá establecer una agenda que permita cumplir con el objetivo y los alcances de la reunión. La secuencia normalmente lleva el orden normal del proceso, sin que esto sea limitativo.

Coordinación de la reunión.- El director deberá contemplar la selección del lugar de trabajo, auxiliares para la reunión (rotafolio, proyectores, etc.) y dependiendo del yecto o condiciones de la planta, deberá contemplar, como parte de la reunión, la visita a las instalaciones.

En esta etapa, la estimación del tiempo de revisión es muy importante y se deberá considerar que una reunión de trabajo no exceda las tres horas, debido a que el cansancio puede llevar a ser improductivo el análisis. Bajo condiciones extremas de presión de tiempo, las sesiones pueden ser programadas en días consecutivos y con sesiones matutina y vespertina, con tiempos de descanso entre sesiones.

En condiciones normales no se deberá programar más de dos sesiones por semana, permitiendo un día de descanso entre sesión y sesión. El inconveniente es que algunos miembros del grupo tienen que viajar y la programación pudiera ser complicada.

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

#### Ejecución del análisis

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

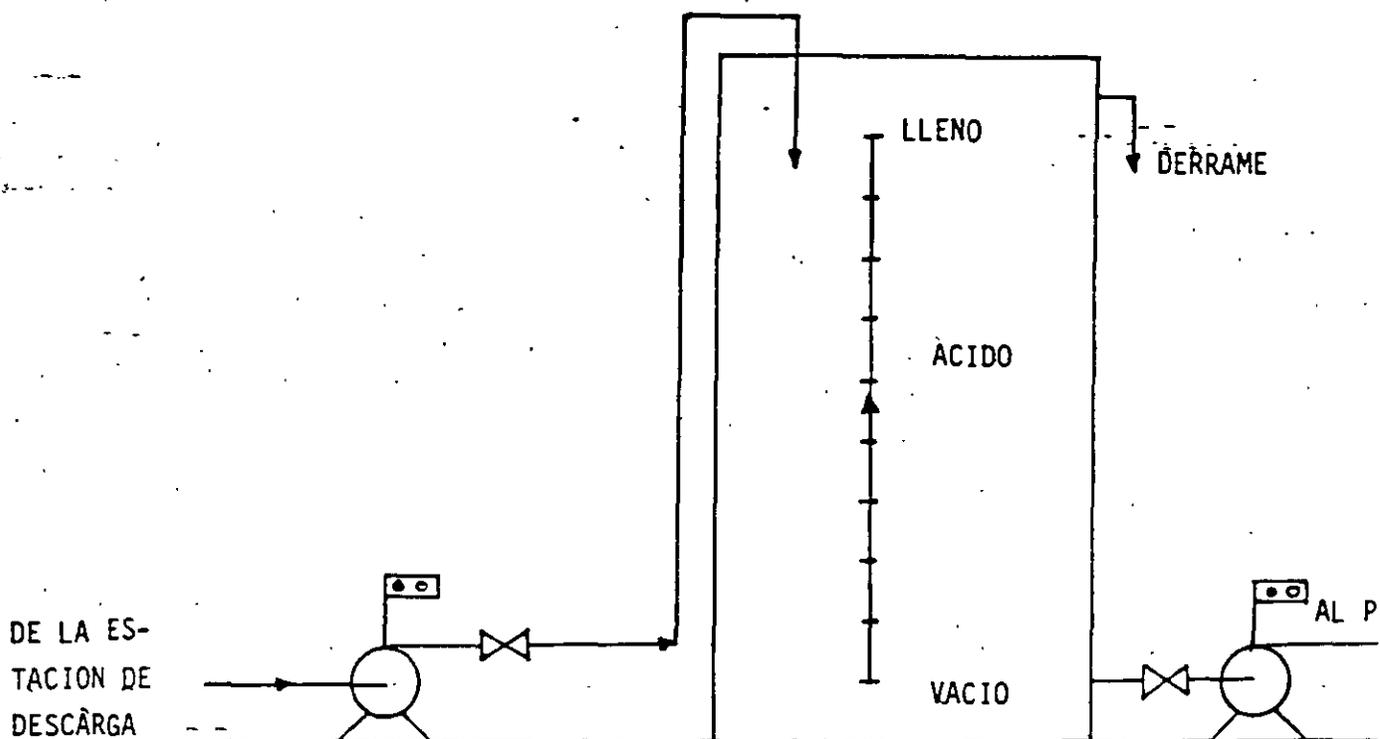
Se da la palabra a uno de los miembros y se solicita que exponga su cuestionamiento, entonces el grupo discute las posibles respuestas y propone soluciones para los riesgos detectados.

#### Inicio

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

Final

## Ejemplo de aplicación



A manera de ejemplificar la aplicación de la metodología tendremos el siguiente caso: el director de la sesión de análisis define el objetivo y alcance de la revisión y entrega un diagrama simple de flujo (figura superior) a cada uno de los miembros del grupo de trabajo, después de una breve explicación del proceso (intención). Se les ha entregado también una copia del manual de procedimientos de operación y la revisión empieza.

¿Qué pasa si...

Respuesta

El operador falla al monitorear el nivel?

\*El tanque puede derramarse.

El sello de la bomba fuga?

El operador podría detectar el problema y parar las bombas en la estación local de botones o remotamente.

Existe una fuga en la bomba o en la tubería?

\*Los trabajadores del área se pueden poner en contacto con el ácido.

Si una fuga ocurre o si el tanque se sobrellena

La fuga no se podría contener

\* Puntos que requieren acción correctiva.

## Seguimiento

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

Las acciones propuestas generalmente son de cuatro tipos:

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

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

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

## Registro de resultados

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

- Una copia de los diagramas y descripción del o los procesos.
- Una copia de las hojas de registro de las preguntas, respuestas (consecuencias) y acciones propuestas, la cual se muestra a continuación:

Intención: \_\_\_\_\_ Planta o Proyecto: \_\_\_\_\_  
Etapa u operación: \_\_\_\_\_

¿Qué pasa si...

CONSECUENCIAS

ACCIONES PROPUESTAS

## Programación de los análisis

Esta metodología puede ser aplicada tanto en el diseño de nuevas instalaciones y plantas en operación para hacer revisiones generales. En el desarrollo de tecnología se pueden identificar riesgos potenciales ya que la información de soporte no requiere contener especificaciones a detalle de los equipos ni de las instalaciones.

### Investigación

En esta actividad es necesario el desarrollo de experimentación a nivel laboratorio o planta piloto, en los cuales se parte de una serie de hipótesis y conceptos teóricos, lo que genera un cierto nivel de incertidumbre, en relación con los riesgos propios del proceso, por lo que al preguntarnos ¿qué pasa si...? y dar las respuestas correspondientes, podremos identificar gran parte de los riesgos.

El registro de la información del análisis será de gran utilidad en el complemento de la tecnología una vez desarrollada.

### Proyectos

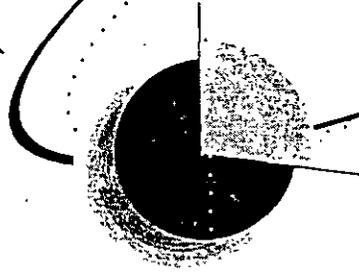
Esta metodología puede ser aplicada en las inspecciones a cada una de las etapas de la vida de un proyecto, en base a lo establecido en el Procedimiento PTI-26, ya que permite la revisión general del proyecto en forma sistemática.

### Plantas en operación

En localidades que no manejen materiales altamente peligrosos y que los posibles riesgos a la comunidad y al ambiente se consideren menores, la aplicación de ¿qué pasa si...? es la indicada y en las localidades, con alto nivel de riesgo, se puede aplicar periódicamente como complemento al análisis básico a través de HAZOP.

# DIPLOMADO EN RIESGO AMBIENTAL

**C**  
**a** CURSOS  
DISTANCIA



**Módulo III :**

**Métodos y Análisis de Riesgo**

**( Cualitativo y Cuantitativo )**

**Tema 4 :**

**Árbol Lógico.**



**DEC**



## Arbol de Fallas

El Arbol de Fallas (AF) es un método analítico mediante el cual se calcula la probabilidad de ocurrencia de un determinado evento, denominado Evento Tope (ET), a partir de un árbol lógico que describe la combinación de eventos (llamados eventos precursores) que pueden dar como resultado el evento tope; se identifican eventos precursores hasta encontrar eventos a los cuales sea posible asignar una probabilidad de ocurrencia (por experiencia, tablas de datos de falla, etc.), cuando se tiene el árbol lógico que describe la secuencia de fallo y la probabilidad de ocurrencia de los eventos primarios, se puede calcular la probabilidad de ocurrencia del evento tope.

En resumen, la metodología involucrada en un análisis por Arbol de Fallas es la siguiente:

1. Especificar el evento tope de interés.
2. Estimar la magnitud (potencial) de dicho evento.
3. Tomando en cuenta el sistema de proceso, y el medio ambiente, se identifican los eventos precursores.
4. Se continúa identificando eventos precursores, hasta que tienen eventos primarios.
5. Se asigna una probabilidad a los eventos primarios y usando el álgebra de probabilidades, se calcula la probabilidad del evento tope.

El Arbol de Fallas además de servir para determinar la probabilidad de un evento tope, es una herramienta que ayuda a apreciar las contribuciones relativas de cada una de las trayectorias involucradas. También puede ser útil como modelo para evaluar el efecto de los cambios que se realicen en un proceso.

### 1.1 Identificación y Selección del evento tope

La selección del evento tope, se hace como resultado de un estudio previo de riesgos potenciales del proceso (por ejemplo, Hazop, What if?, etc) ya que estos análisis nos ayudarán a detectar riesgos.

### 1.2 Propiedades lógicas del Arbol de Fallas

El Arbol de Fallas es una representación gráfica de la lógica que describe la información real del proceso (en este caso la propagación de fallas).

Los bloques de construcción básicos del Arbol de Fallas consisten en interconexiones lógicas de la secuencia de eventos, conocidos como puertos lógicos; estos puertos lógicos, definen las condiciones de entrada que se deben tener, para que se propague una secuencia de falla por el árbol, hasta el evento tope en el nodo superior. Existen dos puertos lógicos básicos, aunque bajo ciertas circunstancias se pueden definir algunos más. Los puertos básicos son el "y" y el "o". Cuando se tiene un puerto "y" significa que se tendrá la salida (D), solamente si se presentan simultáneamente todos los eventos o condiciones de

entrada (A, B y C ver tabla), si se tiene un puerto "o" se tendrá una condición de salida (D), si al menos una de las condiciones o eventos de entrada (A, o B, o C) se da.

Tablas de verdad de los puertos lógicos "y" y "o".

			
			A 1 1 1 1 0 0 0 0
			B 1 1 0 0 1 1 0 0
			C 1 0 1 0 1 0 1 0
A	B	C	D 1 0 0 0 0 0 0 0

			
			A 1 1 1 1 0 0 0 0
			B 1 1 0 0 1 1 0 0
			C 1 0 1 0 1 0 1 0
A	B	C	D 1 1 1 1 1 1 1 0

### 1.3 Construcción del Arbol de Fallas

La construcción de Arboles de Fallas, pueden ser una tarea muy laboriosa y compleja, que consume mucho tiempo, sobre todo cuando se tienen procesos muy grandes y complejos, pero aún en sistemas que parecen simples los árboles que representan dicho sistema, pueden no serlo tanto y pueden llegar a estar formados por muchos niveles y dar lugar a cientos de eventos primarios; esto dependiendo de la calidad de los datos disponibles o del grado de profundidad que el usuario requiere, por esto que se han hecho esfuerzos por parte de investigadores para construir con métodos computarizados, los cuales cuentan con bases de datos para hacer este trabajo, pero estos paquetes computarizados tienen alto costo.

Si se requiere un análisis de este tipo y no se cuenta con un paquete de computadora, se puede realizar manualmente y existe la posibilidad de simplificar un Arbol de Fallas, convirtiendo éste en sub-árboles, los cuales pueden tener como nodo tope alguna de las variables de proceso (temperatura, presión, concentración, etc.), las cuales conducirán al evento tope.

#### 1.3.1 Construcción de cortes

Cuando se tienen Arboles de Fallas complejos, en ocasiones es difícil seguir las ramificaciones por inspección visual. Una manera de simplificar el árbol, es convertirlo a la forma de cortes mínimos, esto consiste en convertir el árbol a árboles de dos niveles, formados por un puerto "o" alimentado por una serie de puertos "y".

Una vez que se han determinado grupos de eventos primarios que pueden dar como resultado el evento tope, éstos se pueden reducir a grupos de eventos que son suficientes para causar el evento tope, una vez que se ha hecho esto la probabilidad del evento tope será la suma de la probabilidad de los cortes.

Al realizar un análisis de riesgos por medio de Arbol de Fallas se hacen algunas suposiciones, las cuales se resumen a continuación:

- 1) La representación por medio de un conjunto de cortes mínimos (obtenidos mediante Algebra Booleana) describe adecuadamente el sistema.
- 2) Los eventos primarios contenidos en los cortes son estadísticamente independientes.
- 3) El sistema pasa de un estado de operación normal, a un estado de fallo instantáneamente.
- 4) La reparación de un equipo, que falla en un evento primario, es estadísticamente independiente de la reparación de todos los demás equipos que fallan en otros eventos primarios.
- 5) La vida útil del equipo no se incrementó por medio de una reparación.

#### 1.3.2 Eliminación de causas de falla comunes

Como se vió anteriormente, el análisis por Arbol de Fallas asume que todos los eventos son independientes, pero en la práctica no siempre se tiene este caso. Por ejemplo: para un evento de "pérdida de flujo" se puede tener un puerto "y" que diga: "paro de la bomba que se encuentra en uso" y "fallo en el arranque de la bomba que se encuentra en "stand-by" y se requiere de ambos para que no exista flujo; sin embargo, si ambas bombas tienen el mismo suministro eléctrico, la sola pérdida del suministro es suficiente para que se presente el evento final.

Es importante al realizar el análisis, que éste se lleve a cabo con la suficiente profundidad para asegurar que estos modos de falla puedan ser detectados.

#### 1.4 Estimación de probabilidades

Una vez que se ha construido el árbol y detectado los eventos primarios, es necesario asignar probabilidades a éstos para conocer la probabilidad del evento tope.

Se han desarrollado recientemente técnicas matemáticas muy sofisticadas para estimar probabilidades; pero los datos disponibles en las plantas de proceso, no justifican su uso y por esta razón se utilizan conceptos de probabilidad simples.

Partiendo de la probabilidad de eventos primarios, se puede calcular la probabilidad de los siguientes eventos a través de los puertos "y" y "o".

#### 1.4.1 Cálculo de probabilidad a través de los puertos lógicos

Dados dos eventos X e Y con probabilidad P(X) y P(Y) respectivamente, que conducen a un evento Z, con probabilidad P(z) se tiene que:

Para un puerto "y"

$$P(z) = P(X) P(Y)$$

y para un puerto "o"

$$P(z) = P(X) + P(Y) - P(X) P(Y)$$

#### 1.4.2 Datos de falla de equipos

Antes de empezar la etapa de cuantificación, se debe contar con una base de datos adecuada para el sistema en particular, el lugar más obvio para obtener los datos es la planta ya que la frecuencia de fallos de muchos equipos se puede obtener de los registros de mantenimiento o con el encargado de esta área, o los supervisores operativos; pero a menudo los registros de mantenimiento son pobres o si se trata de una planta nueva no existirán, si existe una planta similar en operación los registros de ésta se pueden usar como fuente de datos, pero se debe tener cuidado al utilizar estos datos ya que aún siendo plantas iguales y equipos iguales, su probabilidad de fallo está determinada por el mantenimiento, condiciones climáticas, etc.

Si no se cuenta tampoco con datos de este tipo, como último recurso se pueden utilizar datos genéricos de falla de equipo (ver Artículo: "Some data on the reliability of instruments in the Chemical Plant Environment" por S.N. Anyakora, G.F.M. Engel y F.P. Lees (Anexo).

#### 1.4.3 Probabilidades a partir de tasa de falla

Es importante notar que algunos datos se obtienen en forma de probabilidades mientras que otros en forma de razón de fallo. Por ejemplo: la probabilidad de que un operador falle al realizar una operación puede ser 0.01; mientras que el índice de falla de una válvula de relevo (válvula bloqueada) estará dado como 0.5 veces en  $10^6$  horas de operación. Para convertir esta razón de fallo a una probabilidad se hacen las siguientes suposiciones:

1. La tasa de fallo es constante.
2. Como las fallas no serán detectadas normalmente, se asume que se harán pruebas regularmente a intervalos no mayores de  $1/10$  del tiempo de falla (si la tasa de fallo es  $\lambda$ , el tiempo de fallo es  $\lambda^{-1}$ ).
3. Se asume que si se detecta que el equipo ha fallado, éste será reparado y puesto en sus condiciones de operación originales.

Bajo estas circunstancias si el intervalo de tiempo entre pruebas es  $T$ , el tiempo promedio que el equipo estará fuera de operación es  $T/2$  más el tiempo requerido para la reparación ( $t$ ).

Así el tiempo global que el sistema no estará disponible será  $\tau$  ( $\tau = T/2 + t$ ); y la probabilidad que dicho sistema no se encuentre en disposición de actuar se puede calcular por una expresión que se reduce a:

$$P = \lambda t$$

donde  $P$  = probabilidad  
 $\lambda$  = razón de fallo  
 $t$  = tiempo en que no se cuenta con el equipo o sistema

Esta expresión es válida si  $P$  es mucho menor que 0.1, lo cual es generalmente el caso. El valor  $P$  obtenido se conoce como fracción de tiempo fuera de operación (fractional down time o fractional dead time) y se entiende como la probabilidad de que el equipo o sistema no opere cuando se requiere.

Por ejemplo, si se tiene una válvula de relevo con razón de fallo  $\lambda = 0.5$  en  $10^6$  horas  
 $\lambda = 0.5$  en  $10^6$  horas =  $4 \times 10^{-3}$  veces/año (8000 hr. operación/año)

Si el intervalo de prueba es 1 año ( $T$ ) y la prueba se realiza con el equipo en paro, entonces:

$$\tau = T/2 + t = 1/2 + 0 = 0.5$$

$$P = \lambda \tau = 4 \times 10^{-3} \text{ veces/año} \times 0.5 \text{ años} = 2 \times 10^{-3}$$

El procedimiento antes descrito sólo será necesario bajo las siguientes circunstancias:

- 1) Si se tiene un puerto "y" y los eventos de entrada están expresados como frecuencia, se requerirá convertir, preferentemente, todos excepto uno a probabilidad. Es factible que todos sean expresados como probabilidad, pero es poco recomendable para fines prácticos.
- 2) Si se tiene un puerto "o" y los eventos de entrada están expresados en probabilidades y frecuencias será necesario que todos aquéllos expresados como frecuencia sean expresados como probabilidad.

#### 1.4.4. Fallo humano

Cuando se requiere, que en una secuencia de operaciones una persona realice alguna de ellas; por ejemplo: que al oír una alarma cierre una determinada válvula, no se puede decir que "el operador siempre lo hará" o que "nunca lo hará", en estas circunstancias es necesario preguntarse ¿Con qué frecuencia

el operador cerrará la válvula correcta en el tiempo requerido? La respuesta a esta pregunta dependerá de muchos factores, pero principalmente del grado de tensión y de concentración (suponiendo que sabe, puede y quiere realizar la operación).

Para realizar un juicio, a continuación se presentan algunas sugerencias:

Tasa = 1 en 1 (i.e. una falla por demanda): esto se tiene cuando se requiere una acción rápida y compleja para evitar un incidente serio.

Tasa = 1 en 10: en cuartos de control con mucho movimiento, donde haya otras alarmas sonando, suene un teléfono, la gente está pidiendo permisos de trabajo y cosas por el estilo.

Tasa = 1 en 100: en un cuarto de control tranquilo; si el operador se encuentra presente.

Tasa = 1 en 1000: si la válvula a cerrar se encuentra inmediatamente junto a la alarma.

Cuando se lleva a cabo una rutina familiar, como el arranque de un reactor "batch" la tasa de fallo típica será de 1 en 1000 por cada operación (ej. "cierre válvula").

Por último recuerde que no todas las operaciones pueden describirse. En algunas ocasiones el operador tendrá que decidir por una acción, dependiendo de las señales que percibe, y puede que la decisión no sea adecuada, particularmente si la lectura de los instrumentos no es correcta (error sistemático).

### 1.5 Evaluación del Arbol de Fallas

Una vez que se ha construido el árbol, éste se evalúa con el fin de establecer la importancia de las diferentes trayectorias. En algunos casos simples esto se puede hacer por inspección y en casos más complejos evaluando las probabilidades de los cortes.

El efecto de cambios en el diseño, tales como cambios de instrumentación, se puede evaluar, para determinar el efecto global de dichos cambios; de esta manera el diseño puede modificarse para obtener una menor probabilidad de falla.

### 1.6 Cuando usar Arbol de Fallas

Arbol de Fallas, es una herramienta útil para realizar análisis de riesgos, ya que como es un método que, hace uso de una representación gráfica por medio de diagramas lógicos, da una visión de las trayectorias o secuencias de fallo; también es útil para descubrir los puntos débiles del diseño, comparar alternativas de medidas de seguridad y elegir

una estrategia óptima de mantenimiento. Tal vez resulte sorprendente que el uso de esta herramienta no se haya generalizado, pero existen algunas razones para ello:

- 1) El Arbol de Fallas es difícil de construir para sistemas grandes y complejos.
- 2) Los resultados que se obtengan serán tan buenos, como los datos con que se cuente.
- 3) Es un análisis dual. No toma en cuenta fallos parciales.
- 4) La tasa de falla humana es difícil de predecir, ya que varía de persona a persona y, tal vez, de un día a otro.
- 5) Cuando se usan datos de falla de equipos tabulados en manuales, éstos pueden no tomar en cuenta las condiciones específicas del proceso (temperaturas, presión, corrosividad, etc.).
- 6) Los cambios en el diseño de equipo (cambio de proveedores) no necesariamente son para mejorar y no siempre se tiene aviso de ellos.
- 7) Se requiere una revisión detallada de las instrucciones de operación y de los procedimientos de mantenimiento.
- 8) Consume mucho tiempo y es difícil de actualizar.
- 9) Para sistemas grandes y complejos puede requerirse de algún método computacional y éstos son muy caros.
- 10) Pueden pasarse por alto algunas trayectorias de fallo críticas.
- 11) El personal que lo aplique requiere de una capacitación formal.

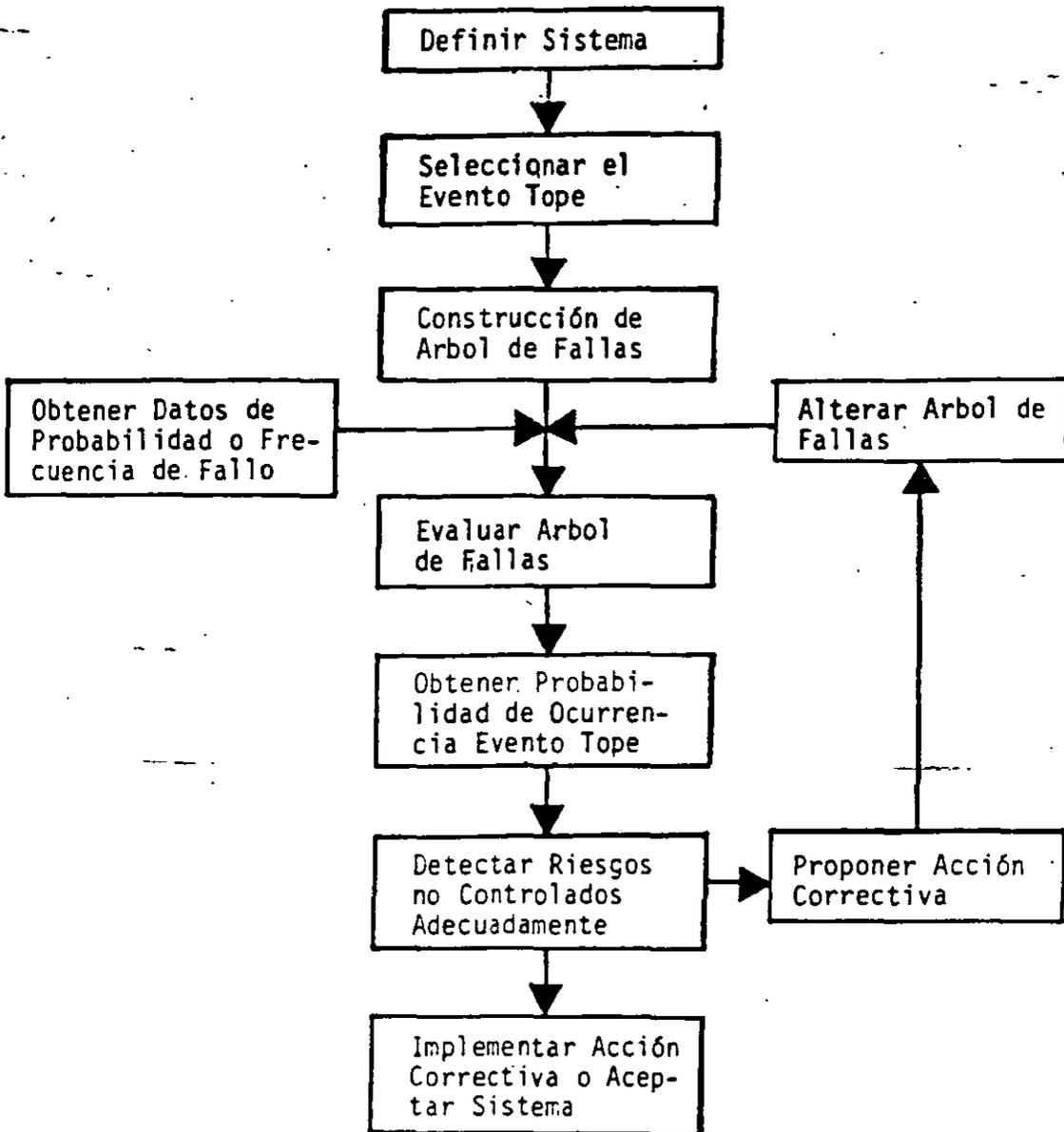
### 1.7 Ejemplo

Se instala un tanque entre dos unidades de operación, la alimentación, (proveniente de la unidad corriente arriba) entra al tanque y es bombeada a través de una válvula de control actuada por la unidad "corriente abajo". Se ha instalado una alarma de paro en el motor de la bomba y un switch de alto nivel con alarma localizado por abajo del nivel de derrame del tanque.

El proceso es continuo y se ilustra en la Fig. 1; se requiere la frecuencia con que derramará el tanque, y éste será el evento tope.

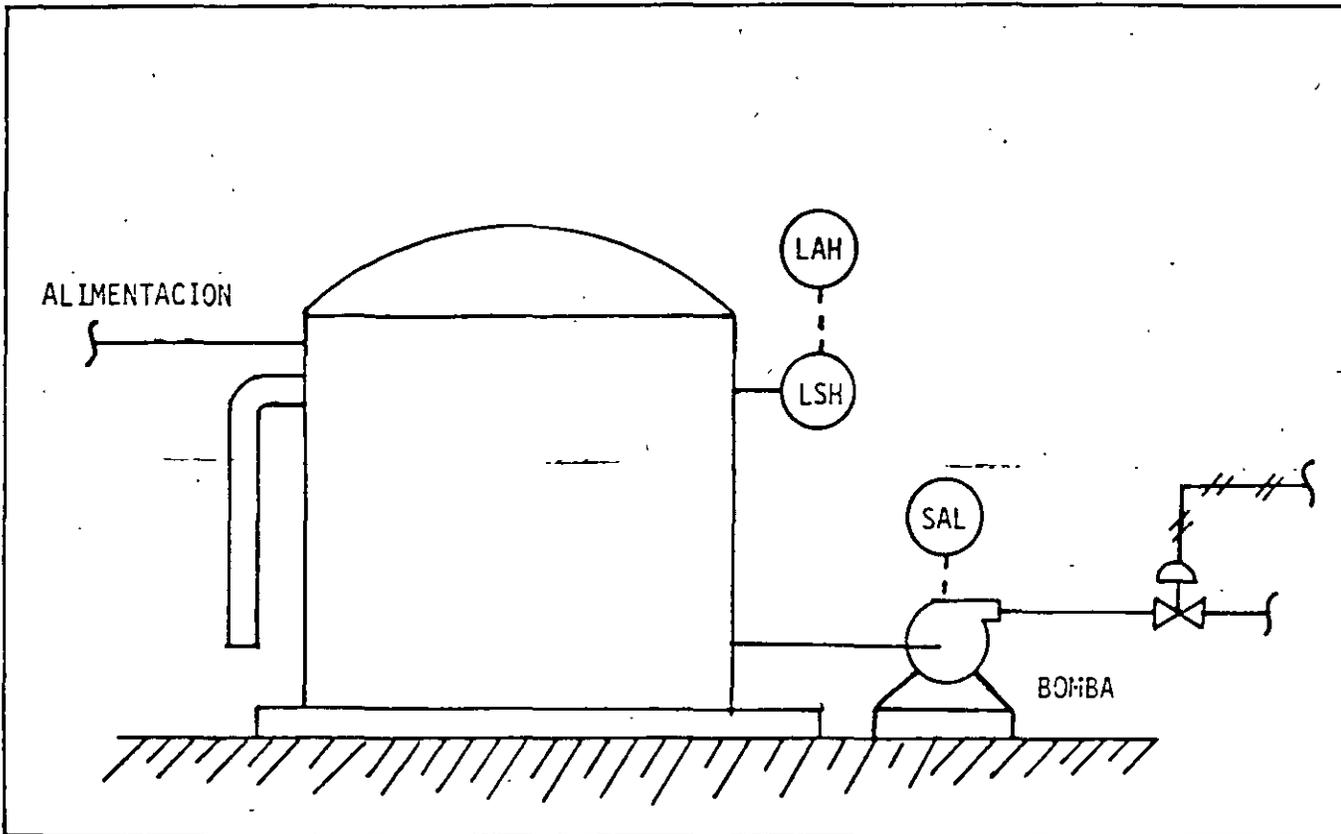
El árbol de fallas que muestra algunos de los eventos que pueden dar como resultado el derrame del tanque se muestra en la figura 2, nótese que éste es un ejemplo sencillo, para mayor claridad y en el que no todos los eventos primarios han sido evaluados (se puede construir otra trayectoria para "alto flujo de alimentación" por ejemplo).

# SECUENCIA DE EVENTOS EN UN ANALISIS DE ARBOL DE FALLAS



En este árbol se ha tomado el evento "falla en la alarma del motor" como primario, pero se pudo haber desarrollado hasta eventos primarios tales como: fallas en: conexiones, relevadores, etc.

Fig. 1 DIAGRAMA DE PROCESO E INSTRUMENTACION



## SIMBOLOS DE EVENTOS Y LOGICA DEL ARBOL DE FALLAS

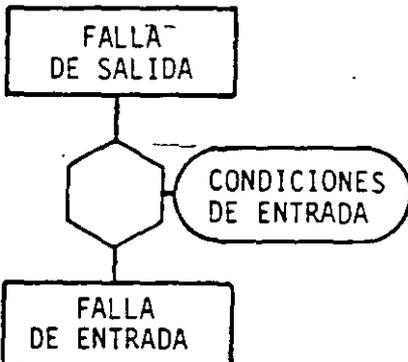
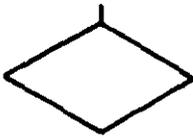
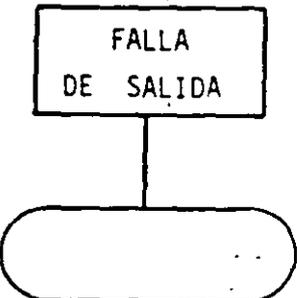
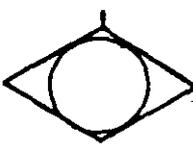
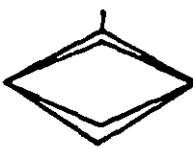
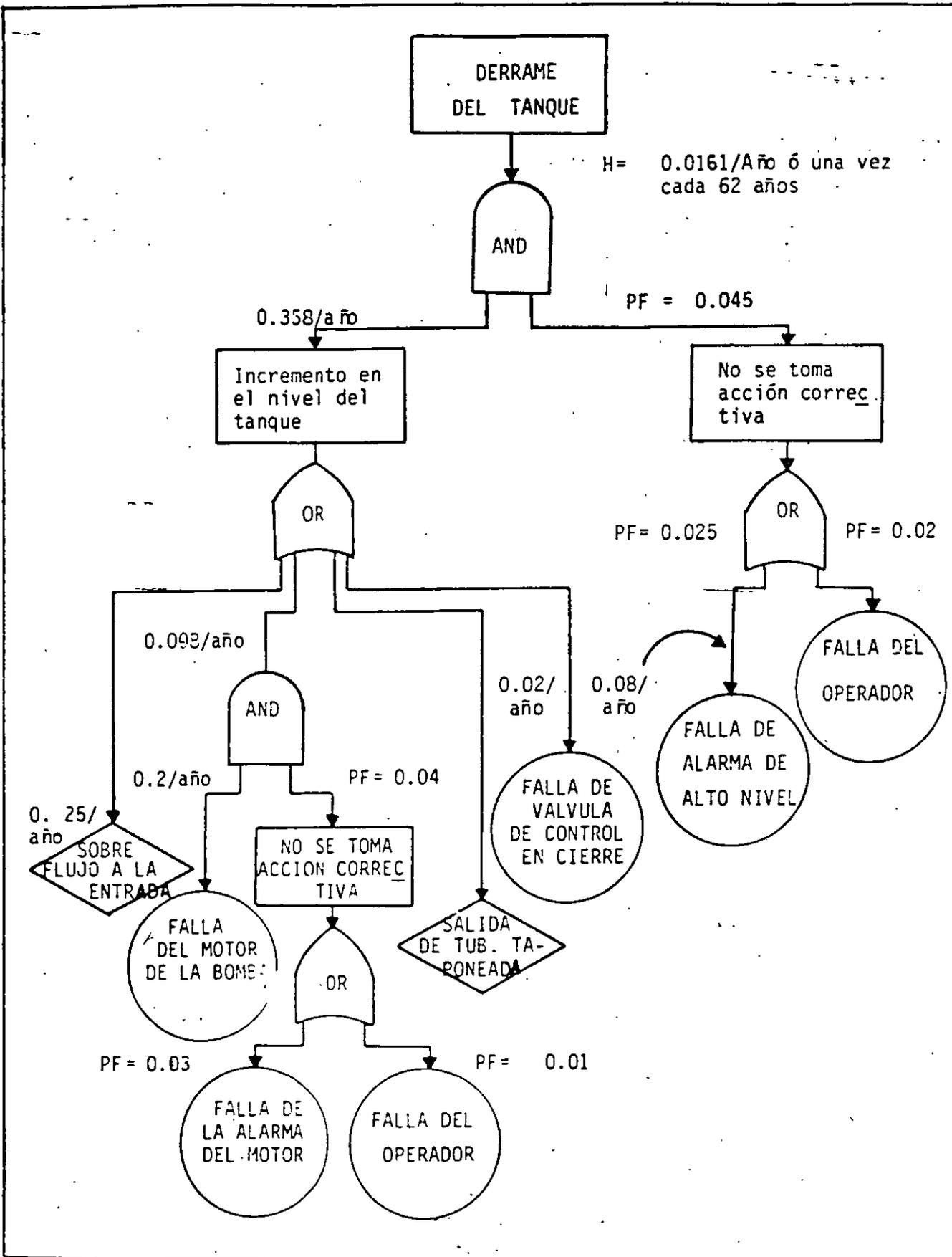
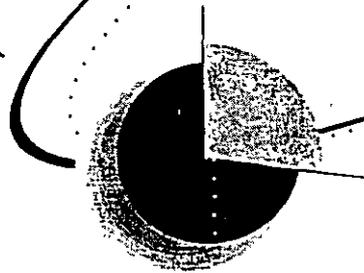
SIMBOLOS LOGICOS	SIMBOLOS DE EVENTOS
 <p style="margin-left: 20px;">Puerto "And" Existe salida solo si existen todas las entradas</p>	 <p style="margin-left: 20px;">Rectangulo: Evento de falla usualmente resultante de eventos de fallas básicas</p>
 <p style="margin-left: 20px;">Puerto "Or" Existe salida si existe alguna de las entradas</p>	 <p style="margin-left: 20px;">Círculo: Falla primaria</p>
 <p style="margin-left: 20px;">Puerto de Inhibición salida es igual a la entrada si se satisface la condición de entrada.</p>	 <p style="margin-left: 20px;">Diamante: Evento de falla no desarrolla hasta sus causas</p>
 <p style="margin-left: 20px;">Puerto de retraso Existe salida después de transcurrido el tiempo de retraso</p>	 <p style="margin-left: 20px;">Círculo dentro de Diamante: Evento de falla desarrollado en otro árbol de falla y aquí incluido como si fuese primario</p>
 <p style="margin-left: 20px;">Diamante dentro de Diamante: Evento de falla que requiere desarrollarse en el futuro con el fin de completar el árbol.</p>	 <p style="margin-left: 20px;">Casa: Evento que se espera normalmente que ocurra.</p>
 <p style="margin-left: 20px;">Triangulo: Transferir hacia dentro</p>	 <p style="margin-left: 20px;">Transferir hacia fuera</p>

Fig. 2 EJEMPLO DE ARBOL DE FALLAS



# DIPLOMADO EN RIESGO AMBIENTAL

**C**  
**a** **URSOS**  
DISTANCIA



**Módulo III :**

**Métodos y Análisis de Riesgo**

**( Cualitativo y Cuantitativo )**

**Tema 5 :**

**Evaluación Hazop.**



**DEC**



## NOTAS DEL DIAGRAMA DE AREAS DE ALMACENAMIENTO

- 1) Se refiere: - Al cumplimiento de estándares en su diseño original.
  - Si se está utilizando para las condiciones originales de diseño.
  - Si se encuentra dentro del tiempo de vida útil del equipo y/o el mantenimiento preventivo que se le ha proporcionado indica aun rangos de uso seguros.
  - De no cumplir con estos parámetros de ingeniería, se deberá sustituir el tanque.
- 2) Se refiere: - Tanques que manejen presión por arriba de la atmosférica, por lo tanto existen más probabilidades de falla, si no existe un mantenimiento preventivo (inspección visual, verificación de soldaduras, etc.).
- 3) Se refiere: - Si se cuenta con los dispositivos de alivio de presión instalados y diseñados de acuerdo a estándares, identificados y mantenidos dentro de un programa de mantenimiento de equipo crítico (válvulas de alivio, de relevo, de seguridad, discos de ruptura, etc.).
- 4) Se refiere: - Debe existir un programa de mantenimiento preventivo en donde se este checando el desgaste del material de tal forma que no se presente un evento por rotura o falla del material.
- 5) Se refiere: - Que cuente con instrumentos que indiquen los niveles manejados así como alarmas o interlocks, con esta instrumentación eliminariamos eventos de derrame por un sobrellenado.
- 6) Se refiere: - Tanques que operan a la presión atmosférica y por esta razón están emitiendo vapores en forma normal a la atmósfera.
- 7) Se refiere: - En las áreas de almacenamiento deben existir estaciones de carga y descarga de productos y materias primas, de esta manera se tiene un área específica para realizar maniobras.
- 8) Se refiere: - Las estaciones de carga y descarga deben cumplir con los estándares y normas de acuerdo a los materiales manejados y las maniobras a realizar, de no cumplir deberá sustituirse o meterla dentro de estándar.
- 9) Se refiere: - En las áreas de carga y descarga se originan fugas y derrames, deberá de contarse con sistemas específicos para el control de estos eventos (tanques de derrames, diques, trincheras, guarda bridas, etc.).

## 1. ANALISIS DE RIESGOS Y OPERABILIDAD (HAZOP)

Generalmente, después de un accidente y cuando se detecta un problema mayor de operación, se investigan sus causas y se establecen acciones para prevenir su repetición. Frecuentemente, una vez que la investigación finaliza, se detectan fallas en el diseño o en los métodos de operación, lo cual ocurre a pesar del cuidado que se tenga en el diseño de una planta. En gran parte aprendemos de las experiencias, pero esto puede resultar muy costoso en términos de vidas humanas e inversiones.

HAZOP es una metodología que nos permite conocer los riesgos de una planta en forma sistemática, antes de que se generen consecuencias innecesarias.

### 1.1 Principios Básicos de la Metodología

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

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

Debido a que el proceso de aplicación de la metodología es ordenado y altamente estructurado, es recomendable su aplicación en forma selectiva, considerando parámetros tales como: manejo de materiales altamente peligrosos, ubicación de la planta en zonas de asentamientos humanos, posibles efectos a instalaciones industriales colindantes y posibles afectaciones a mantos acuíferos y vías de conducción de aguas.

Esencialmente el procedimiento de análisis consiste en revisar la descripción completa de los procesos, cuestionando sistemáticamente cada una de sus partes, para descubrir como las desviaciones de la intención del diseño pueden ocurrir e identificar cuales de estas pueden dar por resultado un riesgo. Cada parte del diseño se somete a una serie de preguntas formuladas en base a "palabras clave", las cuales son utilizadas para garantizar que todos los caminos posibles, para que ocurra una desviación de la intención del diseño, son explorados. Esto normalmente genera una serie de desviaciones teóricas y cada desviación es considerada para identificar sus causas, posibles consecuencias y las acciones a seguir para su eliminación o reducción.

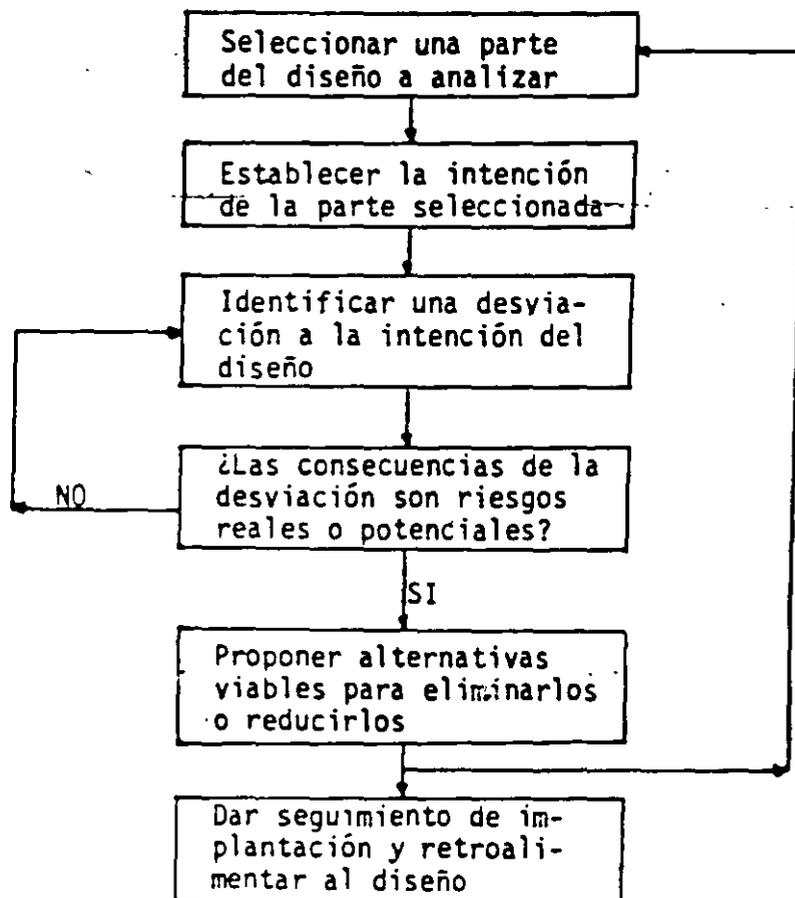
Habiendo examinado una parte del diseño y registrado todo los riesgos reales y potenciales asociados con él, se procede con la siguiente y así sucesivamente hasta completar toda la planta.

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

El éxito de la metodología depende de:

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

A continuación se muestra un esquema general del procedimiento:



## 1.2 Significado de las "palabras clave"

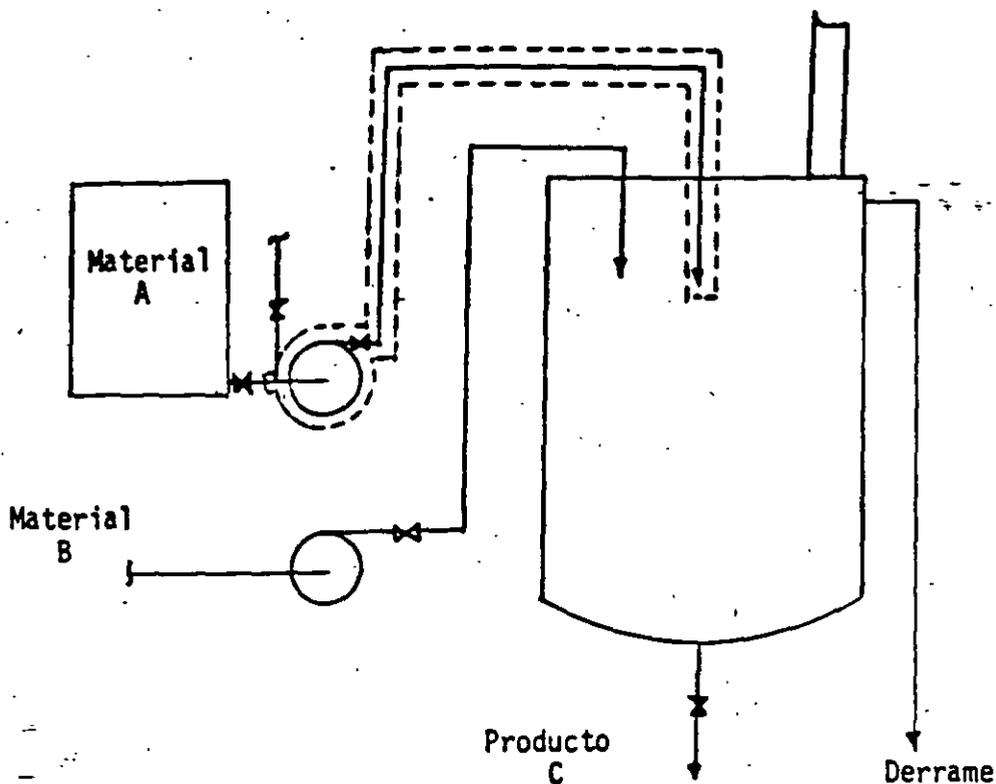
Las "palabras clave" son palabras simples, las cuales se utilizan para analizar la intención (propósito del diseño) de un grupo, línea, etc. y estimular la imaginación del grupo de trabajo para visualizar las desviaciones con respecto a la intención del diseño.

Palabras clave	Significado	Comentarios
No, nada	La completa negación de la intención.	Ninguna parte de intención ocurre
Más, mayor Menos, menor	Incremento o decremento cuantitativo.	Esto se refiere a cantidades y propiedades (flujo, temperatura, presión) como a actividad (calentamiento, enfriamiento, enfriamiento)
Además de	Incremento cualitativo.	Todas las intenciones del diseño se llevan a cabo junto con la actividad adicional
Parte de	Decremento cualitativo.	Sólo algunas de las intenciones del diseño se llevan a cabo
Inverso	Lo opuesto a la lógica de la intención.	Aplicable a actividades (reacción química inversa, calentamiento en lugar de enfriamiento, adición del catalizador en lugar de inhibición)
En vez de	Sustitución completa de la intención.	Nada de la intención original ocurre.

### 1.2.1 Un ejemplo simple

Para ilustrar los principios del procedimiento de análisis consideremos una planta en la cual los materiales A y B reaccionan para formar un producto C. Suponiendo que la materia prima B no debe exceder a la materia prima A, debido al comportamiento de esta reacción en particular, si esto llegara a suceder, la consecuencia sería una explosión.

Refiriéndonos a la siguiente figura, iniciamos el análisis con la línea que parte de la succión de la bomba, que lleva a cabo la transferencia de materia A, hasta el reactor.



Reacción  $A + B = C$

El componente B no debe exceder al componente A  
 La parte de la planta a analizar está marcada por una línea punteada.

La intención es descrita, en parte, por el diagrama de flujo y su complemento por la descripción del proceso. La primera desviación es obtenida al aplicar la palabra clave No, Nada.

No transferencia de A

El diagrama de flujo es examinado para establecer las causas que pueden producir la suspensión del flujo de A. Estas causas podrían ser:

- Tanque de suministro vacío
- Falla de la bomba (mecánica, eléctrica, bomba apagada, etc.)
- Rotura de la tubería
- Válvula de bloqueo cerrada.

Todas las causas anteriores son posibles, por lo tanto la desviación también lo es.

A continuación consideramos las consecuencias. La suspensión completa del flujo de A podría darnos rápidamente un exceso de B con respecto a A en el reactor y consecuentemente el riesgo de explosión. Se ha identificado un riesgo en el diseño y se deben tomar las medidas correspondientes.

Ahora se aplica la siguiente palabra clave que es Más, Mayor. La desviación es:

Más cantidad de A se transfiere al reactor

La causa podría ser que las características de la bomba permitan, bajo ciertas circunstancias, un flujo excesivo. Si esta causa es aceptada como posible, procedemos a la definición de las consecuencias.

- Producto C contaminado con un exceso de A.
- El exceso de flujo hacia el reactor significa que algo de material descargará por el derrame.

Se requiere obtener la información para determinar si estas consecuencias representan un riesgo.

La siguiente palabra clave es Menos, Menor. La desviación es:

Menos cantidad de A se transfiere al reactor

Las causas son un poco diferentes a las identificadas en el caso de No transferencia de A.

- La válvula de bloqueo parcialmente cerrada.
- La línea está parcialmente bloqueada.
- La bomba no produce el flujo requerido (impulsor inadecuado, válvulas mal seleccionadas, etc.).

Las consecuencias son semejantes al caso de No transferencia de A y el riesgo es una posible explosión.

Las dos siguientes desviaciones son cualitativas y toda o parte de la intención original del diseño se conserva. La primera de éstas es una desviación en la cual algunos otros efectos se presentan simultáneamente con la intención del diseño. La palabra clave es Además de y la desviación es Además de transferir A. Esto puede significar:

- Transferir algún componente además de A. En el diagrama de flujo se muestra una válvula de bloqueo en la succión de la bomba. Si esta válvula estuviera cerrada, otro componente pudiera ser aspirado junto con el material A.

- La transferencia de A hacia algún lugar diferente al reactor. El diagrama de flujo muestra esta posibilidad; si la válvula de la línea que se deriva de la succión de la bomba está abierta, la desviación puede ocurrir.
- Llevarse a cabo otra actividad simultáneamente con la transferencia de A. Por ejemplo, A puede ebullición o descomponerse en la línea o la bomba.

La otra desviación ocurre cuando la intención del diseño se lleva a cabo en forma parcial. La palabra clave es Parte de y la desviación Parte de A se transfiere. Esto puede significar que:

- Un componente de A se pierde (mezclas). Se requiere de conocer la composición de A, así como los efectos de la pérdida de uno de los componentes.
- La omisión de uno o más reactores en el caso de que la misma bomba transfiera el material A a más de un reactor.

Las dos desviaciones restantes son también cualitativas pero ninguna de las partes de la intención original del diseño se conserva. La primera de éstas es lo contrario a la intención del diseño. La palabra clave es Inverso y la desviación es Transferencia Inversa de A. Esto significa que el flujo regresa desde el reactor a través de la bomba hasta el tanque de almacenamiento de A.

Finalmente, la completa sustitución de la intención del diseño por algo más. La palabra clave es En vez de y la desviación es En vez de transferir A. Esto puede significar:

- La transferencia de un material diferente. La sustitución puede ocurrir en varias formas. Por ejemplo, el material erróneo podría ser enviado a través de la T en la succión de la bomba (punto 10.1.2). Es necesario obtener información, en relación a que otros materiales se pudieran transferir y sus efectos.
- Un cambio del destino implícito. Transferir el material A (totalmente) a otro lugar, menos al reactor.
- Un cambio en la naturaleza de la actividad, por ejemplo, el material A puede solidificarse antes de ser transferido.

Cuando la línea que transfiere el material A hacia el reactor ha sido analizada, se marca en el diagrama de flujo con un marcador (de preferencia en color amarillo). Se selecciona y se marca con líneas punteadas la siguiente parte del diseño a analizar y ésta pudiera ser la línea

que transfiere la materia prima B al reactor. Esta secuencia se repite para todas y cada una de las partes del diseño; cada línea, recipientes auxiliares, auxiliares del reactor como pudiera ser un agitador, todos los servicios del reactor tales como calentamiento, enfriamiento etc.

Es importante que una vez definida la desviación, sus causas y consecuencias, se establezcan, las medidas correctivas o las indicaciones para profundizar en su análisis antes de pasar a la identificación de la siguiente desviación.

Cuando revisamos a un nivel más detallado la intención del diseño, será necesario contemplar algunas restricciones porque los modos posibles de la desviación son reducidos. Por ejemplo, suponiendo que consideramos que la intención del diseño es 100 °C de temperatura, la única forma posible de desviación (si olvidamos el cero absoluto) son Más, arriba de 100°C, y Menos, abajo de 100°C.

Cuando las palabras clave son aplicadas a aspectos relacionados con el tiempo, Más y Menos pueden significar larga y corta duración o altas y bajas frecuencias. Ahora bien, cuando tratamos aspectos relacionados con tiempo absoluto o secuencia, las palabras clave extras Antes o Después dan mayor idea que En vez de. Así mismo, Antes o Después nos referimos a posición, precedencia y destino, Antes o Después es más útil que En vez de. Alto y Bajo tendrán más significado que Más y Menos para desviaciones de Elevación.

Cuando se trata de intenciones de diseño que involucran especificaciones complejas de temperaturas, velocidades, composición, presiones, etc., es más conveniente aplicar la secuencia completa de palabras clave a cada elemento individualmente que aplicar cada palabra clave a todo el rango de especificaciones. Cuando aplicamos las palabras clave a una oración, es más útil aplicar las palabras clave en secuencia a cada palabra o frase separadamente, empezando por la parte clave que describe la actividad.

### 1.3 Procedimiento para el Análisis

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

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

### 1.3.1 Definición de Objetivos y Alcance

Los objetivos y alcance de un análisis deben ser explícitos tanto como sea posible. Algunos ejemplos son:

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

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

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

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

Los objetivos Generales para un análisis son normalmente fijados por la persona responsable del proyecto o la planta; por ejemplo, el Gerente del Proyecto, el Ingeniero del Proyecto o el Gerente de la Planta. Esta persona normalmente es asesorada en la definición de los objetivos por el líder del equipo.

El análisis es efectuado por un grupo multidisciplinario, cual propone las alternativas de solución, quedando la decisión final de su aplicación en la Gerencia. La definición del alcance y objetivos del análisis es sencilla siempre y cuando el gerente o responsable esté convencido de las bondades de la metodología.

### 1.3.2 Selección del Grupo de Trabajo

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

Personal Técnico. El análisis requiere de la participación de personal con conocimientos y experiencia en ciertas áreas, algunas de ellas relacionadas con el diseño y otras con la operación de la planta. La metodología genera una

gran cantidad de preguntas que requieren la participación de personal con un grado alto de conocimientos y experiencia para dar las respuestas adecuadas.

A manera de ejemplo, una planta química pequeña deberá ser analizada por un grupo formado por los responsables de

- Mantenimiento
- Producción
- Procesos
- Seguridad e Higiene

Los miembros del grupo deben tener la suficiente autoridad para realizar las modificaciones necesarias al diseño y operación. La mezcla de disciplinas puede variar dependiendo del tipo del proyecto o planta. Algunas ocasiones se requiere de la inclusión de disciplinas tales como:

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

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

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

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

- Asesorar en la definición de los objetivos y alcance del análisis.
- Ayudar en la selección del grupo y su entrenamiento.
- Coordinar la recopilación de información previa y verificar que se cuente con toda la necesaria para el análisis.
- Moderar las discusiones dentro de lo establecido por la metodología.

El líder del grupo no debe tener la responsabilidad de proporcionar el soporte técnico principal y no deberá ser una persona directamente asociada con el tema principal del análisis, dado a que puede fallar en el uso de la metodología o dar por hecho algunos aspectos que pudieran ser fundamentales en la identificación de riesgos. Pero deberá tener un amplio conocimiento de la metodología y habilidad para moderar las discusiones del grupo.

En adición al líder del grupo, es deseable contar con una persona de soporte para que tome nota de los riesgos detectados, la cual se le conoce como "Secretario". Pudiera considerarse como una extravagancia el contar con un Secretario pero la experiencia nos indica que esto incrementa en forma importante la efectividad del grupo, ya que el tomar notas puede distraer la atención y limitar el aprovechamiento de sinergia.

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

### 1.3.3 Preparación Previa del Análisis

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

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

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

En plantas de proceso continuo la estructuración es relativamente sencilla. Los diagramas de tuberías e instrumentación, el lay out y los balances de materia contienen suficiente información y pueden ser fácilmente reproducidos para ponerlos a disposición de los miembros del equipo de trabajo. La información restante no requiere ser reproducida, únicamente será necesario mantenerla disponible para consulta.

En plantas de proceso por lotes, normalmente la estructura de la información requiere de un mayor esfuerzo y adicionalmente a los diagramas descritos para plantas continuas, se requiere reproducir la secuencia de operación, así como la participación de los operadores en cada etapa del proceso.

En el diseño de una nueva planta es relativamente sencillo contar con la información necesaria ya que ésta se encuentra recientemente editada. En plantas existentes, la labor de recopilación de información se vuelve muy compleja porque normalmente no se encuentra actualizada. En este último caso; indispensable actualizar la información existente y generar la faltante antes de iniciar el análisis, ya que sin ello se pierde tiempo.

Una vez que la información se ha recopilado y estructurada el líder del grupo está en la posibilidad de realizar la planeación de la secuencia del análisis. La primera tarea será estimar las horas hombre que se requerirán para que se pueda lograr de varias maneras. Una regla general es que cada parte a ser estudiada (línea, recipiente, etc.) tomará aproximadamente 15 minutos del tiempo del grupo. El ejemplo del punto 10.2.1 tomará una hora y media, considerando 15 minutos para cada una de las dos líneas de acceso al reactor, dos salidas, el venteo y el reactor en sí. Entonces una forma de estimar el tiempo es considerando el número de líneas y recipientes.

Otra forma de hacer la estimación de tiempo es considerando una hora y media por cada recipiente.

Teniendo la estimación de tiempo, el líder del grupo o el secretario pueden coordinar las reuniones de trabajo. Idealmente una sesión de trabajo no deberá durar más de tres horas debido a que el cansancio puede llevar a ser improductivo el análisis. Bajo condiciones extremas de presión de tiempo, sesiones pueden ser programadas para dos días consecutivos pero sólo en circunstancias excepcionales.

En condiciones normales, no se deberán programar más de dos sesiones por semana permitiendo un día de descanso entre una sesión y sesión. El inconveniente sería que algunos miembros del grupo tuviesen que viajar y la programación pudiera ser complicada.

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

#### 1.3.4 Ejecución del Análisis

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

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

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

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

Puede ser inapropiado o imposible para el grupo definir las acciones requeridas para cada uno de los riesgos detectados durante la sesión o por otro lado las acciones pueden ser llevadas a cabo en forma inmediata, porque éstas son simples. La habilidad para tomar decisiones rápidas depende del tipo de planta. En plantas continuas, la decisión tomada en algún momento puede no invalidar las decisiones tomadas previamente, pero siempre es importante considerar esta posibilidad. En plantas con procesos por lotes, con control en secuencia, cualquier alteración en el diseño o modo de operación puede tener consecuencias mayores.

Si la acción a tomar quedase pendiente para evaluación posterior, es necesario hacer la anotación correspondiente e indicar la persona responsable de ejecutarla.

El líder del grupo debe intentar que se concluyan todas las discusiones antes de pasar a la siguiente palabra clave, lo que el líder debe tratar de que en todos los puntos de discusión se llegue a un acuerdo. Cuando esto no sea posible será necesario que una discusión entre dos expertos sea concluida, proponiendo que el punto de desacuerdo sea registrado y discutido una vez terminada la sesión.

Una vez que una línea, recipiente o instrucción del procedimiento de operación ha sido totalmente analizada, el líder del grupo marcará su copia indicando su finalización.

### 1.3.5 Seguimiento

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

Las acciones propuestas generalmente son de cuatro tipos:

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

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

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

Existirán acciones que no requieren de una evaluación detallada, dado que el riesgo es claro y las acciones son obvias su corrección, pero suele ocurrir que para ciertos riesgos existen diferentes alternativas (unas más caras que otras, reducen más el riesgo, etc.) que será necesario evaluar su costo beneficio. Para ayudar en la toma de decisiones, se recomienda evaluar el riesgo, así como su modificación con las alternativas propuestas. Para lograrlo se sugiere utilizar metodologías tales como Arbol de Fallas, Dow Index, ICI Mo Index o Evaluación Matemática de Riesgos, las cuales se incluyen en el presente manual. El uso de estas metodologías debe ser selectivo y sólo en caso estrictamente necesario debido a su complejidad y el tiempo que se requiere para su aplicación.

### 1.3.6 Registro de Resultados

Una actividad importante del grupo de trabajo es registrar los resultados del análisis. Una forma útil es la generación del "Expediente Hazop". Este contiene.

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

La hoja de trabajo se muestra a continuación:

INTENCION \_\_\_\_\_

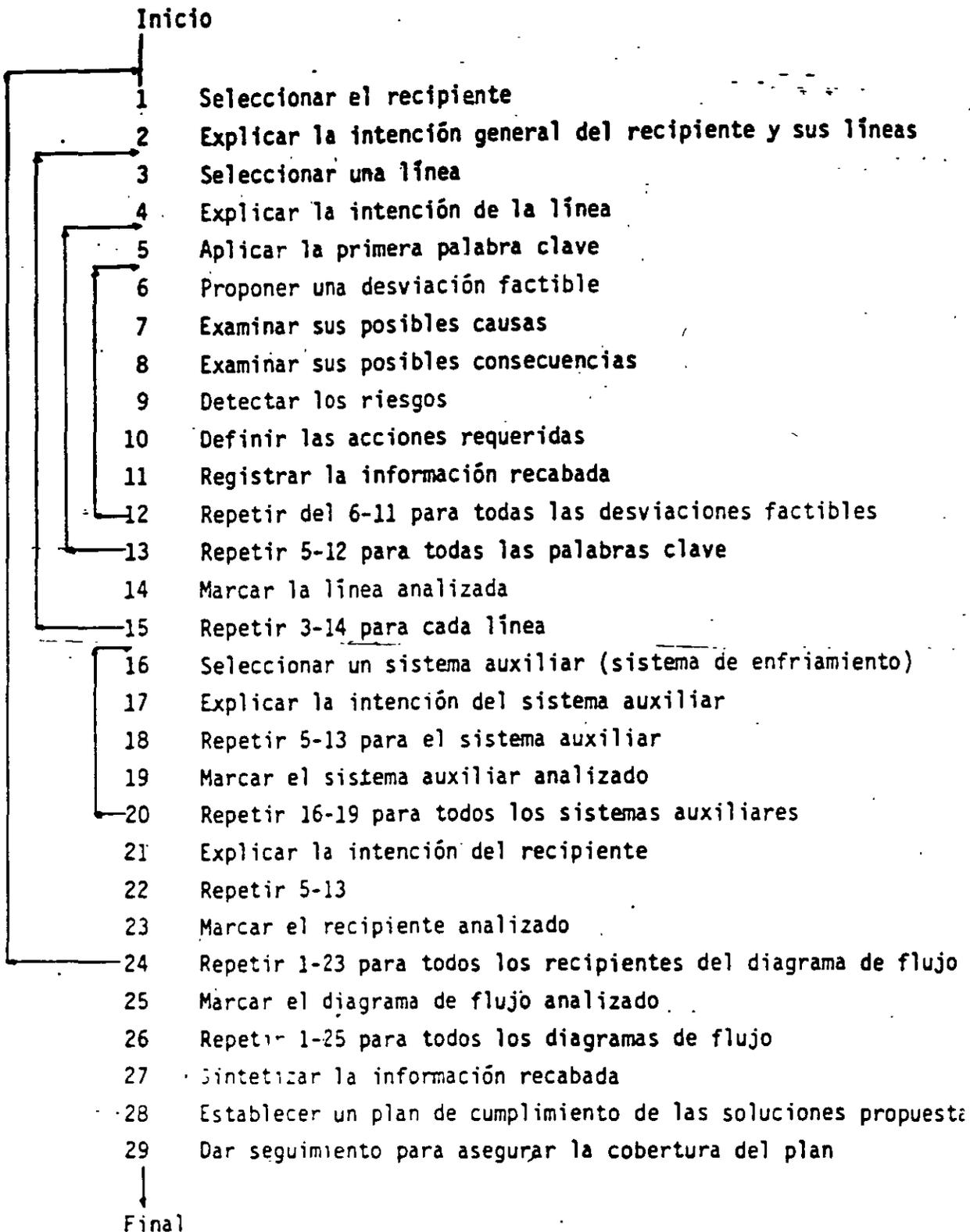
PLANTA O PROYECTO \_\_\_\_\_

DIAGRAMA \_\_\_\_\_

LINEA O EQUIPO \_\_\_\_\_

PALABRA CLAVE	DESVIACION	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIAS	ACCION REQUERIDA

## 1.4 Secuencia Detallada del Análisis



## 10.5 La Programación de los Análisis

El mejor momento para aplicar un análisis a través de HAZOP es durante el diseño de un proceso en la etapa en que la ingeniería de detalle ha concluido, pero antes de su aprobación.

En esta etapa es posible realizar cambios antes de incurrir en gastos innecesarios y además la información necesaria está concluida.

Los análisis, también pueden llevarse a cabo cuando la etapa de construcción ha concluido, pero antes del arranque. Es evidente que las correcciones en esta etapa son normalmente costosas y pueden implicar un retraso en la iniciación de las operaciones.

La aplicación de la metodología puede hacerse en plantas existentes.

### 10.5.1 Identificación de Riesgos Mayores

El objetivo fundamental de la aplicación de la metodología es la identificación de riesgos mayores. Una vez conocidos es posible la toma de decisiones fundamentales, tales como

- Dónde localizar la planta.
- Cuál sería la localización de la planta con respecto a otras plantas, asentamientos humanos, etc.
- Qué aspectos particulares del diseño requerirán un desarrollo especial con el fin de controlar los riesgos

La identificación de riesgos mayores puede hacerse con relativa facilidad una vez que ciertos parámetros generales son establecidos. Estos son:

- Materiales. Materias primas, productos intermedios, productos finales, efluentes.
- Operaciones unitarias. Mezclado, destilación, secado etc.
- Lay out. Arreglo de las operaciones unitarias dentro de la planta, espaciamiento con otras plantas, etc.

Estos parámetros generales pueden ser considerados una vez que la lista de verificación de riesgos potenciales se les aplica. Una lista útil para la mayoría de las plantas químicas es la siguiente:

Fuego	Ruido
Explosión	Vibración
Detonación	Material nocivo
Toxicidad	Electrocución
Corrosión	Asfixia
Radiación	Falla mecánica

Por supuesto, otros riesgos pueden adicionarse a la lista dependiendo del tipo de procesos existentes.

### 1.5.2 Análisis en la Etapa de Diseño

Es en esta etapa, durante el desarrollo de un proyecto de versión, es el mejor momento para realizar un análisis de riesgo y operabilidad. Los diagramas de ingeniería de definición, actualizados. El grupo de diseño conoce porque la planta ha sido diseñada en una forma particular. Si una modificación sustancial se genera, ésta podrá ser implantada evitando gastos innecesarios.

También es posible realizar el análisis a los proveedores de equipos antes de decidir su compra.

### 1.5.3 Análisis Previo al Arranque

Es posible realizar el análisis cuando la construcción es prácticamente completa y los procedimientos tentativos de operación han sido escritos. Si se ha realizado un análisis completo durante la etapa de diseño y la persona que prepara los procedimientos tentativos de operación participó como miembro del grupo de trabajo, no será necesario realizar un análisis completo en esta etapa. Sin embargo, bajo las siguientes condiciones puede ser muy útil llevarlo a cabo:

- Existencia de cambios importantes de última hora.
- Los procedimientos de operación son muy críticos.
- La nueva planta es una copia de una planta existente con cambios importantes en el proceso debido a cambios de equipos.

### 1.5.4 Análisis en Plantas Existentes

Aún cuando el énfasis principal ha sido aplicar la metodología en el diseño de nuevas unidades, ésta es una herramienta valiosa para tener una visión clara en relación a los riesgos en plantas existentes. Una planta puede operar por muchos años y ser modificada en muchas ocasiones durante su vida útil pero que tales modificaciones se realicen cuidadosamente, podría estar comprometiendo los márgenes de seguridad con que originalmente se diseñó.

La decisión de realizar un análisis de riesgos y operabilidad puede ser el producto de una reacción emocional motivada por algún accidente en una planta o proceso similar. Este tipo de reacciones son entendibles, lo cual no significa la imperiosa necesidad de realizar un análisis de riesgos aplicando HAZOP. Por lo tanto, se sugiere que algunos factores sean considerados.

- Una auditoría de seguridad ha mostrado la necesidad de un análisis más detallado.
- Se manejan materiales altamente peligrosos que podrían dar como consecuencia un riesgo de máximo desastre.

- Han ocurrido accidentes de alto potencial con una frecuencia "alta".
- Existe una evaluación previa de riesgos detectables, la experiencia y la verificación contra códigos y estándares y se han corregido las desviaciones identificadas o se están corrigiendo.
- La planta ha permanecido en operación por largo tiempo.
- La planta ha sido modificada.
- Los programas de mantenimiento preventivo son aceptables.
- Por su localización y a través de métodos de evaluación rápida tal como Dow Index, nos indica posibles efectos hacia la comunidad, aún cuando no se manejan materiales altamente peligrosos.

Quando se realiza la preparación para los análisis en plantas existentes, es necesario considerar tiempo adicional, ya que muy probablemente se requiera actualizar la información y completar la faltante.

Se deberá tener un mayor cuidado en la etapa de definición de grupo generará recomendaciones y algunas de estas implicarán cambios significativos a realizar en la planta. Es muy importante ser lo suficientemente claro al respecto con quién es el responsable de la aprobación de estas recomendaciones. También será necesario establecer un sistema de seguimiento vigoroso que garantice el cumplimiento de los programas de implantación.

#### 1.5.5 Análisis previos a modificaciones en plantas existentes

Una vez que el análisis de riesgos y operabilidad en una planta se ha llevado a cabo, la gerencia puede sentirse segura de que la gran mayoría de los riesgos han sido identificados y corregidos. Ahora bien, la industria de procesos es dinámica y es inconcebible que una planta opere sin modificaciones durante su vida útil.

Con el fin de mantener la confianza gerencial, es necesario asegurar que la planta o el proceso no pueda ser alterado o modificado sin considerar los aspectos de riesgo y operabilidad. Existen dos posibles alternativas para el control de modificaciones.

La primera de ellas está esencialmente basada en el hecho de que los supervisores que están directamente en el control de la planta realizan cambios con menor frecuencia que sus administradores o ingenieros. Por lo tanto, si ellos están involucrados en el análisis de riesgos y operabilidad original, son consultados en relación con las modificaciones propuestas probablemente puedan identificar riesgos potenciales.

La segunda alternativa requiere de que se cuente con un sistema de monitoreo continuo.

La segunda alternativa requiere de que se cuente con un sistema. Una modificación propuesta se pone a consideración de las dos personas con mayor conocimiento de la planta, las cuales aplican una lista de verificación de posibles riesgos y problemas de operabilidad y deciden una de las siguientes cuatro líneas de acción:

- La modificación puede proceder.
- La modificación puede proceder bajo ciertas condiciones.
- La modificación no procede.
- Existe incertidumbre acerca de su viabilidad o no, por lo que la modificación al diseño requiere de análisis de riesgos y operabilidad completo cubriendo el área de diseño.

## 10.6 Aplicación del Método

### 10.6.1 Planta Continua

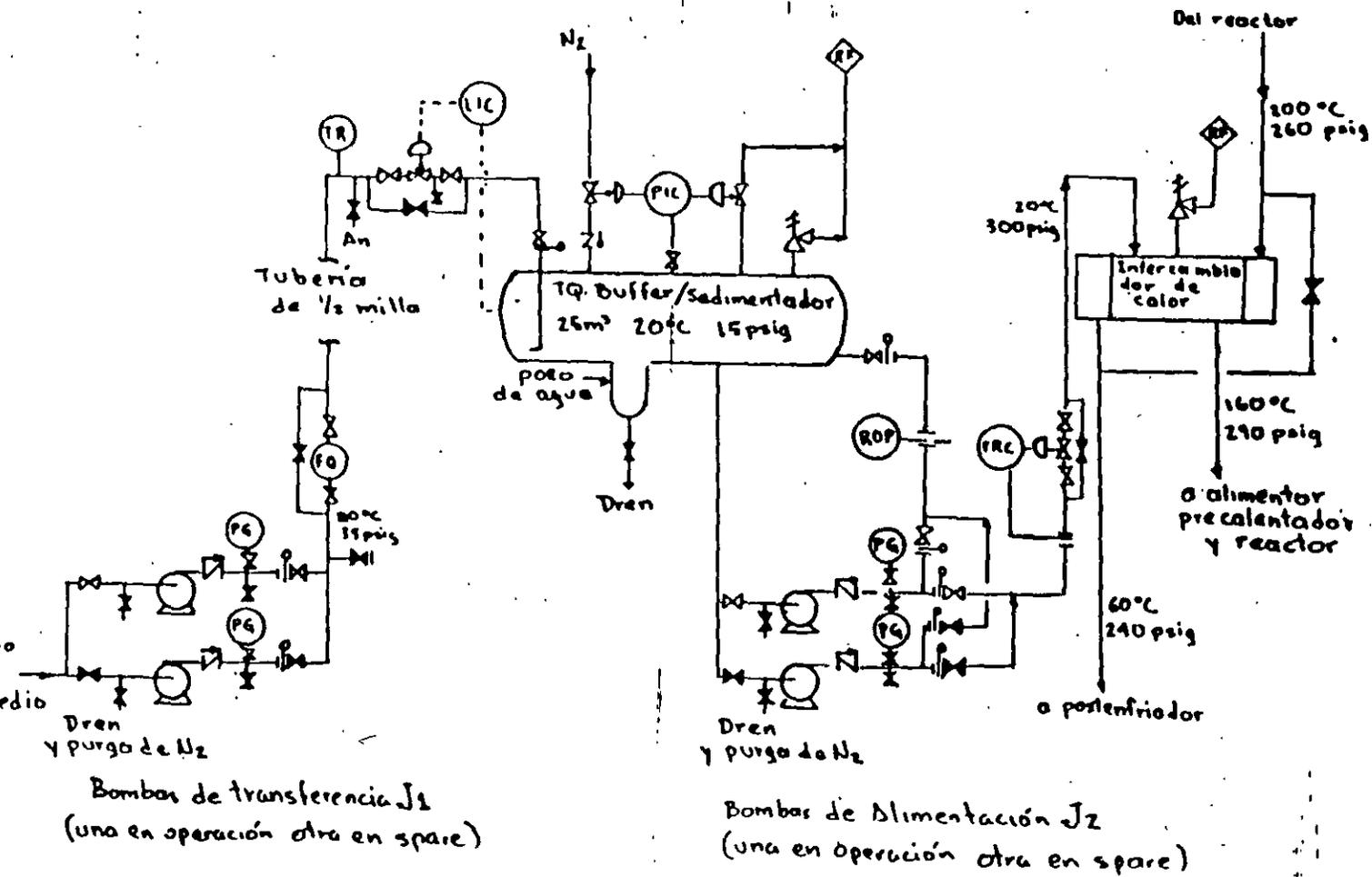
Considerar la sección de alimentación en una unidad de destilación de una olefina. Esta es la descripción:

"Una fracción alqueno/alcano conteniendo pequeñas cantidades de agua suspendida, es bombeada continuamente de un tanque intermedio a través de una tubería de media milla a un tanque de sedimentación. El agua residual es extraída para pasar por un intercambiador de calor y precalentada antes de pasar a la sección de reacción. El agua que tiene un efecto adverso en la reacción de dimerización es extraída manualmente del tanque de sedimentación a intervalos. El tiempo de residencia en la columna debe ser mantenido entre ciertos límites para asegurar la versión adecuada del alqueno y evitar una formación excesiva de polímero".

Se analizará la línea de tanque intermedio al tanque buffer.

Intención. Transferir una fracción de alquenos/alcanos de una composición definida del tanque intermedio al tanque buffer/sedimentación a un cierto flujo y temperatura tal como se muestra en la figura.

# SECCION DE ALIMENTOS A UNA PLANTA DE DIMERIZACION



ESTUDIO DE RIESGO Y OPERABILIDAD PLANTA DE DIMERIZACION LINEA DE TANQUE INTERMEDIO AL TANQUE BUFFER/SEDIMENTACION

PALABRA CLAVE	DESVIACION	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIAS	ACCION REQUERIDA
No	No hay flujo	<p>(1) No existe hidrocarburo en el tanque intermedio.</p> <p>(2) La bomba J<sub>1</sub> falla.</p> <p>(3) Bloqueo de la línea, válvula(s) cerrada(s) o la LCV cierra.</p> <p>(4) Fractura de la línea.</p>	<p>Falta de alimentación a la sección de reacción y disminución de producto. Formación de polímero en el intercambiador.</p> <p>Igual que (1)</p> <p>Igual que (1) sobrecalentamiento de la bomba J<sub>1</sub></p> <p>Igual que (1) Descarga del hidrocarburo en una área adyacente a camino público.</p>	<p>(A) Asegurar una buena comunicación con el operador del tanque intermedio.</p> <p>(B) Instalar alarma a bajo nivel del tanque de sedimentación LIC.</p> <p>Cubierto por (B)</p> <p>Cubierto por (B)</p> <p>(C) Instalar sistema de recirculación en la bomba.</p> <p>(D) Checar el diseño del strainer (coladera, trampa) de la bomba.</p> <p>(E) Patrullar regularmente inspeccionar la línea.</p>
Más; Mayor	Flujo mayor	<p>(5) Válvula LCV abre (erróneamente) o Bypaseada.</p>	<p>Se sobrellena el tanque Buffer.</p>	<p>(F) Instalar alarma de alto nivel en el LIC, checar dimensiones de la válvula de alivio.</p> <p>(G) Cerrar el by pass del LIC en caso de no usarse, por medio de una brida.</p>

21

PALABRA CLAVE	DESVIACION	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIAS	ACCION REQUERIDA
			Separación incompleta del agua causando problemas posteriormente en la reacción.	(H) Extender la línea de succión de la bomba J <sub>2</sub> 12 pulgadas sobre la base del tanque.
	Mayor presión	(G) Válvula cerrada o LCV cerrada mientras funciona la bomba J <sub>1</sub> .	Línea de transferencia sujeta a la presión de descarga o de pulsación.	(J) Cubierto por (C) salvo cuando el sistema de recirculación se encuentre bloqueado o aislado, checar especificaciones de la línea rotámetro, coladera, reducir la velocidad de cierre de la LCV. Instalar manómetro después del LCV y en el tanque buffer.
Más, Mayor (Cont.)	Mayor temperatura	(7) Expansión térmica en una sección entre válvulas debido a fuego o calor solar.  (8) Alta temperatura en el tanque intermedio.	Fractura en la línea o en coladera.  Alta presión en la línea de transferencia y tanque buffer.	(K) Instalar en la sección valvulada un sistema de alivio. La ruta seguida por este sistema se decidirá posteriormente.  (L) Instalar señal de alta temperatura en el tanque intermedio (o alarma) en caso de que no exista.
Menos, Menor	Menor flujo	(9) Fugas	Pérdida de producto adyacente a camino público.	Cubierto por (E), (J) (B)
	Menor temperatura	(10) Condiciones de invierno.	Congelamiento del pozo de agua y de línea de drenaje.	(M) Trazar con línea de vapor.
A parte de,	Presencia de áci-	(11) Problemas de destila-	Aumenta la corrosión.	(N) Checar materiales de

22

PALABRA CLAVE	DESVIACION	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIAS	ACCION REQUERIDA
Parte de	Alta concentración de agua en la corriente.	(12) Alto nivel de agua en el tanque intermedio.	El pozo de agua se llena más rápidamente, por lo que la fase de agua podría pasar a la reacción.	(O) Adaptar forma de drenar seguidamente el tanque intermedio. Instalar alarma de alto nivel de interfase en el pozo.
	Alta concentración de alkanos-alkenos ligeros.	(13) Problemas de destilación antes del tanque intermedio.	Aumento en la presión del sistema.	(P) Verificar el diseño del tanque buffer y sus válvulas: tuberías, venteos, etc., soporten un aumento en presión.
Otros	Mantenimiento	(14) Falla de equipo.	La línea no puede ser purgada.	(Q) Instalar drenaje en punto bajo, vía N <sub>2</sub> . (Instalar venteo para N <sub>2</sub> en el buffer

## 1..6.2 Planta Bath (por lotes)

### Características

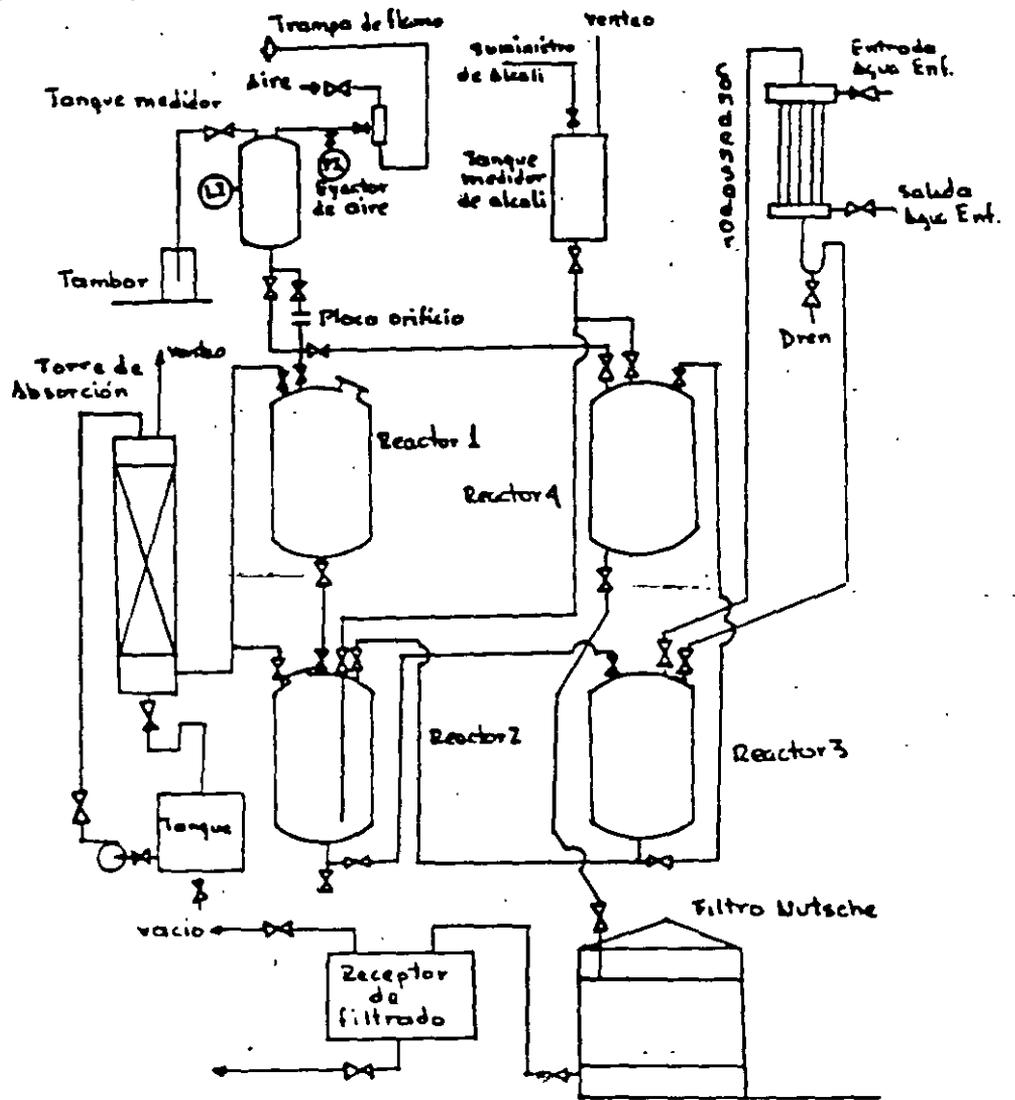
- El status de las distintas partes de la planta cambia en forma cíclica con el tiempo, por lo que un diagrama de flujo por sí solo da información incompleta.
- Existe un gran número de posibles interconexiones en equipos.
- Los operadores participan físicamente en el proceso.

Considerar la siguiente planta consistente en:

- 2 Tanques medidores
- 4 Reactores
- 1 Condensador
- 1 Torre de absorción con sistema de recirculación
- 1 Filtro nutsche con su receptor de filtración

SE REQUIERE DE LAS INSTRUCCIONES DE OPERACION Y ES DESEABLE  
CONTAR CON DIAGRAMAS DE GANT Y DE MOVIMIENTO DE OPERADORES.

# PLANTA BATCH SIMPLIFICADA



## CASO HIPOTETICO

### FORMATO DE INSTRUCCIONES DE OPERACION

NO	OPERACION	PRECAUCIONES	INICIAL
23	Cargar 100 L del material C del tambor al tanque general de medición usando el eyector de aire.	Vestir casco, guantes de PVC y apron.	
24	Transferir 100 L del material C del tanque general de medición al reactor 1 vía la placa de orificio.	Asegurarse que el flujo va únicamente por la placa de orificio.	

El líder del grupo debe decidir si el estudio se basará en el diagrama de flujo en la secuencia de operaciones. Puede ser deseable utilizar ambas, considerando el diagrama de GANT.

Supondremos se utilizará el formato de instrucciones de operación.

La instrucción 23 "cargar 100 L del material C del tambor al tanque general de medición usando el eyector de aire" es muy compleja para generar desviaciones. Se dividirá en la parte del eyector y de la transferencia del líquido. Los propósitos serían:

- Remover algo de aire del tanque general de medición.
- Cargar 100 L de material C al tanque general de medición.

## REMOVER ALGO DE AIRE DEL TANQUE GENERAL DE MEDICION

DESVIACIONES	CAUSAS	CONSECUENCIAS
NO se remueve aire	Falla en el suministro de aire. Falla en el eyector. Válvula cerrada.	Inconvenientes en No hay peligro.
MAS aire se remueve	Sobre diseño del eyector o funciona más tiempo.	Se evacúa totalmente el tanque. ¿Puede ser vacío total?
MENOS aire se remueve	Pobre diseño del eyector o funciona menos tiempo.	No se puede transferir del tambor. Inconvenientes, sin peligro.
APARTE DE remover aire	Succionar gotas de C u otros materiales de tambores o de los reactores.	Peligros de: fuga tóxica, corrosión. ¿da la trampa de flama? ¿El material será seguro al salir de la trampa de flama? ¿A dónde parar?
PARTE DEL aire se remueve	Remover O <sub>2</sub> o N <sub>2</sub> únicamente. No es posible.	
LO OPUESTO inverso flujo del aire	Si la línea del eyector de aire está bloqueada, el aire fluirá hacia el tanque de medición.	¿Sobrepresurización del tanque? ¿Aire soplando los tambores y derribando su contenido? Mete en los reactores.
EN VEZ DE remover aire	Operar el eyector cuando el tanque de medición está lleno.	Arrastrar el contenido por la línea hacia la trampa de flama. Múltiples peligros que en ADE.

## CARGAR 100 L DE MATERIAL C AL TANQUE GENERAL DE MEDICION

DESVIACION	CAUSAS	CONSECUENCIA
NO se carga C	No hay disponibilidad de C. Válvulas cerradas.	No hay peligro.
MAS carga de C	Cargas más de 100 L.	Si se sobrellena el que operando el eye peligros descritos tabla anterior. ¿Cómo puede ser rem en forma segura?
MENOS carga de C	Cargar una cantidad menor a 100 L.	No hay peligro.
A PARTE DE cargar C	Mezcla de C y otros componentes. Hacer lista de posibles mezclas.	Posibilidad de mezc peligrosas.
PARTE DE C se carga	Sin sentido. (No es una mezcla)	
LO OPUESTO, carga inversa de C	Flujo del tanque hacia el tambor.	Derrame de producto ¿Peligro?
EN VEZ DE cargar C	Confundir los tambores. Hacer lista de los otros productos en tambores.	Reacciones posibles corrosión, etc.

LA INSTRUCCION 24 SE EXPLICA COMO:

Transferir 100 L de material C del tanque general de medición al reactor 1 a un cierto flujo controlado.

DESVIACIONES	CAUSAS	CONSECUENCIAS
NO transferir C	Línea bloqueada. Válvula cerrada. Alta presión en el reactor 1.	Inconveniente. Sin peligro.
MAS cantidad de C se transfiere	Transferir más de 100 L.  Transferir a un mayor flujo bypaseando el orificio o siendo éste mal diseñado.	Exceso de C en R1. L de consecuencias químicas. Indicar si se sobrepasará R1 y hacia donde iría.  Considerar consecuencias de rapidez de reacción. ¿Peligro de estática?
MENOS cantidad de C se transfiere	Transferir menos de 100 L.  Acumulamiento de C en las líneas.  Parte de C permanece en el tanque de medición.	Consecuencias químicas.  ¿Peligro de presión?  ¿Cuál es el siguiente ducto en el tanque? ¿Consecuencias de mezcla?
A PARTE DE transferir C	Contaminación de C. Lista de posibles contaminantes. Mezcla con aire.	Determinar el efecto de los contaminantes y de aire en R1.
PARTE DE C se transfiere	Sin significado.	
LO OPUESTO, carga inversa de C	Flujo de material del R1 al tanque de medición es posible si R1 está lleno y a presión.	Estimar las consecuencias.

DESVIACIONES	CAUSAS	CONSECUENCIAS
EN VEZ DE transferir C	Transferir otro producto. ¿Qué podría ser?	Determinar
A QUE OTRO LUGAR	Transferir al R4.	Observar el diagrama GANT que existe en sus consecuencias.

### 1.6.3 Caso Estudio

#### Descripción

"Propano líquido es transferido por una línea de 10 millas una planta, donde es vaporizado y utilizado".

- Propano líquido es bombeado de un tanque atmosférico (-45°C, 20" W.G.) a un calentador (15°C) pasando así a línea de 10 millas hasta un tanque buffer (opera un control de nivel de entrada a 6.5 bar G). Este tanque permite almacenar producto.
- Las dos bombas centrífugas transfieren combinadas 50 l/h a 25.5 bar G. Son de operación manual. Para protección por bajo o nulo flujo se tiene un sistema de recirculación al tanque de almacén.
- El sistema es clase 300 (49 Bar G) y a esta presión es calibradas las válvulas de alivio.
- Calor es suministrado a la coraza del calentador por un flujo continuo de glicol (70°C, 4 Bar G) recirculado por bombas (4 operan, 1 spare). El glicol primero es calentado en un calentador/vapor baja presión (165°C, 3.5 Bar) operando con control de temperatura.
- La temperatura del propano a transferir se controla con una válvula de tres pasos que permite al glicol bypassar el calentador. Esto también se puede hacer manualmente. El condensado del calentador de glicol se colecta en un tanque de condensados que opera con control de nivel y se drena.
- Todo equipo y ductería antes de la línea de 10 millas aislado soportando -50°C. La línea de 10 millas (Sc 40 API SL, grado B) no está aislada y puede fracturarse a -15°C. Se tiene un control de temperatura (-5°C) que protege la línea de 10 millas. Se cuenta con alarmas de baja temperatura en el sistema de glicol y de propano. También se cuenta con alarmas de alto nivel de condensado y bajo nivel de glicol.
- Cuenta con alarmas de alto y bajo nivel en el tanque de condensados y con alarmas de extra bajo-alto nivel y de bajo nivel en el tanque de propano. A extra alto nivel, cierra automáticamente un switch.

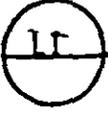
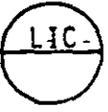
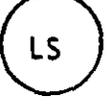
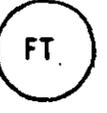
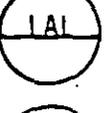
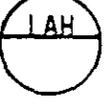
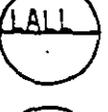
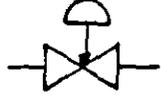
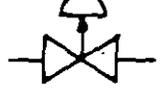
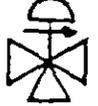
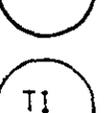
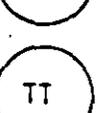
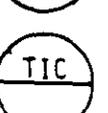
con válvulas de alivio (13 Bar G) y una válvula de venteo operada a remoto hacia el quemador en caso de emergencia.

### PROCEDIMIENTO

- Presurizar equipo y líneas a 6.5 Bar G con  $N_2$ . Establecer condiciones normales en el sistema de glicol. Se bombea el propano líquido hasta establecer el nivel normal en el buffer, desplazando en  $N_2$  vía el quemador (flama).
- Descargas de la línea pueden ser necesarias en ocasiones. Debido a las válvulas check, se debe desplazar el contenido con  $N_2$  hacia buffer.



# S I M B O L O G I A

	Level indicator (local)		Low-temperature alarm to control room
	Level indicator to control room		Temperature transmitter (local)
	Level transmitter		Extra-low-temperature trip
	Level controller, with level indicator in control room		Extra-low-temperature trip to control room
	Level switch		Flow transmitter
	Low-level alarm to control room		Flow controller, with flow indicator in control room
	High-level alarm to control room		Pneumatic connection
	Extra-low-level alarm to control room		Electric connection
	Extra-high-level trip switch		Valve, closes on loss of air pressure
	Extra-high-level trip alarm to control room		Valve, opens on loss of air pressure
	Low-pressure alarm to control room		3-way valve, indicating function on loss of instrument pressure
	Remote hand-control blowoff, with indicator in control room		Isolation valve, normally closed
	Temperature indicator (local)		Isolation valve, normally open
	Temperature transmitter		Non-return valve
	Temperature controller, with temperature indicator in control room		Relief valve

CASO ESTUDIO 1

DISTRIBUCION DE PROPANO LIQUIDO

PALABRA CLAVE	DESVIACION	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIAS	ACCION REQUERIDA
No, nada	No hay flujo	Pérdida de nivel en el tanque de almacén.	A. Sobrecalentamiento de las bombas por pérdida de succión llevando a fugas en el sello y posible fuego.	<p>1. Adoptar la conducta de operación de mantener siempre el tanque por lo menos 30% lleno.</p> <p>2. Duplicar instrumentación y que sean de distinto tipo. Recalibrar regularmente.</p>
			B. Baja el nivel en el buffer por lo que el sistema de bajo nivel opera, abre la solenoide y se flashea producto regresando al tanque de almacén el producto anterior a la válvula check, (ver flujo inverso, contrario A).	<p>3. Operar el tanque hasta a un nivel de 240 m<sup>3</sup> 3-4 horas de suministro perderse el suministro. Establecer procedimiento de emergencia.</p> <p>4. Checar que el tanque de almacén y su sistema de apoyo soporten los vapores flasheados en flujo inverso.</p>
		Falla de las bombas.	Igual que B.	5. Cubierto por 3, 4. Pon en cuarto de control luz a falla en las bombas.

25

PALABRA CLAVE	DESVIACION	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIAS	ACCION REQUERIDA
		Falla en el sello de las bombas	C. Igual que B. Puede formarse una nube flamable que fácilmente prendería fuego.	6. Bombas tipo "enlatadas" reduciendo el chance y rapidez de fugas. Incluir un sistema a remoto para aislar la línea de succión. Considerar la necesidad de un detector de gas combustible en el área.
		La nueva válvula de aislamiento (6) cierra en error.	Igual que (A) y (B)	7. La nueva válvula debe ser "normalmente abierta" por falla de energía.  Equipo a prueba de explosión y fuego.  8. Las bombas deben parar un bajo amperaje. Considerar una alarma de bajo flujo.
		La válvula de alivio junto a las bombas abre y no hay reset.	D. Igual que (B), pasa recirculándose todo el líquido al tanque de almacén. (Sólo si únicamente una bomba funciona).	9. Las válvulas de alivio de las bombas deben ser diseñadas para alivio por requerimiento término.
		La válvula de control de recirculación al tanque de almacén permanece cerrada por mal funcionamiento.	E. Aumenta presión en la línea. Sobrecalentamiento de la bomba. Posible fuego.	10. Como en (8).

3  
6

LABRA CLAVE	DESVIACION	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIAS	ACCION REQUERIDA
		El switch de baja temperatura cierra la válvula (o se cierra por error).	F. Igual que (B).	11. Igual que (3), dando importancia a la comunicación entre el sitio de almacenamiento y planta.
		Tubería rota en el calentador de propano.	F1. Sobrepresión de la coraza del calentador y del tanque del glicol.	11a. Cubierto al estudiar el sistema de glicol.
		Falla en la línea defectuosa, impacto, clima, corrosión.	G. Fuga de producto en área pública, con riesgo de ignición y pérdidas humanas.	12. Checar la ruta. Instalar barreras. Verificar regularmente espesores de tubería y patrullajes semanales.  13. Considerar la necesidad de agujeros para romper sifón en el tubo luego de adición del tanque buffer. ¿Se requiere alarma?
	Flujo inverso	Pérdida en la presión y falla en la válvula check.	H. Igual que (B), disminuyendo la temperatura en la línea. Posible fractura.	14. ¿Es suficiente una válvula check?  15. ¿Soportará el tanque de almacén y sus válvulas de alivio?

37

PALABRA CLAVE	DESVIACION	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIAS	ACCION REQUERIDA
Menos Menor	Menor flujo	La segunda bomba no está comisionada y se requiere.	M. Merma en la producción.	24. Comunicación. Verificar alarmas de bajo nivel funcional.
		Fugas.	N. Escape a la atmósfera. Posible causa de fuego.	25. Mínimo de juntas. Ver (6) y (12).
		Fuga en el calentador de propano.	O. Alta presión y temperatura subcero en el sistema de glicol.	26. Cubierto al analizar el sistema de glicol.
Menor presión	Menor presión	La válvula de alivio del buffer falla al reset. HIC abre por mal funcionamiento.	P. El propano líquido en la tubería se flashea hacia el tanque buffer, bajando la temperatura y pudiendo causar fracturas.	27. Considerar si HIC debe operar automático (normalmente cerrado) y a prueba de explosión.  28. Similar a (14).
			Q. El vaporizador en planta puede estar en riesgo por fractura al reducirse la presión en el buffer.	29. Cubrir posibles efectos en el sistema de vaporización al estudiarlo.
		El tanque buffer es evacuado (HIC) sin haberse aislado de la tubería.	R. Igual que (P), (Q).	30. Como en acción (14)  31. Indicar en instrucciones de operación la importancia de aislarse las líneas del buffer (¿Automatizarlo?)

38

PALABRA CLAVE	DESVIACION	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIAS	ACCION REQUERIDA
	Menor temperatura	Inadecuado calentamiento por falla (sistema glicol, fouling).	S. Probabilidad de fracturas.	32. (14).
Parte De	Cambio en la composición (contenido de azufre)	Alta cantidad de material con azufre recibido.	T. Serios problemas de corrosión en cámara de combustión del usuario.	33. Analizar el producto antes descargar/embarcar.
A Parte De	Contaminación. (Nitrógeno).	El nitrógeno utilizado para presurizar durante el arranque no es purgado.	U. Mayor presión en el tanque buffer a lo normal. N <sub>2</sub> presente en la alimentación al vaporizador.	34. Examinar efecto del N <sub>2</sub> .
En Vez De, Otros	Errores de arranque.	La presurización con N <sub>2</sub> no se lleva adecuadamente. El sistema de calentamiento de propano no es puesto correctamente.	V. Posible fractura si el LP entra a la línea debajo de -15°C, o cuando la presión de la línea es menor a 2 BARG.	35. Cubrir en las instrucciones y en el programa de entrenamiento, la importancia de estas etapas durante el arranque. Ver acción (14).

39

# DIPLOMADO EN RIESGO AMBIENTAL

# C

# a

# URSOS

# DISTANCIA

## Módulo III :

## Métodos y Análisis de Riesgo

## ( Cualitativo y Cuantitativo )

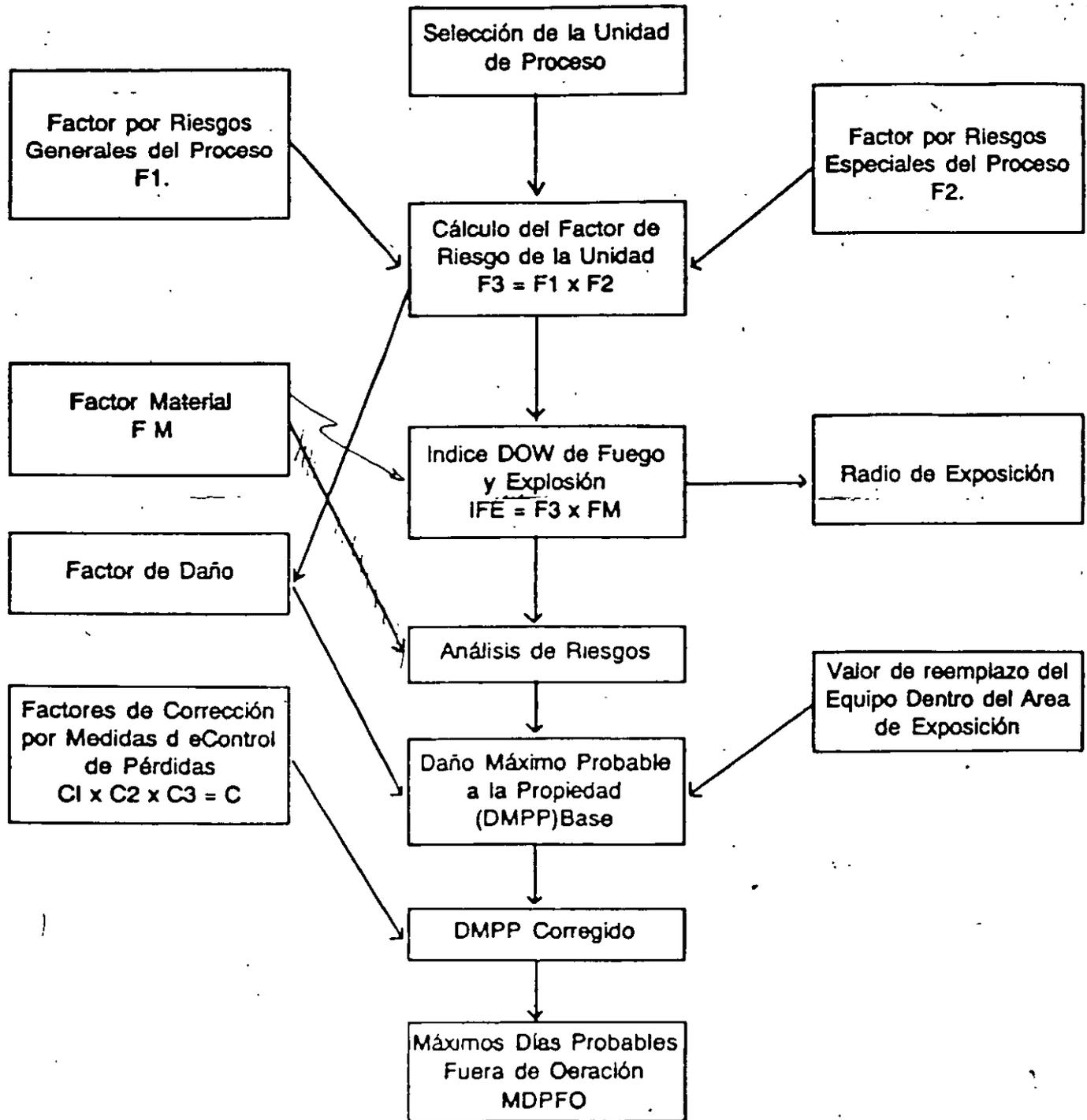
### Tema 6 :

### Índice Dow.



1.- Diagrama de Flujo

Figura No. 1



## 2.- Requerimientos para aplicar el Índice Dow.

- a) Plano de localización de la planta (Plot Plant) preciso.
- b) Conocimiento profundo del flujo y condiciones de proceso.
- c) Diagrama de flujo detallado.
- d) Formato de trabajo Índice Dow.
- e) Guía de cálculo Índice Dow.
- f) Calculadora y compás.
- g) Relación de costos del equipo instalado en la planta.
- h) Procedimientos de operación y seguridad de la unidad.

MATERIA  
- MAT PRIMA  
- PROD.  
- SUBPROD

CANTIDAD

## 3.- Secuencia de cálculo

Se inicia identificando, en el plano de localización, aquellas unidades o secciones de proceso que se consideren como las de mayor impacto o que contribuyan más al riesgo de fuego o explosión.

Se determina el factor material para cada unidad o se sección. Se evalúa la contribución de cada factor de riesgo para determinar el factor de riesgo de la unidad y el factor de daño, que representa el grado de exposición a pérdidas.

Se calcula el Índice Dow de fuego y explosión (IFE) y el área de exposición alrededor de la unidad o sección analizada.

Se determina el valor en US Dls. del equipo dentro del área de exposición, con lo que se calcula el Daño máximo probable a la propiedad Base al cual se corrige por los factores por medidas de control de pérdidas obteniendo el Daño Máximo Probable a la Propiedad Actual o corregido, (eso también se logra relocalizando el equipo fuera del área de exposición.)

Con el Daño Máximo Probable a la Propiedad Actual, se determinan los Días Máximos Probables Fuera de Operación. El DMPP actual representa la pérdida probable que pueda ocurrir si se presenta un incidente de magnitud razonable y operan varias protecciones, la falla de algún equipo de protección puede regresar el DMPP a su valor base.

Cada paso citado se explica en esta guía de cálculo de Índice Dow; se incluye una lista de áreas importantes de control de pérdidas en una Planta.

## II. UNIDADES DE PROCESO

Para el estudio DOW, es necesario dividir el proceso en unidades o secciones, como puede ser; unidad de alimentación, almacenamiento, precalentamiento, reacción absorción, purificación, mezclado, destilación, etc. o considerar equipos específicos como bombas, tanques, reactor, evaporador, columna de destilación, etc.

El Índice Dow debe aplicarse en aquellas Unidades de proceso donde exista un gran impacto en el riesgo de incendio o explosión de acuerdo al material existente, reacciones o proceso peligroso.

El objetivo del grupo ARUP, será encontrar el área más grande de exposición en la Planta, y determinar los costos y días perdidos máximos que se podrían originar, así como las medidas necesarias para prevenir los riesgos que se encuentren.

## III. FACTOR MATERIAL (FM)

El FM es una medida de la intensidad de energía liberada por un compuesto químico, mezcla o sustancia; y es el punto de partida para el cálculo del Índice de Fuego y/o Explosión.

El FM se determina considerando los riesgos de inflamabilidad y reactividad del material, y es un numero entre 1 y 40, los cuales se reportan en el Apéndice A para algunos materiales, para determinar el factor material de materiales no listados en dicha apéndice, se procede de la siguiente manera:

**1. Gases, Líquidos o Sólidos:**

a) Use el NFPA 49 y 325 M y encuentre Nf (riesgo de inflamabilidad) y Nr (riesgo de reactividad).

b) Use las propiedades termodinámicas del material.

Inflamabilidad (Nf): se deriva del punto de flama (Flash Point) y del punto de ebullición cuando el punto de flama es menor a 100°F.

Reactividad (Nr): se deriva de los cálculos de reactividad química por cualquiera de los siguientes métodos:

- Usando la temperatura adiabática de descomposición (Td), que es la temperatura teórica alcanzada por el proceso de descomposición del material inicialmente a 25°C, sin considerar la presencia de trazas de impurezas, efectos catalíticos, atmosféricos, etc.
- Utilizando un calorímetro con rango de aceleración, o similar, para materiales con Td > 1000°K,

**2. Polvos:**

El FM se basa en la máxima velocidad de incremento de presión que alcanza, definida como la velocidad de aumento de presión de explosión para intervalo de tiempo de ese aumento.

**3. Mezcla de compuestos:**

El FM se obtiene de los datos de la mezcla (Punto de Flama, Td, etc.): otra manera es considerando el FM promedio de acuerdo al % en peso de los componentes, si los componentes no reaccionan entre si.

*Datos  
de  
la  
mezcla*

**TABLA 1 GUIA PARA DETERMINAR FM**

	Td K 2	< 830	830 a 935	935 a 1010	1010 a 1080	> 1080
	DTA/DSC	> 400	305 a 400	215 a 305	125 a 215	< 125
	NFPA 325	Nr = 0	Nr = 1	Nr = 2	Nr = 3	Nr = 4
No combustible.	Nf = 0	1	14	24	29	40
PF > 140°F	Nf = 1	4	14	24	29	40
140°F < PE < 100°F	Nf = 2	10	14	24	29	40
PF < 100 F PE > 100°F	Nf = 3	18	18	24	29	40
PF < 100 F PE < 100°F	Nf = 4	21	21	24	29	40
<b>POLVOS O NIEBLAS COMBUSTIBLES</b>						
ST 1 < 7300 psi/seg		18	18	24	29	40
ST 2 > 7300 < 22000 psi/seg		21	21	24	29	40
ST 3 > 22000 psi/seg		24	24	24	29	40
<b>SOLIDOS COMBUSTIBLES</b>						
Denso > 40 mm grueso 3		4	14	24	29	40
Abierto < 40 mm grueso 4		10	14	24	29	40
Celda de espuma cerrada 5		18				
Celda de espuma abierta		21				

- 1 No enciende en aire cuando se expone a 1500 F durante 5 minutos
- 2 Suma 100 a Td para peróxidos
- 3 Incluye madera, magnesio en lingotes o estacas solidos
- 4 Incluye materiales como pellets plásticos, almacenamientos, rollos de papel
- 5 Incluye materiales de hule, como llantas, botas etc.

#### IV Riesgos Generales del Proceso

Los puntos contenidos en esta sección incrementan la magnitud de un probable incidente, por lo que deben ser revisados en relación a la unidad de proceso analizada y evaluar los factores adecuados.

##### A. REACCIONES EXOTERMICAS

1. El siguiente tipo de reacciones tienen un factor de 0.30: Hidrogenación, Hidrólisis, Isomerización, Sulfonación, Neutralización.

La Hidrólisis con Epíclorohidrina tiene un factor de 0.50.

2. Las reacciones de Alquilación, Esterificación, Oxidación, Polimerización y Condensación, tienen un factor de 0.50.

La Oxidación con oxidantes fuertes como cloratos,  $\text{HNO}_3$ , Ácidos Hipoclorosos, tienen un factor de 1.00.

3. La reacción de Halógenos tiene un factor de 1.00.

4. La reacción de Nitración tiene un factor de 1.25.

##### B. REACCIONES ENDOTERMICAS

Todas las reacciones endotérmicas tienen un factor de 0.20, excepto aquellas cuya fuente de calor, para sostener la reacción, sea proporcionada por combustión directa de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos, las cuales tienen un factor de 0.40.

##### C. MANEJO Y TRANSFERENCIA DE MATERIALES

Se consideran actividades relativas a mezclado, carga y descarga, almacenaje y empaquetado.

1. En la carga y descargas de líquidos inflamables Clase I ( $\text{PF} < 100^\circ\text{F}$ ) o gas LP considerando actividad de conexión y desconexión de líneas de transferencia desde pipas, carros-tanques, barcos o tanques, se aplica un factor de 0.50.

2. El uso de centrifugas, reacciones batch, o mezclado en batch en recipientes semi-abiertos, tiene un factor de 0.50.

3. Bodegas y Patios de almacenamiento.

a) Líquidos inflamables Clase I o Gas LP o gases inflamables, factores de 0.85.

b) Sólidos combustibles abiertos o de capa abierta (espesor  $< 40\text{mm}$ ), factor de 0.65.

c) Sólidos combustibles densos o de celda cerrada (espesor  $> 40\text{mm}$ ), factor de 0.40.

d) Líquidos combustibles Clase II, factor de 0.25.

Los factores se aplican de acuerdo a la cantidad presente.

##### D. UNIDADES DE PROCESO CERRADAS

1. Si existen colectores o filtros para polvos explosivos, factores de 0.50.

2. Si contiene líquidos inflamables calentados arriba del punto de flama pero abajo del punto de ebullición, factor de 0.30.

3. Líquidos inflamables o Gas LP calentados arriba del punto de ebullición, factor de 0.60.

4. Mas de 10 M lb de material de los puntos 2 o 3, el factor se multiplica por 1.5.

#### E. ACCESO CON EQUIPO DE EMERGENCIA AL AREA DE PROCESO

Se debe poder llegar a la unidad de proceso con equipo de emergencia y combate de incendios por al menos 2 caminos distintos. Si el acceso es inadecuado, el factor sera de 0.35.

#### F. DRENAJE

Un drenaje inadecuado incrementa las pérdidas por fuego cuando se produce un derrame de inflamables, para la evaluación de este punto se sume que el 75% del líquido inflamable contenido en la unidad se derrama, si queda líquido rodeando la unidad se aplica un factor de 0.50, si el drenaje es directo o un contenedor, se aplica un factor de 0.25.

#### V. Riesgos Especiales del Proceso

##### A. TEMPERATURA DE PROCESO

1. Si la temperatura del proceso o de las condiciones de manejo es o esta sobre el punto de flama del material, se usa un factor de 0.30.

2. Si la temperatura del proceso o de las condiciones de manejo es o esta sobre el punto de ebullición el factor de 0.60

3. Para materiales con baja temperatura de autoinducción o pirofóricos, como el CS<sub>2</sub> o el Hexano, se usa un factor de 0.75.

##### B. BAJA PRESION (SUB-ATMOSFERICA)

Se aplica a cualquier proceso donde la entrada de aire al sistema pueda ser un riesgo. El factor aplicable a cualquier Equipo de proceso que opere a presión sub-atmosferica, aun momentáneamente, es de 0.50.

##### C. OPERACION EN O CERCA DEL RANGO INFLAMABLE

1. Tanques de almacenamiento de líquidos inflamables Clase I donde pueda entrar aire durante el bombeo, factor 0.50.

2. Procesos u operaciones donde se pueda caer en el rango inflamable o cerca de el, solo en caso de fallas de instrumentos o falla de purga, factor de 0.30.

3. Procesos u operaciones donde se opere cerca o en el rango inflamable sea porque no se pueda purgar, por el proceso en si, o por diseño, tiene un factor de 0.80.

4. La descarga de pipas o carros tanques que involucren un relleno, factor de 0.40.

## D. POLVOS EXPLOSIVOS

Tamaño de partículas ( )	Mesh de Malla Tyler	Factor
mas de 175	60 a 80	0.25
150 a 175	80 a 100	0.50
100 a 150	100 a 150	0.75
75 a 100	150 a 200	1.25
menos de 75	más de 200	2.00

Si se transporta o maneja con gas inerte, el factor sera la mitad del señalado.

## E. PRESION

Esta sección se refiere a las unidades de proceso que operan a alta presión y que tienen dispositivos de alivio, tales como discos de ruptura, válvulas de alivio, etc.

La Figura No. 2 indica el valor del Factor en función de la presión de calibración del dispositivo de alivio. El factor se modificara de acuerdo a los siguientes puntos:

1. Si se manejan materiales altamente viscosos, se multiplica por 0.70.
2. Si son gases comprimidos, se multiplica por 1.20.
3. Si son gases licuados inflamables o materiales con presión vapor de 40 psig o mas, se multiplica por 1.3.

Esta sección no se aplica a procesos de extrusión o moldeado.

## F. BAJA TEMPERATURA

Esta sección estima los posibles daños que ocurren en el área al carbón en o bajo de su temperatura de transición, sin considerar si el equipo no opera a temperaturas abajo de la transición con el que esta construido.

1. Para equipos de acero al carbón operando entre 10 y -29 c (50 y -20°f), factor de 0.30
2. Si el acero al carbón se usa abajo de -29 c (20°f), factor de 0.50
3. Para otros materiales en o bajo de su temperatura de transición, factor de 0.20

## G. CANTIDAD DE MATERIAL INFLAMABLE

1. Líquidos inflamables o combustibles, gases licuados o gases varias etapas de proceso, se obtienen los BTUx10 a la 9 totales, multiplicando las libras del material por Hc; con este dato en la figura No. 3 se determina el valor del factor.

Los líquidos combustibles con punto de flama arriba de 140°f, solo se consideran si la temperatura del proceso es mayor al punto de flama del material.

En los materiales inestables se determina el valor del factor utilizando 6 veces el valor del calor de descomposición en BTU/lb ( $H_b = (T_d - 300) \times 0.70$ ).

2. Líquidos o gases en almacenamiento; En este punto se analiza el riesgo que representan los líquidos inflamables o combustibles, los gases licuados o gases en almacenamiento, aplicándose el proceso en tambores, tanques y en tanques portátiles.

El factor se basa en los BTU totales de un solo recipiente de almacenamiento, excepto en el caso de tambores donde se utiliza la cantidad total almacenada en tabores.

Los materiales inestables se evalúan en función del calor de descomposición.

El factor se evalúa por medio de la figura 4 en la curva que corresponda.

Cuando hay mas de un recipiente en un área de tanques con un dique común, y no hay drenaje hacia un contenedor seguro, se evalúan los BTU de todos tanques para obtener el factor.

3. Sólidos combustibles en almacenamiento. El factor se evalúa considerando las libras totales de sólidos combustibles almacenados en un área aislada de otras, utilizando la Figura No.5, de acuerdo a la densidad del material.

## H. CORROSION Y EROSION

Esta sección considera tanto corrosión externa como interna.

1. Velocidad de corrosión menor a 0.5 mm/año, factor de 0.10
2. Velocidad de corrosión de 0.5 mm/año a menos de 1.0 mm/año, factor de 0.20.
3. Velocidad de corrosión mayor a 1.0 mm/año, factor de 0.50
4. Riesgo de que la corrosión desarrolle esfuerzos de ruptura, factor de 0.75.

## I. FUGAS JUNTAS Y EMPAQUES

1. Bomba y prensaestopas sellados de manera que solo puedan dar fuga menores, factor de 0.10.
2. Si se sabe que se tendrán problemas regulares de fugas en bombas, compresores y juntas, factor de 0.30.
3. Si la naturaleza del fluido puede causar problemas continuos en los sellos, el factor es de 0.40.
4. Juntas de expansión, tubos o juntas flexibles y minillas de vidrio, tienen un factor de 1.50.

## J. EQUIPO CALENTADO CON FUEGO DIRECTO

La localización de los equipos calentados con fuego directo (Hornos, Calderas, etc.) en una unidad de proceso, aumenta la exposición a un incendio o explosión cuando hay alivio de vapores inflamables. Si el líquido inflamable se derrama, para formar una mezcla vapor-aire inicial de algún grado de peligrosidad. La cantidad de fuga, las probabilidades de ignición, la cual aumenta si el líquido que fuga esta calentado arriba de su punto de fuga, determina la probabilidad de ignición, la cual aumenta si el líquido que fuga esta calentado arriba a su punto de ebullición, la fuente de fuga al equipo.

Los equipos operados con quemadores de presión, aplican solo la mitad del vapor del factor.

## K. INTERCAMBIO DE CALOR CON ACEITE

Los sistemas que utilizan aceites combustibles como medio de intercambio de calor, presentan una exposición adicional al fuego cuando opera arriba de su punto de flama. El vapor del factor depende de la cantidad utilizada y de la temperatura de operación sin considerar las partes del sistema usadas como almacenamiento o que no tienen alimentación automática, excepto si es la unidad estudiada.

**TABLA 3**

Cantidad de aceite (gal)	T sobre punto de flama	T sobre punto de ebullición
< 5 M	0.15	0.25
5M a 10 M	0.30	0.45
10 M a 25 M	0.50	0.75
> 25 M	0.75	1.15

**L EQUIPO ROTATORIO-BOMBAS**

La evidencia estadística indica que los equipos rotatorios, como bombas y compresores, amba de cierto tamaño contribuyen a producir incidentes de perdidas, por lo que las unidades de proceso que utilicen bombas mayores a 75 hp o compresores desde 600 hp tienen un factor de 0.50.

**VI. Determinación del Factor de Riesgo de la Unidad, (F3)**

El factor de riesgo de la unidad es el producto del factor de riesgos generales del proceso (F1) y el factor de riesgos especiales del proceso (F2), siendo cada uno la suma de los factores considerados mas de 1.00 que es la base del factor. El factor de riesgo de la unidad (F3), es la medida de la magnitud del daño probable relativo a la exposición a la combinación de los factores utilizados en el análisis y es un valor de 1 a 8.

El factor de daño es la magnitud de daño probable y esta en función del factor de riesgo de exposición y se calcula multiplicando el factor material como se muestra en la Figura No. 7.

**VII. Detreminación- del Índice DOW de fuego y Explosión (IFE)**

El IFE es la probabilidad de daño de un fuego o explosión al área determinada por el radio de exposición y se la multiplicando el factor material por el factor de riesgo de la unidad.

Aunque un fuego o una explosión no afectan un área perfectamente circular, por lo que no producen el mismo daño en todas direcciones, por depender de la dirección y velocidad del viento, posición del equipo, drenajes, etc., para poder calcular el área de exposición se considerará circular, como la necesaria para retener un derrame de liquido inflamable de 8 cm de profundidad, y los radios de sobrepresion de varias mezclas vapor-aire, Estos 2 tipos de exposición se han relacionado con el IFE para determinar el radio de exposición como se muestra en la Figura No. 8.

**TABLA 4 CLASIFICACION DE RIESGO**

IFE	TIPO DE RIESGO
1-60	Ligero
61-96	Moderado
97-127	Intermedio
128-158	Grave
más de 158	Severo

**VIII. Determinación del daño Máximo probable a la propiedad Base (DMPP)**

El DMPP base, se obtiene del valor de reemplazo del equipo del área de exposición.

Valor de Reposición = Costo original x 0.82 x Factor de Escalacion  
(\$Us Dlls Cy)

0.82 es la corrección estadística por partes no sujetas a reemplazo, tales como, materias primas y materiales considerando el 80% de capacidad para tanques de almacenamiento, 70% de capacidad para bodegas y la capacidad de diseño de los recipientes y líneas de proceso.

La suma de estos costos del valor de reposición multiplicada por el factor de daño nos da el DMPP base.

**IX. Factores de Corrección por medidas de Control de Perdidas**

En el diseño y operación de plantas y edificios, se incluyen factores básicos de seguridad que contribuyen a minimizar la exposición de un área donde pueda ocurrir un riesgo a reducir la probabilidad y magnitud del riesgo. Estos factores se utilizan para reducir el DMPP base a un valor actual y se han dividido en 3 grupos: C - referente a control de proceso, C2- aislamiento del material y C3 - protección contra incendios. Cada grupo contiene una serie de elementos afines, que al evaluarlos y multiplicarlos entre si, se obtiene el factor de cada grupo (C1 - C2 y C3); el producto de los factores de grupo nos da el factor de corrección global (C1 x C2 x C3 = C) y al referirse a la Figura No. 9, obtenemos el factor de corrección actual o definitivo. El producto del factor de corrección actual por el DMPP base nos da el DMPP actual. En el apéndice B se listan algunas medidas y dispositivos importantes de Control de perdidas y daños.

**C1. Control de Proceso.**

1. Energía de Emergencia para los servicios esenciales, factor 0.97.
2. Sistema de Enfriamiento capaz de mantener un enfriamiento normal durante 10 min. en una condición anormal, el factor es de 0.98; si es capaz de dar el 50% de los requerimientos en esos 10 min. el factor es de 0.95.
3. Control de Explosiones: si hay sistema de su presión de explosión instalados en los equipos de proceso, el factor es de 0.75; si hay dispositivos de alivio de presión o de venteo de explosiones el factor es de 0.95.

4. Paro de Emergencia: si el sistema de reduante, activado por 2 o 3 condiciones anormales, el factor es 0.98, si los equipos críticos rotatorios (turbinas, compresores, etc.) tienen detector de vibraciones y solo alarma es de 0.98, si inicia el paro el factor es de 0.94.

5. Control por Computadora: si la computadora es solo una ayuda para los operadores y no controla las operaciones claves directamente o si la Planta se opera frecuentemente sin la computadora, aplique un factor de 0.98, si la computadora controla con falla segura lógica y con control directo use 0.95, si se utiliza alguna de las siguientes opciones, aplique un factor de 0.89.

- a) Entrada a campos críticos redundantes.
- b) Capacidad de abortar a salidas críticas.
- c) Capacidad de registros de los sistemas de control.

6. Gas Inerte: Si los equipos que contienen vapores inflamables están blanqueados con gas inerte, el factor es de 0.94; si la capacidad de gas inerte es tal que permita purgar toda la unidad, el factor es 0.90.

7. Instrucciones de Operación: sume los valores de los procedimientos e instrucciones siguientes que la unidad cubra y aplique la relación  $1.0 - x/100$ , para el total, el factor es 0.86.

- a) Arranque, 0.50
- b) Rutina de paro, 0.50
- c) Operación normal, 0.50
- d) Cambio de condiciones de operación, 0.50
- e) Condiciones de espera de corrida o total recirculación, 0.5
- f) Condiciones sobre la capacidad de operación 1.00
- g) Arranque después de paro por mantenimiento, 1.00
- h) Procedimientos de mantenimiento, permisos, entrega, candado, 1.50
- i) Paro de emergencia, 1.5
- k) Modificaciones o adiciones a equipo y tubería, 2.00
- l) Revisión de situaciones anormales de falla, 3.00

8. Análisis de Reactivos Químicos: si existe programa continuo como parte de la operación, aplique un factor de 0.85; si el análisis es ocasional, aplique 0.96.

## C2 - Aislamiento del Material

1. Válvulas de Control de Remoto: si aíslan secciones de transferencia, tanques de almacenamiento o de proceso, el factor es 0.94

2. Descarga a Verdaderos: si se cuenta con un vertedero de emergencia donde se reciban los desechos de una fuga de proceso, aplique un factor de 0.96, si el vertedero esta en un área exterior al proceso, use 0.94, si los vapores van a un flare o a un receptor, el factor es de 0.94.

3. Drenaje: si el drenaje tiene una pendiente mínima de 2% y la trinchera es capaz de manejar mínimo el 75% del contenido de proceso, aplique 0.85, si cuenta con un vertedero para grandes fugas, pero puede manejar hasta el 30% de contenidos, el factor es de 0.95. El área de tanques en dique no tiene factor por seguridad, a menos que dentro del dique exista una pendiente que lleve los derrames a un vertedero localizado a mínimo un diámetro de tanque de distancia, el factor es de 0.95.

4. Interlock: el factor es de 0.96 si el proceso cuenta con un sistema de interlock que prevenga flujo de material incorrecto o reacciones no deseadas.

**C3 - Protección contra incendio.**

1. Detección de Fugas: si se cuenta con detectores de vapores que alarmen e identifiquen la zona de fuga, aplique 0.97, cuando alarme al 25% del límite inferior de explosividad y actúe de protección al 75%, el factor es 0.90.

2. Acero Estructural: si está recubierta a una altura de 3m. aplique 0.97; si está recubierta de 3 a 6 m. use 0.95, si el recubrimiento esta a mas de 6m use un factor de 0.92.

3. Tanques Recubiertos: si el tanque tiene doble envolvente donde el segundo cuerpo pueda contener la carga total, factor de 0.85, si el tanque es recubierto bajo o sobre tierra con un contenedor o pared de retención con una línea de retorno, el factor es de 0.75.

4. Suministro de Agua: si la presión en el punto de descarga es de 100 psi o mas, el factor es de 0.90, si es menor a 100 psi, aplique 0.95.

5. Sistemas Especiales: si la unidad cuenta con sistemas de CO<sub>2</sub>, polvo químico seco, detectores de humo, temperatura o ionización el factor es de 0.85.

6. Sistemas de Rociadores: factor de 0.90, para sistema diluvio, los sistemas seco y húmedo tienen un factor de acuerdo a la densidad de diseño y corregido por el área a proteger.

**TABLA 5**

DENSIDAD gpm/ft <sup>2</sup>	FACTOR
<0.20	0.80
0.21 a 0.34	0.70
>0.35	0.60

**TABLA 6**

CORRECCION DEL FACTOR POR AREA PROTEGIDA	
AREA (ft <sup>2</sup> )	FACTOR POR
>10 000	1.10
>20 000	1.15
>30 000	1.20

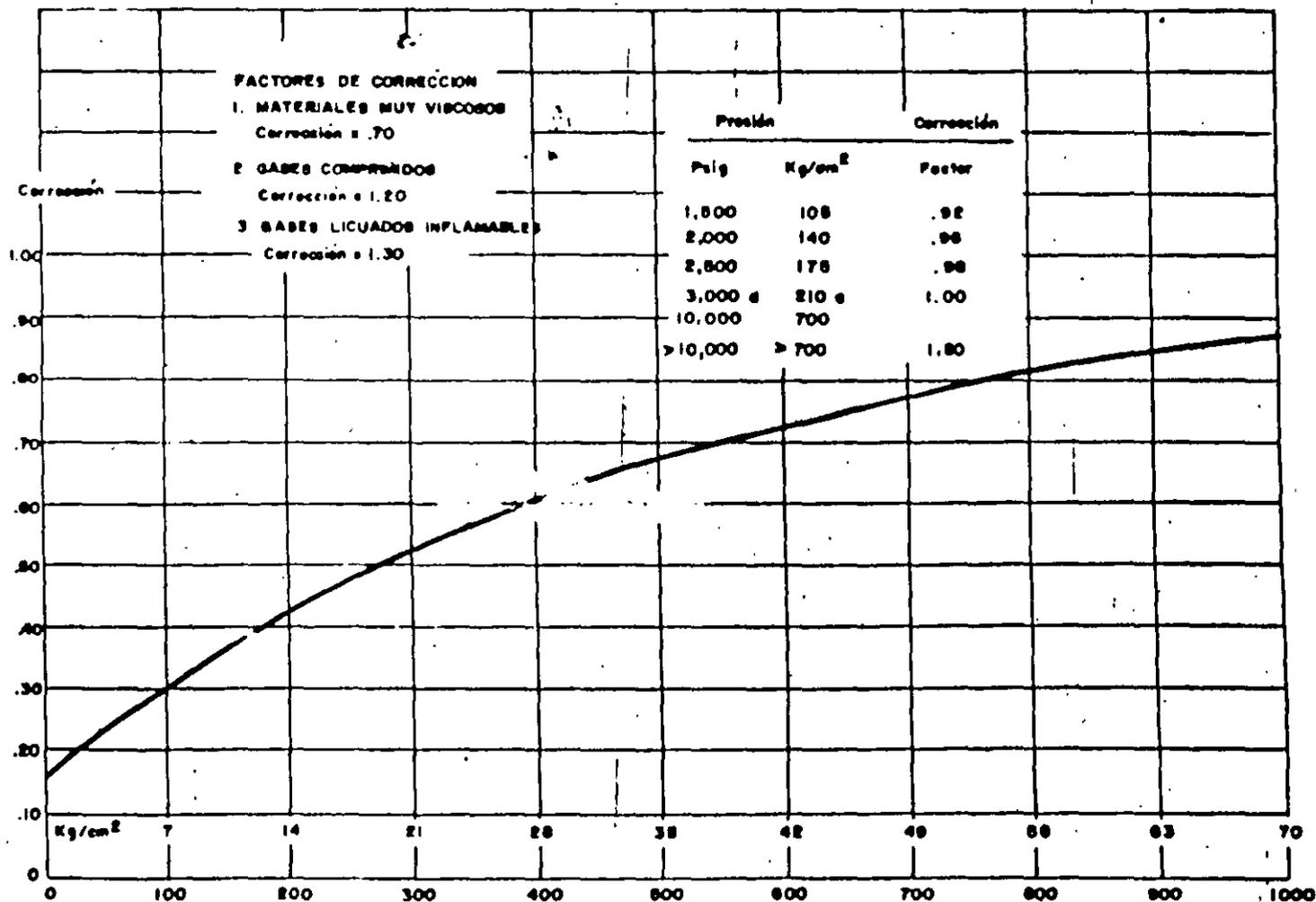
7. Cortinas de Agua: si utilizan cortinas de agua entre la fuente de vapores y la fuente de ignición a menos de 25 m de la fuente de vapores compuesta de una sola hilera de boquillas, elevadas a máximo 5 m aplique un factor de 0.97, si se cuenta con una segunda hilera a máximo 2 m de la primera use un factor de 0.95.

8. Espuma: si se puede inyectar solución espumante al sistema diluvio desde una estación remota manual, el factor es de 0.90, si el sistema de espuma es automático utiliza 0.87, si hay estaciones de espuma en los tanques de techo flotante, el factor es 0.95, si se utilizan dispositivos para la detección del inicio de un fuego use 0.90, si se utilizan como cámaras de espuma o sistemas superficiales en tanques de techo cónico, el factor es 0.98, si se cuenta con estaciones de espuma exteriores a los envolventes de tanques de inflamables, el factor es 0.95, si se utilizan monitores o mangueras para aplicar la espuma, el factor es de 0.95.

9. Extintores Portátiles: canones monitores: si se utilizan con la cantidad suficiente de extintores, se aplica 0.97, si además se cuenta con canones monitores se utiliza 0.95, si el canon monitor se puede operar a control remoto, se aplica factor de 0.92.

Fig-2

**- PRESION-CALIBRACION PARA VALVULAS DE ALIVIO PARA LIQUIDOS INFLAMABLES Y COMBUSTIBLE**



Presión de Calibración de la Válvula de Alivio (PSIG)

FIG. 4 — LIQUIDOS O GASES ALMACENADOS

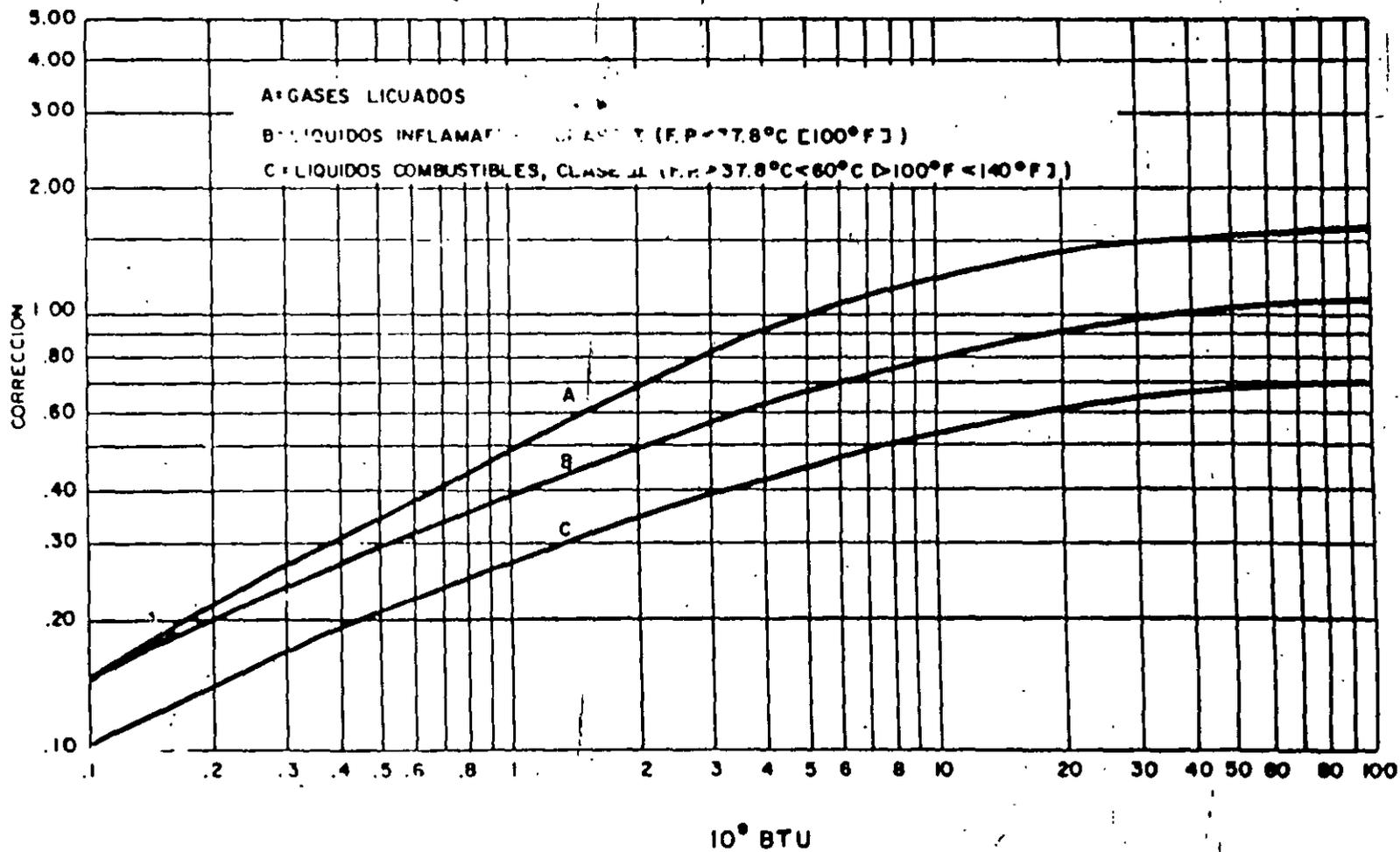


FIG. 5 - SOLIDOS COMBUSTIBLES ALMACENADOS

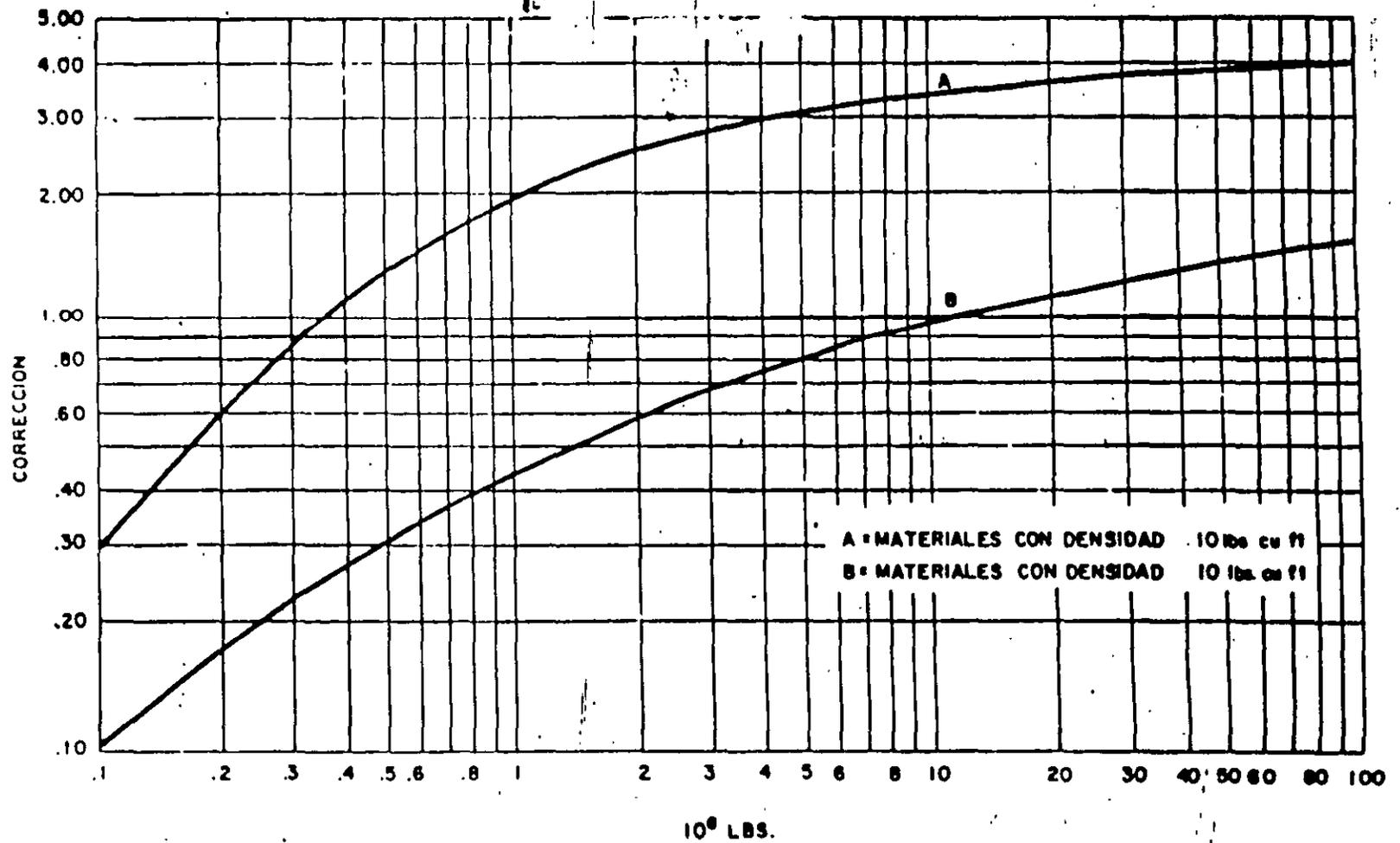


FIG. 6 - FACTOR DE CORRECCION POR EQUIPO VS. INCENDIO (INSTALADO AREA DE PROCESO)

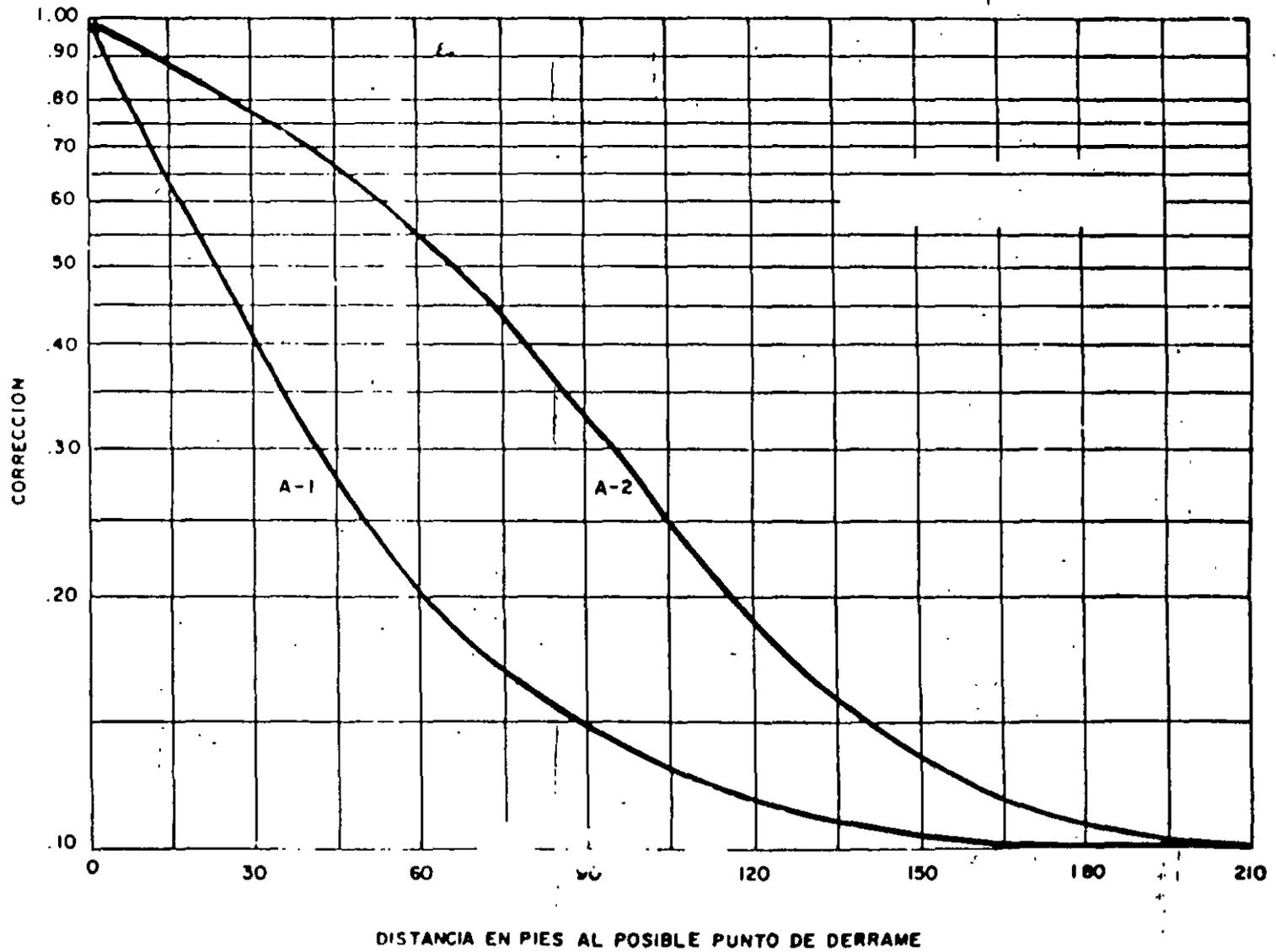


FIGURA 7 — RIESGO DE LA UNIDAD ( $F_3$ )

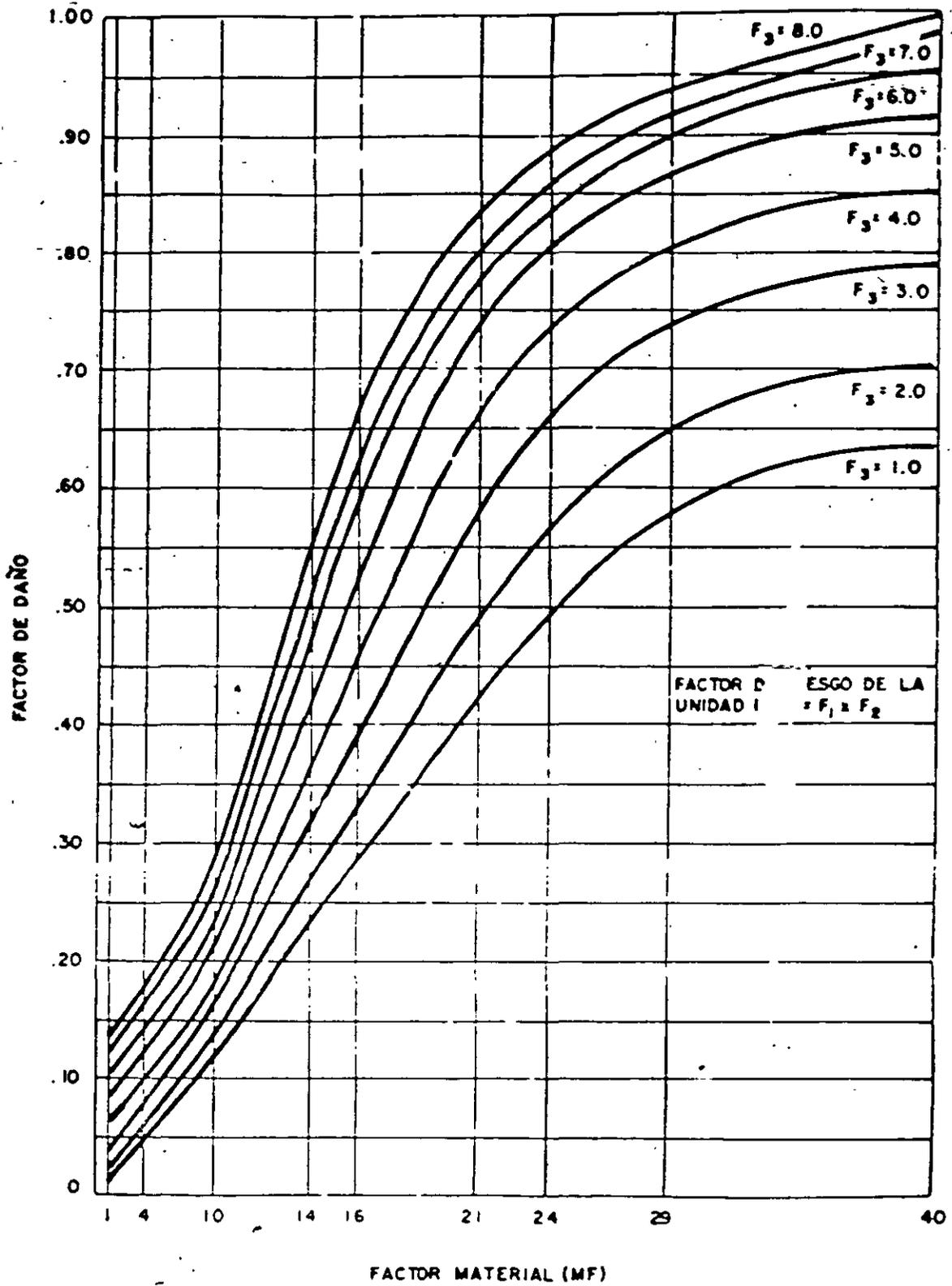


FIGURA 6 - AREA DE EXPOSICION

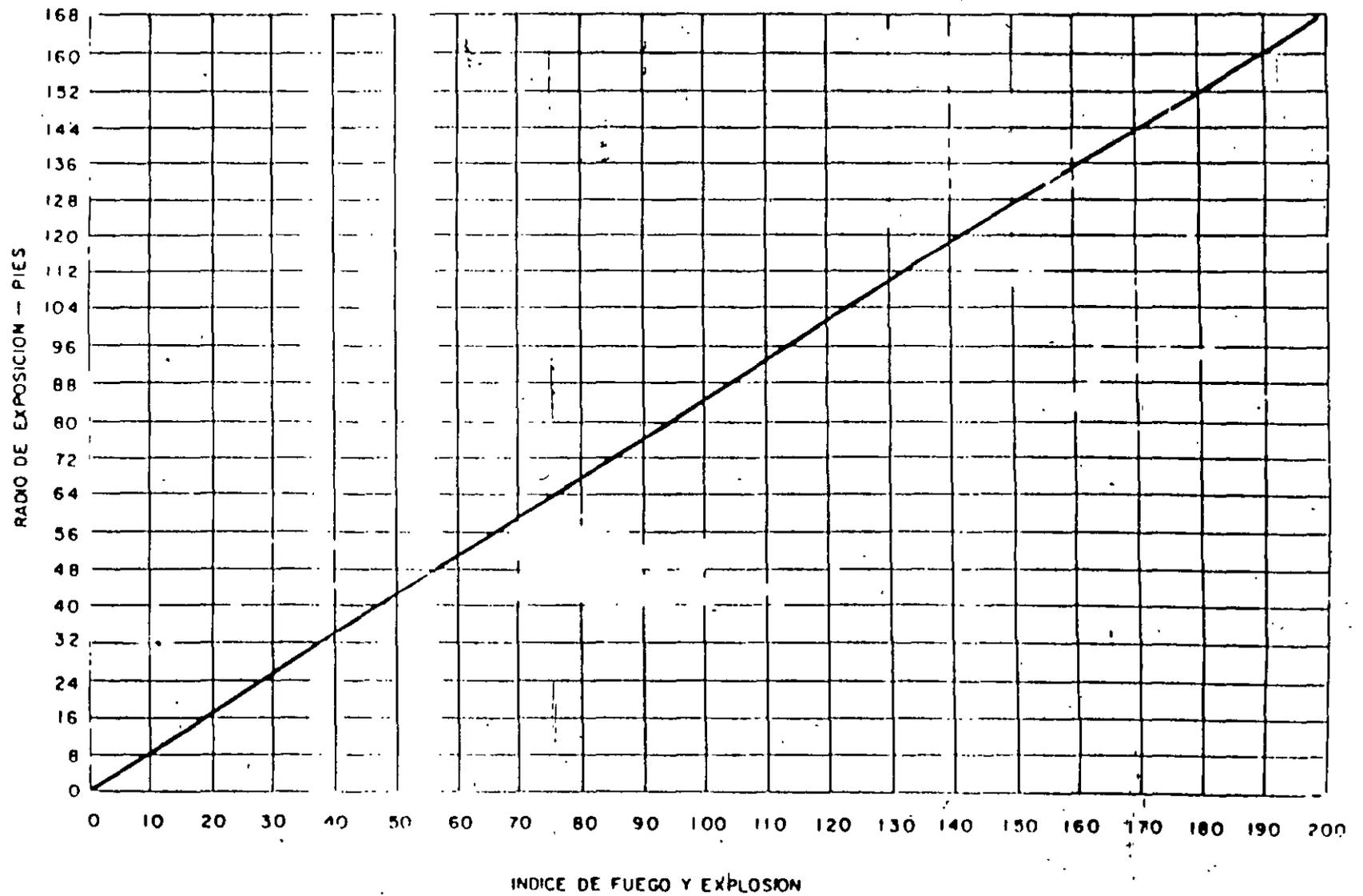
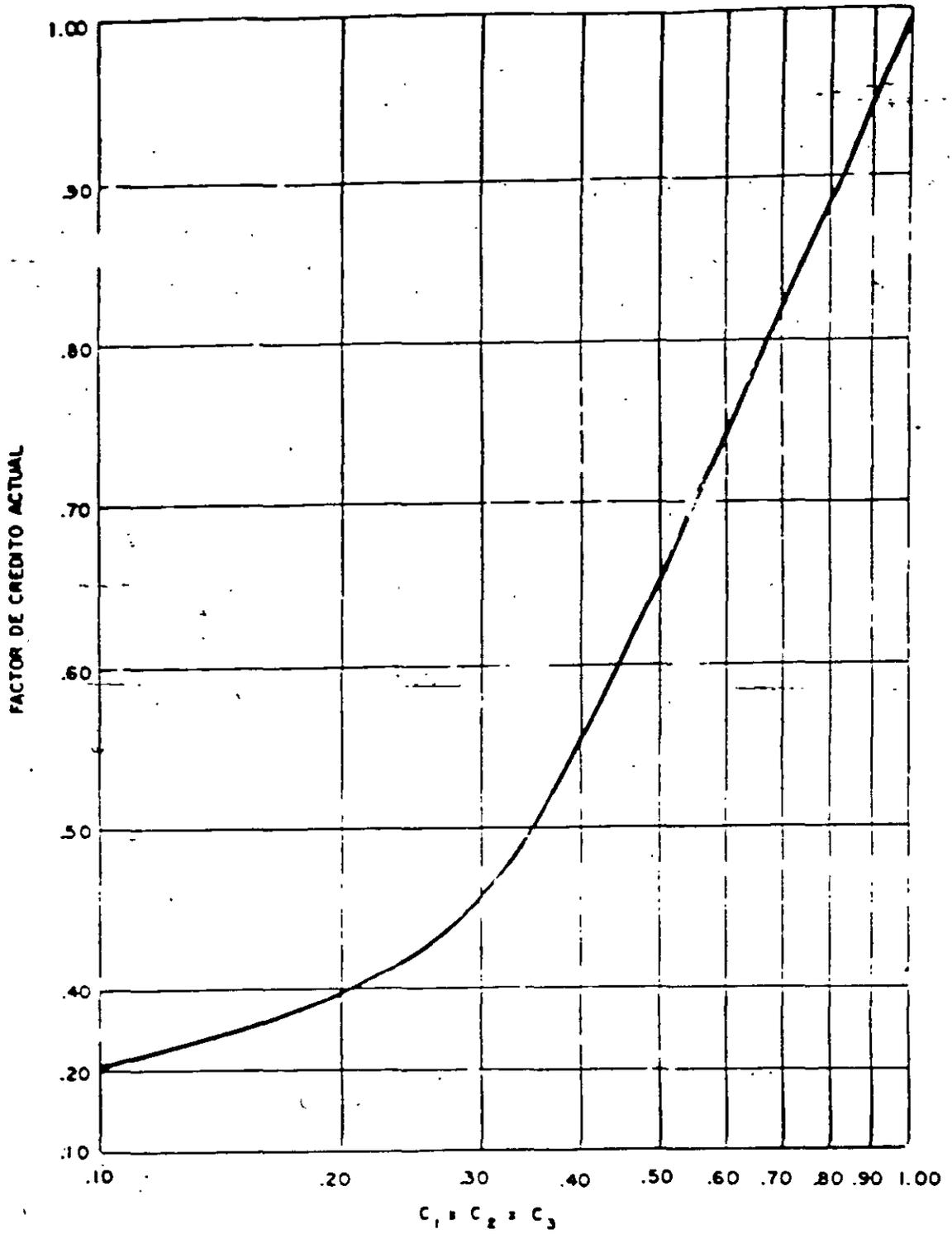
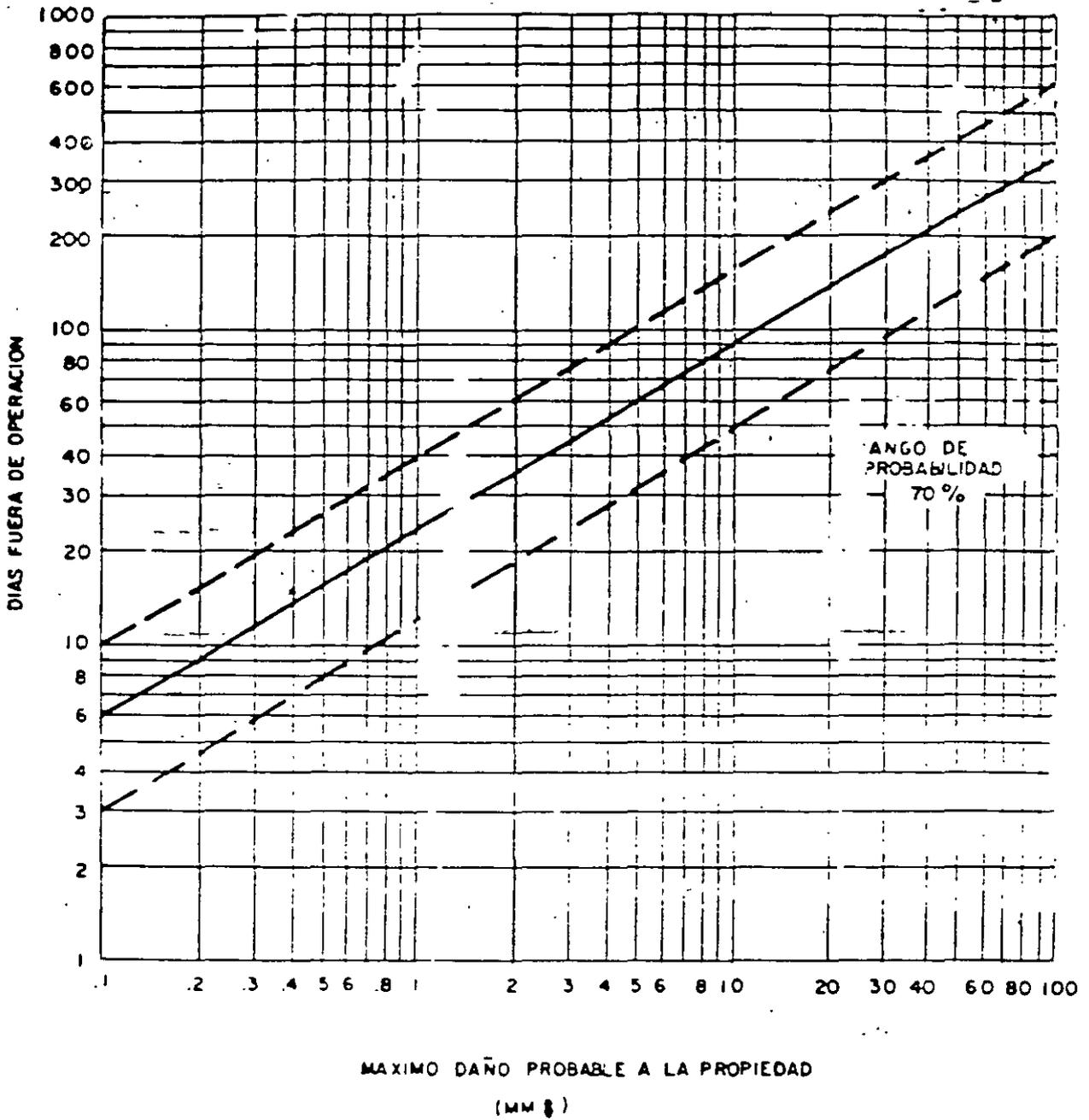


FIGURA 9 - FACTOR DE CREDITO



**FIGURA 10 - MAXIMOS DIAS PROBABLES FUERA DE OPERACION  
(MPDO)**



APENDICE A

FACTOR MATERIAL (FM)

COMPUESTO	FM	Tg °K	Hc BTU/lb	Clasific. NFPA			Punto de Fusión	Punto de Ebullición
				NO	NI	RI	°F	°F
Aceite Lubricante (Lube Oil)	4	(4)	19.0	0	1	0	350/400	
Aceite Mineral	4		17.0	0	1	0	380	680
Acetaldehído	24	866	10.5	2	4	2	-36	70
Acetato de 1-Amilo	16	705	14.4	1	3	1	77	300
Acetato de Amilo	16	659	14.6	1	3	0	89	249
Acetato de Benzoilo	4	817	12.3	1	1	0	216	417
Acetato de Etilo	16	735	10.1	1	3	0	24	171
Acetato de Isopropilo	16	696	11.2	1	3	1	40	194
Acetato de Metilo	16	704	8.5	1	3	0	14	140
Acetato de Propilo	16	625	11.2	1	3	0	58	215
Acetato de Vinilo	16	843	9.7	2	3	1	18	161
Acetato de n-Butilo	16	715	12.2	1	3	0	72	260 (1)
Acetil Etanolamina	14	770	9.4	1	1	1	355	
Acetil Tributil Citrato	4	693	10.9		1	0	400	343
Acetileno	40	2998	20.7	1	4	4	Gas	-118
Acetona	16	794	12.3	1	3	0	0	134
Acetona Cyanohidrina	24	833	11.2	4	1	2	165	248
Acetonitrilo	24	975	12.8	3	3	2	42	179
Acido 3,5-Dicloro Salicílico	24	842	5.3	0	1	2		
Acido Acético	30	834	5.6	3	2	0	109	245
Acido Acetilsalicílico (P)	6	775	8.9	1	1	0		
Acido Acrílico	14	787	7.6	3	2	1	130	287
Acido Benzoico	4	763	11.0	2	1	0	250	482 (1)
Acido Cianhídrico	29	2524	10.3	4	4	3	0	79
Acido Estearico	4	528	15.9	1	1	0	385	726
Acido Fórmico	4	499	3.0	3	1	0	156	213
Acido Metacrílico	24	706	9.3	3	1	2	171	316
Acido Oléico	4	634	16.8	0	1	0	372	432
Acido Peracético	40	1076	4.8	3	2	4	105	221
Acido Perclórico	29	1003	(2)	3	0	3		397
Acido Sulfhídrico	21	305	6.5	3	4	0	Gas	-76
Acrilamida	14	757	9.5	2	1	1		257
Acrilato de Butilo	24	775	14.2	2	2	2	120	293
Acrilato de Etilo	16	835	11.0	2	3	1	60	211
Acrilato de Metilo	24	859	18.7	0	3	2	27	176
Acroleína	40	1553	13.7	4	1	4	32	171
Acroleína	24	947	11.8	4	3	2	-15	121
Alcohol Alílico	16	824	13.7	4	3	1	70	206
Alcohol Metílico	4	526	13.5	2	1	0	212	4.3
Alcohol Propílico	16	621	11.5	1	3	0	55	116
Alcohol Isobutílico	16	60	14.2	1	1	0	82	200
Alcohol Isopropílico	16	564	13.1	1	3	0	53	181
Alcohol Propílico	24	1112	12.6	3	3	2	97	229
Alcohol Propílico	16	615	12.4	1	1	0	77	207
Alanina	16	818	15.4	3	3	1	-20	128
Almirace	4	Endo	9.0	3	1	0	Gas	-28
Anhidrido Acético	24	793	7.1	4	2	2	129	284
Anhidrido Málico	14	899	5.9	3	1	1	215	396
Anilina	14	871	13.0	4	1	1	158	364
Azufre	4	302	4.0	2	1	0		
Benzeno	16	867	17.1	2	3	1	12	176
Benzaldehído	14	906	13.7	2	1	2	148	355
Benzina (Néfta)	16	(4)	18.0	1	3	0	28/85	212/350 (5)

COMPUESTO	FM	Td °K	HC BTU/lb x10 <sup>3</sup>	Clasific. NFPA			Punto de Fusión °C °F	Punto de Ebul. °F
				Nh	Nf	Nr		
Benzato de Etilo	4	800	12.2	1	1	0	204	414
Bifenil A	14	795	14.1	2	1	1	175	428
Bisulfuro de Carbono	16	755	6.1	2	3	0	-22	115 (5)
Borato de Metilo	16			2	3	1	80	156
Bromo	14	300	0.0	4	1	1		
Bromobenceno	14	918	8.1	2	2	1	124	313
Bromocloro	14	865	8.5	2	1	1	174	359
Bromuro de Alilo	16	988	5.9	3	3	1	30	160
Bromuro de Butilo	16	668	.8	2	3	0	65	215
Bromuro de Etilo	21	670	3.6	2	4	0	-4	100
Bromuro de Laurilo	4	830	12.9	1	1	0	291	356
Bromuro de Propargilo	40	2220	5.9	4	3	4	64	192
1,3-Butadieno	29	991	19.2	2	4	3	Gas	24
Bulano	21	633	19.7	1	4	0	Gas	31
Bulanol (1-Alcohol Butilico)	16	700	14.3	2	3	0	84	243
1-Buteno	21	825	19.5	1	4	1	Gas	21
n-Butilamina	16	648	16.3	2	3	0	10	172 (5)
Butilato de Etilo	16	746	12.2	0	3	0	78	248
Carbonato de Dietilo	16	753	9.1	2	3	1	77	259
Carbonato de Etil Butilo	14	645	10.6	2	2	1	122	275
Carbonato de Etileno	14	769	5.3	2	1	1	290	351
Carbonato de Metilo	16	746	8.2	2	3	1	66	192
Carburo de Calcio	24	302	9.1	1	1	2		
Cianamida	29	1102	7.0	4	1	3	288	500
Ciclobutano	21	865	19.1	1	4	1	Gas	55
Ciclohexano	16	677	18.7	1	3	0	-4	179
Ciclohexanol	4	584	15.0	1	1	0	154	322
Ciclopropeno	21	936	21.3	1	4	1	Gas	-28
Clorato de Bario	24		(2)	0	1	2		
Clorato de Potasio	29		(2)	2	0	3		752
Clorato de Sodio	24			1	0	2		
Clorato de Zinc	24		(2)	2	1	2		
Cloro	14	301	0.0	3	1	1		
1-Cloro 1-Nitroetano	40	1165	3.5	1	2	4	133	344
Cloroacetato de Metilo	14	768	5.1	2	2	1	122	266
Clorobenceno	24	936	10.9	2	3	2	84	270
1-Clorobutano	16	701	2.0	2	3	0	15	170 (5)
Cloroestireno	24	986	12.5	2	1	2		
Clorofenol	14	881	9.2	3	1	1	147	347
Cloroformato de Etilo	16	842	5.2	2	3	1	61	201
Cloroforno	1	683	1.5	2	0	0		142
Clorometil Etil Eter	14	860	5.7	2	1	1		
Cloruro de Calcio	29	1827	0.7	4	0	3		234
Cloruro de Propano	21	649	10.1			0	-26	95
Cloruro de Acetileno	16	741	2.5	3	3	0	40	124
Cloruro de Alilo	29	912	9.7	4	3	3	-25	113
Cloruro de Aluminio	24		(2)	3	0	2		(3)
Cloruro de Azufre	14	300	1.8	2	1	1	245	280
Cloruro de Bencilo	14	886	12.6	3	1	1	153	354
Cloruro de Cloroacetilo	14	894	2.5	3	0	1		222
Cloruro de Etilo	21	701	8.2	2	4	0	-58	54
Cloruro de Isobutilo	16	592	11.4	2	3	0	70	156
Cloruro de Isopropilo	21	545	10.0	2	4	0	-26	95
Cloruro de Metileno	14	1072	2.3	2	1	1	80	104
Cloruro de Metilo	21	744	5.5	2	4	0	Gas	-11

COMPUESTO	FM	Td en	Mc BTU/lb x10 <sup>3</sup>	Clasific. NFPA			Punto de Firma CC of	Punto de Ebul. of
				Nh	Nf	Nr		
Cloruro de Propilo	16	813	10.0	2	3	0	10	115
Cloruro de Vinilideno	24	1808	4.2	2	4	2	0	99
Cloruro de Vinilo	21	1448	8.0	2	4	1	Gas	7
Combustible (Fuel Oil) 81-6	10	(4)	18.7	0	2	0	100/150	340/420
Cumena	24	897	12.0	2	1	2		554
Cumeno	10	759	18.0	2	2	0	111	306
Diciclohexadieno	24	890	17.9	1	3	2	90	342
Diclorobenceno	29	1145	8.1	2	1	3	150	345
Dicloroalireno	24	1143	9.3	2	1	2	225	
1,1-Di etoxano	16	847	4.5	2.0	3	1	22	138
1,2-Dicloroetileno	40	1785	6.9	2	3	4	43	141
1,3-Dicloropropeno	24	1225	6.3	2	3	2	95	219
Dicloruro de Etileno	16	724	4.6	2	3	0	56	183
Dicloruro de Propileno	16	642	6.3	2	3	0	80	205
Dicromato de Sodio	14			1	0	1		
Diesel	10	683	18.7	0	2	0	100/130	315
Dietanolamina	14	707	10.0	1	1	1	305	514
Dietil Eter	21	761	14.5	2	4	0	-49	95
Dietilamina	16	693	16.5	2	3	0	10	134
Dietilbenceno	10	738	19.0	2	2	0	133	358
Dietilén Glicol	4	770	8.7	1	1	0	255	472
Difil A	14	812	14.0	1	1	1	255	495
Difil G	14	916	15.4	1	1	1	305	576
Difil J	4	739	17.8	1	1	0	145	358
Disobutileno	18	734	19.0	1	3	0	23	219
Disopropilbenceno	4	713	17.9	0	1	0	170	401
2,2-Dimetil Propanol	16	725	14.8		3	0	98	237
Dimetilamina	21	792	15.2		4	0	Gas	45
Dinitrobenceno	40	1851	7.2		1	4	302	604
2,4-Dinitrofenol	40	1478	6.1		1	4		
p-Dioxano	16	813	10.5		3	0	54	214
Óxido de Azufre	1	302	0.0		0	0	Gas	12
Óxido de Cloro	40	1766	0.7		1	4		
Oxolano	24	911	9.1		3	2	35	165
Dipropilén Glicol	4	749	10.8		1	0	280	449
Divinil Acetileno	29	1690	18.2	1	3	3	-4	183
Divinil Benceno	24	1038	17.4	1	1	2	169	392
Divinil Eter	24	1050	14.5	2	3	2	-22	102
Dowtherm 30 LF	14	884	16.0	1	1	1	260	507
Dowtherm A	14	912	14.0	1	1	1	255	495
Dowtherm G	14	916	15.4	1	1	1	305	576
Dowtherm J	4	739	17.8	1	1	0	145	358
Epiclorhidrina	24	912		3	2	2		
Estearato de Sodio	4	374	8.9	0	1	0		
Estearato de Zinc	4	512	10.1	0	1	0		
Estireno	24	992	17.4	2	3	2	90	205
Eteno	21	597	20.4	1	4	0	Gas	-178
Etanolamina	4	660	9.5	2	1	0	185	142
Eter Butílico	16	686	16.3	2	3	0	77	290
Eter Divinílico	24	1050	14.5	2	3	2	-22	102
Eter Etil Propílico	16	748	15.2	1	3	0	-4	147
Eter Etilén G-Dimetílico	10	674	11.6	2	2	0	104	174
Eter Etilico	21	761	14.4	2	4	0	-48	95
Eter Isopropílico	16	712	15.6	2	3	1	-18	156
Eter Metílico	21	844	12.4	2	4	1	Gas	-11

COMPUESTO	FM	Td gK	Mc BTU/lb x10 <sup>3</sup>	Clasific. NPPA			Punto de Punto de	
				NA	NT	Nr	Flama CC oF	Eb. oF
Eter Propilico	16	699	15.7	1	3	0	70	194
Eter Vinil Aletico	24	959	15.5	2	3	2	68	153
Eter Vinil Bulilico	24	807	15.4	2	3	2	15	202 (1)
Eter Vinil Etílico	21	880	14.0	3	4	1	-50	96
Eter etílico	24	994	16.0	4	3	2	20	203
Etil Benceno	16	830	17.6	2	3	0	59	277
Etil Butil Amina	16	860	17.0	3	3	1	64	232
2-Etil Hexanal	14	891	16.2	2	1	1	185	359
Etil Mercaptano	21	522	12.7	2	4	0	80	95
Etilamina	21	740	16.3	3	4	0	10	82
Etilen Diamina	10	708	12.4	3	2	0	110	241
Etilen Glicol	4	643	7.3	1	1	0	232	387
Etilenimina	29	1092	13.0	3	3	3	12	132
Etileno	24	1005	20.8	1	4	2	Gas	-155
Fenol	4	822	13.4	2	1	0	175	358
Fluor	29			4	0	3		-310
Fluorobenceno	24	992	13.4	2	3	2	5	185
Formaldehido	24	987	8.0	2	4	2	Gas	-3
Formato de Etilo	16	789	8.7	2	3	0	-4	130
Formiato de Metilo	21	814	6.4	2	4	1	-2	90
Fuel Oil #1 a 6	10	(4)	38.7	0	2	0	100/150	340/420
Furano	21	838	12.6	1	4	1	32	88
Gasavión (Jet Fuel AyJP-#)	16		21.7	0	3	0	10	
Gasavión (Jet Fuel AyJP-# 6)	10		21.7	0	2	0	105	
Gasolina	16	691	18.8	1	3	0	-45	100/400
Glicérina	4	684	6.9	1	1	0	320	554
Glicolnitrilo	14	882	7.6	1	1	1		
Heptano	16	587	19.2	1	3	0	32	194
Hexacloro Butadieno	14	626	2.0	2	1	1		410
Hexanal	16	620	15.5	2	3	0	90	288
Hexano	16	581	19.2	1	3	0	-7	156
Hidracina	40	1338	7.2	3	3	4	100	236
Hidrógeno	21	301	51.6	0	4	0	Gas	-422
Hidropereóxido de t-B	24	919	11.9	1	3	2	180	
Hidroxitamina	29	2000	3.2	1	3	3	(5)	158
Hidroxipereóxido de C	29	989	13.7	1	2	3	175	
Hidruro de Sodio	24			3	3	2		
Isobutano	21	609	19.4	1	4	0	Gas	11
Isobutil Amina	16	568	16.2	2	3	0	15	150
Isopentano	21	626	21.0	1	4	0	-60	82
Isopreno	21	825	16.6	1	4	1	-65	91
Isopropenil Acetileno	24			2	4	2	19	92
Isopropil Amina	21	549	15.5	3	4	0	-35	89
Jet Fuel A y JP-4	16		21.7	0	3	0	10	
Jet Fuel A y JP-5,6	10		21.7	0	2	0	105	
Lauryl Mercaptano	4	671	16.8	1	1	0	262	281
Magnesio	14	290	10.6	0	1	1		
Metacrilato de Metilo	24	854	11.9	2	3	2	50	212
Metano	21	298	21.5	1	4	0	Gas	-259
Metanol	16	691	8.6	1	3	0	52	147
Metil Acetileno	40	1818	20.0	2	4	4	Gas	-10
Metil Amina	21	767	13.2	3	4	0	Gas	71
Metil Celulosa	10	789	6.5	0	1	0		
Metil Ciclohexano	16	860	18.0	2	3	0	25	214
Metil Ciclopentadieno	14	919	17.4	1	2	1	120	163

COMPUESTO	FM	Tg GR	Hc BTU/lb x 10 <sup>3</sup>	Clasific. NFPA			Punto de Fus. CC	Punto de Ebul. Ebul.
				NA	NI	NR	oF	oF
Metil Estireno	14	865	17.5	2	2	1	134	342
Metil Etil Cetona (MEK)	16	688	13.5	1	3	0	21	176
Metil Hidracina	24	1022	10.9	3	3	2	80	190
Metil Isobutil Cetona	16	506	1.6	2	3	0	73	244 (5)
Metil Mercaptano	21	680	17.0	2	4	0		42
Metil Vinyl Cetona	24	908	13.4	2	3	2	20	177
2-Metilpropenal	24	1116	15.4	3	3	2	-40	142
Mono Cloro Beneno	16	936	11.3	2	3	1	84	270
Mucoianilamina	4	660	9.6	2	1	0	200	338
Monóxido de Carbono	16	1038	4.3	3	3	1	Gas	-314
Nafta	16	(4)	18.0	1	3	0	28/85	212/350
Naftaleno	14	860	16.7	2	1	1	174	424
Nitrato de Amio	24	1128	11.5	1	2	2	125	305
Nitrato de Amonio	29	3248	6.0	2	0	3		410
Nitrato de Butilo	29	406	11.1	1	3	3	97	277
Nitrato de Etilo	40	2094	6.4	2	3	4	50	190
Nitrato de Potasio	29	(2)	(2)	1	0	3		752
Nitrato de Propilo	29	1079	7.4	2	3	3	68	231
Nitrobeneno	24	1341	10.4	3	1	2	190	412
Nitrobifenilo	14	1017	12.7	2	1	1	290	626
Nitroclorobenceno	29	1764	7.6	3	1	3	261	457
Nitrocloro	24	1161	7.7	1	3	2	82	237
Nitrodiclorina	40	2895	7.8	2	1	4	(5)	
Nitrometano	40	2621	5.0	1	3	4	95	214
Nitropropeno	29	1046	9.7	1	2	3	103	248
1-Nitrotolueno	29	1112	11.2	1	1	3	223	460
Octano	16	593	20.5	0	3	0	56	258
Octil Mercaptano	10	672	16.5	2	2	0	115	318
Oxido de Butileno	24	863	14.3	3	3	2	5	149
Oxido de Difeno	14	906	14.9	1	1	1	239	498
Oxido de Etileno	29	1062	11.7	2	4	3	10	51
Oxido de Hexacloro Difeno	29	1026	5.5	2	1	2		440
Oxido de Pentametileno	16	742	13.7	2	3	1	-4	178
Oxido de Propileno	21	944	13.2	2	4	1	-35	95
Pentano	21	645	19.4	1	4	0	-40	97
Peracetato de t-Butilo	40	875	10.6	1	3	4	180	
Peracetato de n-Butilo	40	905	12.2	1	2	4	190	
Peracetato de Etilo	40	742	13.7	2	3	1	-4	178
Peracetato de Propilo	40	944	13.2	2	4	1	-35	95
Perácido de Acético	40	967	12.2	0	4	4	(5)	
Perácido de Benzoico	40	971	12.0	1	2	4		
Perácido de Difenil-Eter	24	94	14.4	1	3	1		
Perácido de Difenil	24	1047	11.2	1	3	1		
Perácido de Difenil	40	967	12.2	0	4	4	(5)	
Perácido de Hidrógeno (35%)	24	1144	(2)	2	0	2		(6)
Perácido de Laurico	40	1613	25.7	0	1	4		(6)
Perácido de Palmitico	24	(2)	(2)	3	0	2		(6)
Perácido de Sódico	24			3	0	2		(6)
Perácido de t-Butilo	29	850	14.5	1	3	3	64	176 (6)
Petróleo Crudo	16		21.3	1	3	0	20/90	(6)
2-Pirrolina	14	860	15.0	2	2	1	102	262
Piridina	24	978	5.9	2	3	2	68	239
Potasio	24			3	1	2		1418
Propanal	16	766	12.5	2	3	1	15	120

COMPUESTO	FM	Tg °K	Hc BTU/lb x10 <sup>3</sup>	Clasific. NFPA			Punto de Fusión °C	Punto de Ebul. °F
				NH	MI	RF		
Propano	21	625	19.9	1	4	0	Gas	-44
Propil Benceno	16	762	17.3	2	3	0	86	319
Propilamina	16	851	15.8	3	3	0	-35	120
1,6-Propilen Diamina	16	776	13.6	2	3	0	.75	276
Propilen Glicol	4	619	9.3	0	1	0	210	370
Propileno	21	866	19.7	1	4	0	Gas	-53
Propionitrilo	16	903	15.0	4	3	1	36	207
Sodio	24			3	1	2		
Sulfato Acido de Sodio	24			3	1	2		
Tetraclorobenceno	4	789	4.7	0	1	0	311	475
Tolueno	16	869	17.4	2	3	0	40	231
Tributil Amina	4	645	17.8	2	1	0	187	417
Triclorobenceno	29	1400	6.2	2	1	3	210	413
1,1,1-Tricloroetano	24	1128	3.1	2	1	2		165
Tricloroetileno	14	849	2.7	2	1	3		189
Tricloroamina	24	752	10.1	1	1	1	355	850
Trietil Aluminio	29	661	16.9	7	3	3	-63	381
Trietil Amina	16	702	17.8	2	3	0	7	193
Trietil Glicol	4	797	9.3	1	1	0	31	550
Trisobutil Aluminio	29	563	19.9	2	3	3	32	238
Troopropil Benceno	16	685	18.1	2	3	1		
Trimetil Aluminio	29	525	16.5	2	3	3	35	259
Trimetil Amina	21	792	16.2	2	4	0	G:	38
Tripropil Amina	10	695	17.8	2	2	0	:	313
Vinil Acetileno	40	2317	19.5	1	4	4		41
Vinil Ciclohexano	16	876	19.0	2	3	1	6	286
Viniltolueno	14	915	17.5	2	2	1	7	349
Xileno	16	817	17.6	2	3	0		282

## APENDICE B

### MEDIDAS BASICAS DE PREVENCION Y PROTECCION

- 1.- Suministro adecuado de agua contra incendio
- 2.- Diseño estructural de recipientes, tuberías, soportería, etc.
- 3.- Dispositivos de alivio de sobrepresión
- 4.- Resistencia a la corrosión
- 5.- Separación de reactivos en líneas de proceso
- 6.- Aterrizaje de equipo eléctrico
- 7.- Localización segura del suministro de corriente
- 8.- Protección contra pérdida de servicios
- 9.- Instrumentación falla segura
- 10.- Acceso libre a vehículos de emergencia a las áreas
- 11.- Drenajes de capacidad suficiente
- 12.- Aislamiento de superficies calientes
12. Apego al NEC
- 14.- Ubicación de los dispositivos de vidrio y juntas de expansión
- 15.- Separación de áreas peligrosas
- 16.- Protección a racks de tubería y cableado
- 17.- Suficientes válvulas de bloqueo
- 18.- Protección a torres de enfriamiento
- 19.- Protección a equipos calentados por fuego directo
- 20.- Clasificación eléctrica del equipo eléctrico adecuado.
- 21.- Cuartos de control aislados y protegidos

## APENDICE C

### LISTA DE VERIFICACION PARA INGENIEROS DE SEGURIDAD Y DE PROYECTO

#### A. LOCALIZACION

- 1.- Accesibilidad
- 2.- Tráfico
- 3.- Estacionamiento
- 4.- Areas libres
- 5.- Drenajes
- 6.- Calles y caminos
- 7.- Accesos
- 8.- Lay out

#### B. EDIFICIOS

- 1.- Presión de viento, carga de piso, diseño contra terremotos
- 2.- Material de techos, anclaje
- 3.- Venteo en techos, drenes, dispersión de humo
4. Cubos de escaleras, rampas
- 5.- Elevadores y descansos
- 6.- Paredes contra fuego, aberturas y puertas contra incendios
- 7.- Alivio de explosión
- 8.- Salidas de emergencia, identificación
- 9.- Cimentación
- 10.- Ventilación
- 11.- Pararrayos, red de tierras
- 12.- Calentadores
- 13.- CUarto de lockers y ventilación
- 14.- Drenaje interior y exterior
- 15.- Recubrimiento contra fuego al acero estructural
- 16.- Escaleras exteriores
- 17.- Resistencia al subsuelo

#### C. RED DE AGUA Y ROCIADORES

- 1.- Suministro de agua
- 2.- Sistema de tubería
- 3.- Hidrantes
- 4.- Rociadores
- 5.- Tanques y tuberías para edificios
- 6.- Extintores
- 7.- Sistemas especiales de extinción
- 8.- Sistemas especiales de protección

## D. ELECTRICIDAD

- 1.- Clase de riesgo
- 2.- Acceso a circuitos e interruptores críticos
- 3.- Salidas polarizadas y sistema de tierras
- 4.- Interruptores equipo crítico
- 5.- Iluminación
- 6.- Teléfonos
- 7.- Sistema de distribución eléctrica
- 8.- Tubos conduit-corrosión
- 9.- Protección a motores y circuitos
- 10.- Tipo y localización de transformadores
- 11.- Controles de falla segura
- 12.- Cargas críticas
- 13.- Interlocks clave para seguridad
- 14.- Exposición de las líneas a fuego

## E. DRENAJES Y DESECHOS

- 1.- Químicos
- 2.- Sanitario
- 3.- Pluvial
- 4.- Tratamiento de aguas
- 5.- Trincheras
- 6.- Disposición de desechos

## F. ALMACENAMIENTO

- 1.- Accesibilidad, rociadores, espaciamiento, carga de piso, altura de estiba, hileras, verteos
- 2.- Líquidos y gases inflamables, polvos y mezclas peligrosas: sistemas cerrados, atmósferas seguras, rociadores, verteos y altura de emergencia, flare, drenajes, ventilación, tanques y silos, diques, sistemas especiales, refrigeración
- 3.- Materias primas: clasificación de riesgo, instalaciones de recepción y almacenaje, separación de materiales, pureza.
- 4.- Producto terminado: identificación, separación de materiales peligrosos, protección contra contaminación, etiquetado, ruta de embarques peligrosos, hoja de material, contenedores.

## G. GAS INERTE

- 1.- Considerando materias primas, intermedios, productos, almacenamiento, manejo y proceso.

## H. MANEJO DEMATERIALES

- 1.- Puente de carga y descarga
- 2.- Montacargas
- 3.- Aterrizaje
- 4.- Transportación y convoyes
- 5.- Área de almacenes
- 6.- Almacenamiento de inflamables
- 7.- Almacenamiento de materiales reactivos o explosivos
- 8.- Eliminación de desechos

## I. MAQUINARIA

- 1.- accesibilidad, mantenimiento y operación
- 2.- Interruptores de emergencia
- 3.- Monitoreo de vibración

## J. PROCESO

- 1.- Químicos: riesgo de fuego y a la salud
- 2.- Presiones y temperaturas críticas
- 3.- Dispositivos de alivio
- 4.- Material de recipientes y tubos
- 5.- Método de manejo de reacciones
- 6.- Sistemas de protección fijos
- 7.- Ventilación
- 8.- sistemas de limpieza
- 9.- Bañeras contra explosión y aislamiento
- 10.- Gas inerte
- 11.- Paros de emergencia
- 12.- Recubrimiento contra el fuego o elemento estructurales
- 13.- Dispositivos de seguridad de equipos de intercambio de calor
- 14.- Juntas de expansión
- 15.- Tranceo de vapor
- 16.- Aislamiento de partes calientes
- 17.- Aterrizajes
- 18.- Mantenimiento y limpieza de recipientes de proceso
- 19.- Control de corrosión
- 20.- Identificación de riesgos
- 21.- Riesgos por radiación ionizante
- 22.- Instrumentación fundamental

## K. EQUIPO DE SEGURIDAD

- 1.- Enfermería
- 2.- Ambulancia
- 3.- Carro de bomberos
- 4.- Alarma de emergencia
- 5.- Sirenas y chicharras
- 6.- Tratamiento de desechos
- 7.- Equipo contra hielo y nieve
- 8.- Regaderas lavaojos
- 9.- Escaleras seguras
- 10.- Localización del equipo de emergencia
- 11.- Campanas en laboratorios
- 12.- Casas de mangueras
- 13.- Analizadores y detectores
- 14.- Sistemas de comunicación
- 15.- Guardas
- 16.- Protección de combustión
- 17.- Válvulas de corte de gas

Las sustancias con una concentración inferior al 5 por ciento (porcentaje en peso para los líquidos y los sólidos, porcentaje en volumen para los gases) no se han de tomar en cuenta aquí.

### 3. Determinación del factor material (FM)

El punto de partida para calcular el índice de incendio y explosión es el factor material. Este factor es la medición del potencial de energía del material o mezcla de materiales presente más peligroso. El factor material se indica con un número que va de 0 a 40, correspondiendo los números más altos a la mayor cantidad de energía disponible.

El factor material se determina utilizando únicamente dos propiedades, la inflamabilidad<sup>2</sup> y la reactividad, caracterizadas por la inestabilidad y la reactividad al agua de la sustancia química. En el apéndice 2a) se enumeran los factores correspondientes a muchos materiales. El factor material se debe determinar con respecto a todas las sustancias peligrosas que existen en el elemento de la planta.

El factor material puede calcularse a partir del cuadro 2.2, utilizando el valor numérico de la inflamabilidad y de la reactividad dados por la NFPA<sup>3</sup>

Por ejemplo, el óxido de etileno con una inflamabilidad de 4 y una reactividad de 3 da un factor material de 29, con arreglo al cuadro 2.2. El acrilato de

butilo, con una inflamabilidad de 2 y una reactividad de 2, da un factor material de 24, con arreglo al cuadro 2.2

El punto de inflamación o  $H_{cv}$  se puede utilizar con respecto a la inflamabilidad  $N_i$ . El valor del  $H_{cv}$  se calcula multiplicando el calor de la combustión kJ/mol, por la presión del vapor a 300 K (27 °C) medida en el barómetro. Para materiales que hierven a menos de 300 K, utilícese 1,00 como presión del vapor. Para calcular el  $N_i$ , úsese la temperatura adiabática de descomposición ( $T_a$ ).

Por ejemplo, el óxido de propileno tiene las siguientes propiedades básicas:

- punto de inflamación inferior a -20 °C;
- calor de la combustión 30,703 kJ/g,
- peso molecular 58;
- el calor de combustión es, por tanto,  $30,703 \times 58 = 1780,78$  kJ/mol,
- presión barométrica 0,745 (27 °C),
- temperatura de descomposición 675 °C

Para un punto de inflamación inferior a -20 °C, valor del riesgo con respecto a la inflamabilidad es de 4. Esto se puede verificar calculando  $H_{cv}$ , como sigue:

$$H_{cv} = 1780,78 \times 0,745 = 1326 \text{ kJ bar/mol aproximadamente.}$$

Un  $H_{cv}$  de 1326 da un valor de riesgo de 4 con respecto a la inflamabilidad.

La temperatura adiabática de descomposición es la siguiente.

$$T_a = 675 + 273 = 948 \text{ K.}$$

Esto da un valor de riesgo de 2 con respecto a la reactividad. A partir del cuadro 2.2, se podrá aplicar un factor material de 24 al óxido de propileno.

### 4. Determinación de los riesgos generales del proceso

#### 4.1. Reacciones exotérmicas

4.1.1 Se penaliza con 0,20:

- *combustión* = la combustión de combustible sólido, líquido o gaseoso con aire como en un horno.

4.1.2 Las reacciones que se indican a continu se penalizan con 0,30.

- a) *hidrogenación* = adición de átomos de hidrógeno a ambos lados de un enlace doble o triple, los riesgos

Cuadro 2.2. Determinación del factor material

		Temperatura adiabática de descomposición (T <sub>a</sub> )					
		< 830	830-935	935-1010	1010-1080	> 1080	
		reactividad					
Punto de inflamación °C	H <sub>cv</sub> kJ bar/mol	N	0	1	2	3	4
Nada	< 4 · 10 <sup>-5</sup>	0	0	14	24	29	40
> 100	4 · 10 <sup>-5</sup> - 25	1	4	14	24	29	40
40 - 100	25 - 40	2	10	14	24	29	40
-20 - 40	40 - 600	3	16	16	24	29	40
< -20	> 600	4	21	21	24	29	40
		Factor Material, FM					

# DIPLOMADO EN RIESGO AMBIENTAL

**C**  
**a** **URSOS**  
DISTANCIA

**Módulo III :**

**Métodos y Análisis de Riesgo**

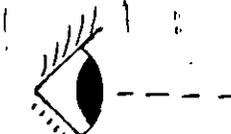
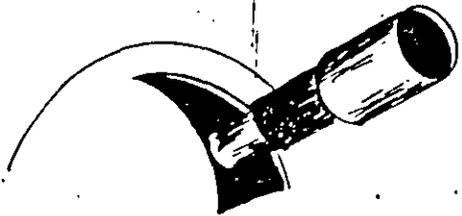
**( Cualitativo y Cuantitativo )**

**Tema V :**

**Sistemas de Análisis de Riesgos  
en Plantas de Proceso.**



SISTEMA DE ANALISIS DE RIESGOS EN PLANTAS DE PROCESO.

EXTRACCION DE PELIGROS	GRADO DE PROFUNDIDAD	EVALUACION DE IMPACTO
<ul style="list-style-type: none"> <li>- INVESTIGACION DE ACCIDENTES</li> <li>- LISTAS DE VERIFICACION.</li> <li>- TORMENTA DE IDEAS.</li> <li>- INSPECCIONES PLANEADAS.</li> </ul>	 <p align="center">(VISUAL)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>INCAPACIDADES/MUERTES.</li> <li>EQUIPO/INSTALACIONES.</li> <li>PRODUCTO / PERDIDA DE DANADO. / PRODUCCION.</li> <li>MULTAS/CLAUSURA.</li> <li>IMAGEN.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- WHAT IF.</li> <li>- LISTAS DE VERIFICACION.</li> </ul>	 <p align="center">(LUPA)</p>	<p>EVALUACION DEL GRADO DE RIESGO EN FUNCION DE LA EXPOSICION Y PROBABILIDAD. JUSTIFICACION DE LA ACCION CORRECTIVA.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- HAZOP.</li> </ul>	 <p align="center">(MICROSCOPIO)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- INDICE DOW (FUEGO Y EXPLOSION.)</li> <li>- INDICE MOND (FUEGO, EXPLOSION Y TOXICIDAD.)</li> <li>RADIOS DE AFECTACION Y PERDIDA MAXIMA PROBABLE.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- ARBOL DE EVENTOS.</li> <li>- ARBOL DE FALLAS.</li> </ul>	 <p align="center">(TELESCOPIO)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CALCULOS DE DISPERSION DE *INFLAMABLES.</li> <li>*TOXICOS.</li> <li>- CALCULO DE NUBES EXPLOSI- UAS (TNT).</li> <li>- CALCULO DE RADIACION.</li> <li>DIAGRAMAS DE PETALOS.</li> </ul>

02

01

## BASES DE DISEÑO:

LISTAS DE VERIFICACION.  
PUBLICACIONES DE SEGURIDAD.  
LITERATURA TECNICA.  
TORMENTA DE IDEAS.



## INGENIERIA DE DETALLE:

LISTAS DE VERIFICACION.  
¿QUE PASA SI?  
HAZOP.  
ANALISIS DE FALLA Y EFECTO.  
ARBOOL DE FALLAS Y EVENTOS.  
ANALISIS DE ERROR HUMANO.



## CONSTRUCCION:

LISTAS DE VERIFICACION.  
¿QUE PASA SI?  
ANALISIS DE FALLA Y EFECTO.  
ANALISIS DE ERROR HUMANO.

## OPERACION:

LISTAS DE VERIFICACION.  
REVISIONES DE SEGURIDAD.  
¿QUE PASA SI?  
HAZOP.  
ANALISIS DE FALLA Y LFEECTO.  
ARBOLES DE FALLAS Y EVENTOS.  
ANALISIS DE CAUSA - CONSECUENCIA.  
ANALISIS DE ERROR HUMANO.



## PREARRANQUE:

LISTAS DE VERIFICACION.  
¿QUE PASA SI?  
HAZOP.  
ANALISIS DE FALLA Y EFECTO.



## General Recommendations for Spacing in Petrochemical Plants

MINIMUM DISTANCE  
IN FEET

		PROCESS UNIT— <sup>AH</sup>	PROCESS UNIT— <sup>AM</sup>	TANK FARM— <sup>AM</sup>	TANK FARM— <sup>AM</sup>	PRODUCT WAREHOUSE	SHIPG. & REC'G.— <sup>AM</sup>	SHIPG. & REC'G.— <sup>AM</sup>	SERVICE BUILDINGS	BOILER AREA	FIRE PLANTS	EMERGENCY CONTROL	WATER SPRAY CONTROL	TURBINE HOTELLS	EMERGENCY PLATES	PILOT PLANTS	LARGE COOLING TOWERS	FIRE HYDRANTS	FIELD PROCESS HEATERS	
Process Unit—	HIGH HAZARD	200								250	100	50	50 - 100 to Center of Target For 100' Floor that is 25' above Surrounding Equipment, Use 300'							
Process Unit—	LOW HAZARD	100	50							50	50									
Tank Farms—	HIGH HAZARD	250	250	1/2 Dia. Larger						250		100								
Tank Farms—	LOW HAZARD	200	100	0-1/2 Dia. Larger	1/2 Dia. Larger					200										
Product Warehouse	LOW HAZARD	150	50	250	100	50				200										
Shipping & Receiving—	HIGH HAZARD	200	200	150	100	150	50			150	100	50								
Shipping & Receiving—	LOW HAZARD	150	100	100	50	20	50	—		100	50									
Service Buildings		200	100	200	100	100	150	100	See Bldg. Chart	100										
Boiler Area		200	150	200	150	100	200	100	100	—	—									

### Recommended Spacing Within Process Units

	REACT.	COMP.	TANKS	FRAC. COLU.	CONT. ROOMS														
Reactor	25 <sup>a</sup>																		
Small Compressor House or Pump House	40 <sup>a</sup>																		
Intermediate Sige. Tanks High Hazard Rundown-Feed	100 to 200	100 to 200	0-1/2 Dia.																
Fractionation Equipment	50	30	100																
Control Rooms	30 to 100	50 to 100	100	30 to 100	10														

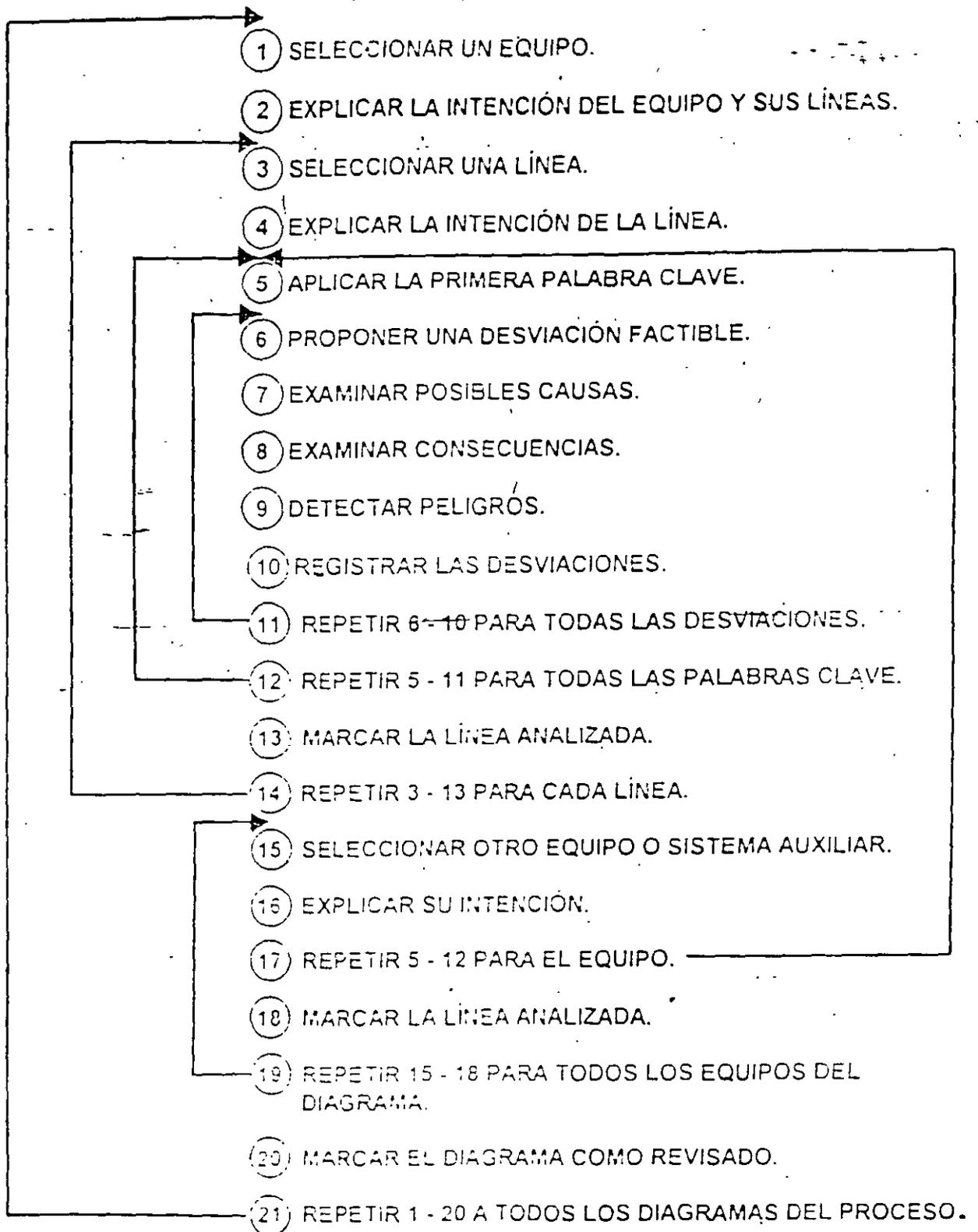
- A. Distance between process units is measured from battery limits.
- B. A high hazard process unit has explosion classification under petrochemical schedule of E-4 or E-5.
- C. High hazard tanks are class "D" under the above schedule. Class "E" requires special consideration.
- D. High hazard product warehouses contain unstable materials, low-flash flammable liquids, or highly combustible solids. These require special consideration.
- E. High hazard shipping and receiving denotes stable materials with flash point below 110° F.
- F. High hazard shipping and receiving of unstable materials requires special consideration.
- G. Service buildings include offices, gate houses, change houses, laboratories, shops, garages, maintenance warehouses, cafeterias, hospitals, etc. Experimentals laboratories classify as process units.
- H. Keep open flames 100' from vapor hazard area.
- I. Deviation from these distances requires special protective institutions such as fixed foam systems, water spray, automatic sprinklers, fire-system grading of 4 or better, or superior construction.
- J. In borderline cases, high value requires high hazard classification.
- K. Vertical storage tanks should be individually diked. If not, capacity in single dike should not exceed 25,000 bbls. For horizontal storage tanks, maximum is 400,000 gallons per group, with 100' between groups, or other suitable arrangement.

- 1. For specific vertical tank, use 3 diameters.
- 2. For specific vertical tank, use 4 diameters.
- 3. For specific vertical tank, use 2 diameters.
- 4. Standard fire-rated and sprinklered warehouse acceptable. Limit warehouse in maximum 25,000 sq. ft. floor area.
- 5. Two stations desirable.
- 6. Barricades desirable for hazardous reactors.
- 7. Over 100,000 gallons requires special consideration.

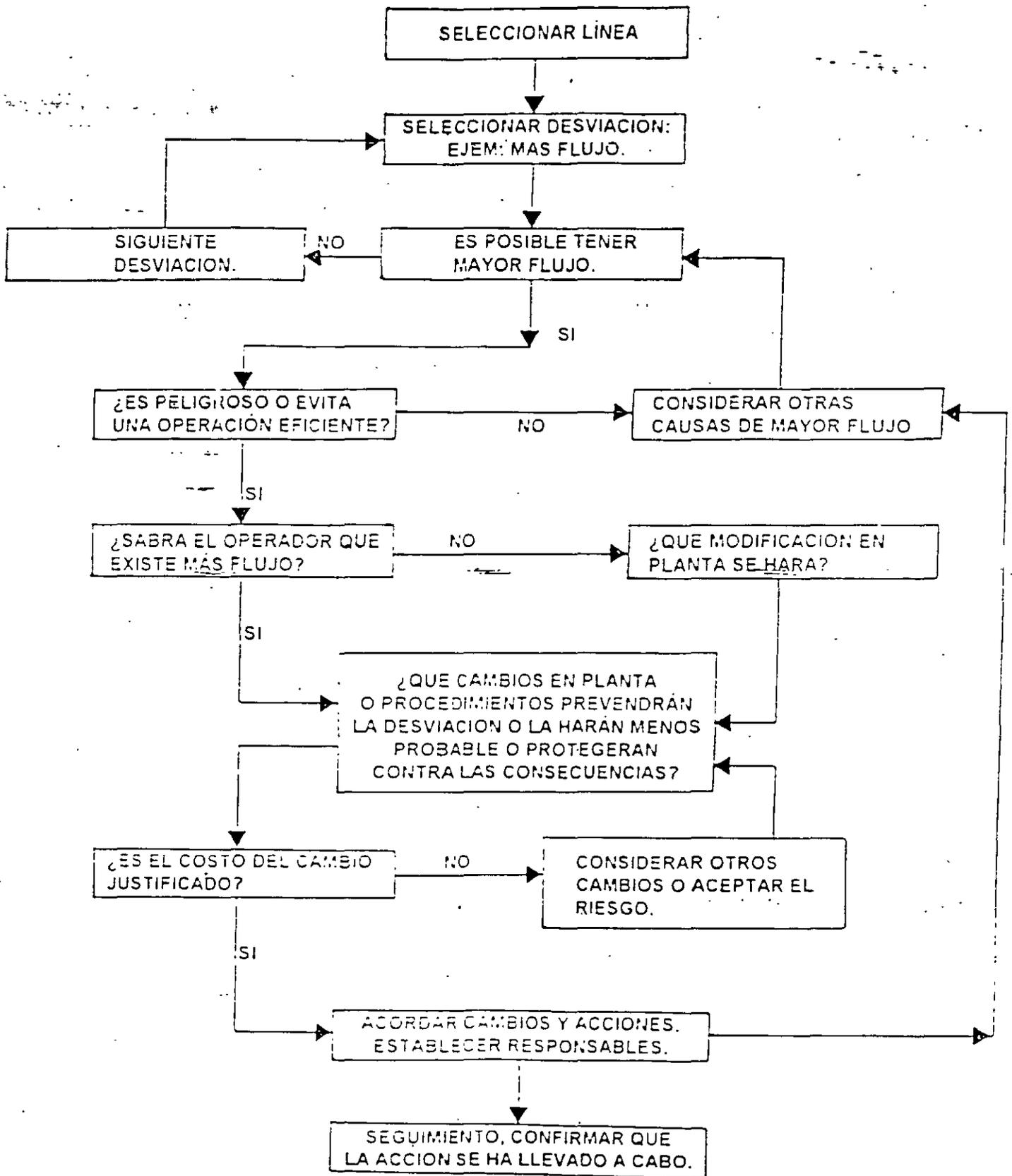
<sup>a</sup> General houses serving unusually large or hazardous units and central control rooms for multiple units or houses emergency equipment, control rooms.



## SECUENCIA DETALLADA DE LA METODOLOGÍA.



# DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGÍA.



# DIPLOMADO EN RIESGO AMBIENTAL

**C**  
**a** **URSOS**  
.....  
DISTANCIA

**Módulo III :**

**Métodos y Análisis de Riesgo**

**( Cualitativo y Cuantitativo )**

**Tema B :**

**Índice Mond  
(Para Fuego, Explosión  
y Toxicidad)**



**DEC**



**ÍNDICE MOND (PARA  
FUEGO, EXPLOSIÓN Y  
TOXICIDAD).**

# 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 lógicamente 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 almacén 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 ultimo (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 inflamable 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:

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

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

#### 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 tienen 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 másiva. 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 problemas 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 gas 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 también 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 (ver refs. 1, 2, 3, 5 y 6). 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. (ver refs 3,5 y 6).

### 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, liquido 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 critica arriba de -10 c. para estos gases se usara un factor de 30.

#### 3. Líquidos criogénicos inflamables

El material criogénico se define como un liquido 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 hidrogeno liquido) 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 tixotropicos, etc.

### d) Sujetos a calentamiento o combustión espontanea

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**

#### **d) Drenaje superficial**

Si la unidad de proceso tiene un área de contención de derrame donde el gradiente y/o drenaje a otra fosa es tal que el derrame de la unidad pueda producir un charco de líquido inflamable de más de 2" (50 mm) en el centro del área bajo la estructura o equipo de la unidad de proceso, use un factor de 100.

#### **e) Otros aspectos**

Si cualquier unidad de procesos que ocupe un área neta que exceda de 400 m<sup>2</sup> no se rodea por tres lados por caminos de acceso de 7 m. de ancho como mínimo, use un factor de 75.

Cuando parte de la unidad de proceso corresponde a almacenamiento de materias primas, productos intermedios o finales con una capacidad para más de 12 horas de demanda o producción, use un factor dependiente de la capacidad de almacenamiento involucrada. determine la más alta capacidad en el proceso para cada material como valor h (horas) y calcule el factor  $2(h-12)$ .

Si la unidad de procesos que esta siendo estudiada se localiza a menos de 10 m. del cuarto de control principal, cafetería, oficinas o limite de talleres, aplique un factor de 50; sin embargo, si la unidad esta construida sobre o abajo de la casa de control, oficinas, etc., use un factor de 250

### **7. Riesgos de toxicidad**

Los riesgos para la salud pueden variar tanto en el grado como en la forma en que se presentan. algunos son identificables en condiciones anormales de proceso, como mantenimiento o procesos fuera de control o en incendios, mientras que otros están presentes continuamente como resultado de pequeñas fugas en juntas, empaques, venteos de gases de proceso, etc. otros riesgos para la salud pueden producirse por asfixiantes como nitrógeno, metano, dióxido de carbono.

La toxicidad de gases, vapores y polvos se clasifica con base en los time weighted threshold limit values (tlv); que se basan en 8 horas de trabajo por día y 40 horas de trabajo por semana. la mayoría de los valores listados de tlv pueden ser excedidos para exposición corta (15 min) considerando que "balancearse" por periodos de tlv de manera que el valor promedio en tiempo no exceda del valor de tlv (referencia 8).

Así mismo la presencia de fuentes radioactivas y los factores físicos como el calor, se deben considerar como riesgos relacionados con "toxicidad".

### a) Valores TLV

1) Identifique el material más peligroso en la sección como el que se presenta en cantidad apreciable con el valor de tlv más bajo o el mayor riesgo tóxico (por ejemplo, en el caso de absorción por la piel). Este material puede ser diferente al usado como material clave.

2) Para el valor del tlv se asigna un factor como sigue:

tlv de 0.001 ppm o menos	-factor de 300
tlv > 0.001 ppm hasta 0.01 ppm	-factor de 200
tlv > 0.01 ppm hasta 0.1 ppm	-factor de 150
tlv > 0.1 ppm hasta 1 ppm	-factor de 100
tlv > 1 ppm hasta 10 ppm	-factor de 75
tlv > 10 ppm hasta 100 ppm	-factor de 50
tlv > 100 ppm hasta 1000 ppm	-factor de 30
tlv > 1000 ppm hasta 1%	-factor de 10
tlv > 10 ppm hasta 10 ppm	-factor de 10
tlv > mayor 1% (ejem. asfixiantes simples)	-factor de 0 (cero)

### b) Forma de material.

Si el material se presenta en el proceso bajo condiciones criogénicas, asigne un factor de 200.

Si el material se presenta en el proceso como partículas sólidas o polvo, asigne un factor de 200.

Si el material se almacena bajo condiciones gaseosas con una densidad relativa de 1.3 con relación al aire, o más asigne un factor de 25.

Si el material no tiene olor y no se puede ver en su nivel tóxico, aplique un factor de 200; de otra manera, cero.

### c) Riesgo de m corta.

El siguiente factor que se puede ver en su nivel permisible por un periodo corto (15 minutos) relativo al tlv medio en tiempo, se debe determinar el factor como sigue:

Factor de excursión =  $stl/tlv$

cuando el factor el excursión es de 1.25	factor de 150
cuando el factor el excursión es > 1.25 hasta 2	factor de 100
cuando el factor el excursión es > 2 hasta 5	factor de 50
cuando el factor el excursión es > 5 hasta 15	factor de 20
cuando el factor el excursión es > 15 hasta 100	factor de 0
cuando el factor el excursión es > 100	factor de -100

## **b) Factores físicos**

Los factores físicos como el calor más alto que el promedio, radiaciones ionizantes o ultravioletas, humedad, gran altura de otros, provocan un mayor esfuerzo del cuerpo y aumentan los efectos de una exposición tóxica. donde se trabaja continuamente a temperaturas superiores a 32 °c y se tiene muchas horas de trabajo (más del 25% de tiempo extra), aplique un factor de 20. se deben evaluar otros factores físicos para caso individuales y se debe de aplicar un factor de 0 a 50 cuando sea apropiado. si hay partículas molestas, use un factor de 10 (ver referencia 8).

## **8) CÁLCULOS DEL ÍNDICE GLOBAL MOND/ (M)**

$$M = b (1 + m/100) (1 + p/100) [1 + (s + q + l)/100 + t/400]$$

donde:

b = factor material

m = factor por riesgos especiales del material

p = factor por riesgos generales del proceso

s = factor por riesgos especiales del proceso

q = factor por riesgos por cantidad

l = factor por riesgos por lay out

t = factor por riesgos de toxicidad

## RANGO DEL ÍNDICE GLOBAL MOND GRADO RIESGO

0 - 20	suave
20 - 40	ligero
40 - 60	moderado
60 - 75	moderadamente alto
75 - 90	alto
90 - 115	extremo
115 - 150	muy extremo
150 - 200	potencialmente catastrófico
más de 200	muy catastrófico

### 9) cálculo de carga de fuego (f)

$$f = (bk/n) * 20\ 500 \text{ btu/ft}^2$$

donde:

b = factor material

k = cantidad de material

n = área normal de trabajo.

Se calcula la carga de fuego de la unidad porque da una indicación de la duración del fuego en caso de un incidente. el cálculo se basa en los btu/ft<sup>3</sup> de área plana, lo que permite efectuar una comparación con valores para otros tipos de edificios.

Cantidad de fuego (f) en btu/ft <sup>2</sup> del área normal de trabajo.	Rango de la categoría	duración	comentarios
		(horas)	

0 - 50 000	ligero	1/4 - 1/2	
50 000 - 100 000	bajo	1/4 - 1	casas
100 000 - 200 000	moderado	1 - 1	fabricas
200 000 - 400 000	alto	2 - 4	fabricas
400 000 - 1000 000	muy alto	4 - 10	edificios
1 000 000 - 2 000 000	muy alto	4 - 10	bodegas
2 000 000 - 5 500 000	muy alto	4 - 10	
5 000 000 - 10 000 000	muy alto	4 - 10	

## 10) cálculo de potencial de explosión

$$e = 1 + (m + p + s)/100$$

$$a = b (1 + m/100) qhe (t/300) (1+p)1000$$

donde:

m = factor por mezclado y dispersión

h = altura de la unidad

t = temperatura del proceso

p = factor por alta presión

Se calcula un índice de explosión interna de la planta, como una medida del riesgo de explosión interna de la planta. las categorías asignadas a los valores del índice (e) son:

### Índice de explosión interna

de la sección (e)	Categoría
0 - 1	ligero
1 - 2.5	bajo
2.5 - 4	moderado
4 - 6	alto
arriba - 6	muy alto

Esto no representan el único potencial de explosión de la sección. De un estudio de un gran numero de escapes de sustancias inflamables que han dado lugar ya sea a explosiones aéreas o a nubes que han causado inicialmente fuego por ignición, ha sido posible derivar el índice ( a ) de explosión aérea.

las categorías asignadas a varios valores a son:

explosión aérea índice ( a )	categoría
0 - 10	ligero
10 - 30	bajo
30 - 100	moderado
100 - 500	alto
arriba de 500	muy alto

### 11) cálculos de riesgos de toxicidad

$$u = \sqrt{100 ( 1 + ( m + p + s ) / 100 )}$$

Un índice unitario de toxicidad se calcula de manera que represente la influencia de la toxicidad y consideraciones afines sobre el control y supervisión de la sección de la planta. Sobre el control y supervisión de la sección de la planta, las categorías asignadas a los valores del índice unitario de toxicidad (U) son:

#### INDICE UNITARIO DE TOXICIDAD.

TOXICIDAD U	CATEGORIA
0 - 1	ligero
1 - 3	bajo
3 - 6	moderado
6 - 10	alto
arriba de 10	muy alto

Usando una combinación del índice unitario de toxicidad U y el factor de cantidad Q. Se obtiene el índice del máximo incidente tóxico c.

Se debe aclarar que si ha sido derivado a partir de una cantidad de material que no es el material tóxico, en este caso se debe derivar de la cantidad de material tóxico presente en la sección:

#### ÍNDICE DEL MÁXIMO INCIDENTE TÓXICO ( C ) CATEGORÍA

0 - 20	ligero
20 - 50	bajo
50 - 200	moderado
2100 - 500	alto
arriba de 500	muy alto

### 12) índice global de riesgo (r).

$$r = d ( 1 + ( fuea ) 1/2 ) / 10 e3$$

si uno de los factores tiene un valor de cero, se debe considerar un valor mínimo del en esta formula.

las categorías para r se aplican como sigue:

<b>FACTOR DE RIESGO (R)</b>	<b>CATEGORÍA DEL RIESGO GLOBAL</b>
-----------------------------	------------------------------------

0 - 20	suave
20 - 100	bajo
100 - 500	moderado
500 - 1100	alto (grupo 1)
1100 - 2500	alto (grupo 2)
2500 - 12 500	muy alto
12500 - 65 000	extremo
> 65 000	muy extremo

El uso de esta categoría del riesgo global en el arreglo de una planta se considera con más detalle en la referencia 10 como diferentes niveles aceptables de riesgo global, pueden ser apropiadas según las circunstancias, la lista de valores del factor global de riesgo a la mitad del rango se divide en dos conjuntos más pequeños: alto (grupo 1) y alto ( grupo 2), ya que uno puede considerarse aceptable y el otro no.

### **13) DISMINUCIÓN EN EL VALOR DE LOS ÍNDICES POR LA ADOPCIÓN DE MEDIDAS ADECUADAS DE SEGURIDAD MEDIANTE EL DISEÑO.**

El valor y la categoría de los índices se pueden considerar aceptables; en caso contrario, se requerirá trabajo posterior para lograr tal objetivo. El primer paso es revisar los factores individuales y asegurarse si se puede hacer una reducción por cualquiera de las siguientes razones:

- ⇒ Si se ha sobrestimado un riesgo en la evaluación original.
- ⇒ Alteraciones hechas a tamaños, condiciones de operación, etc., Relativas a las unidades que forman parte de la sección.
- ⇒ Sustitución por diferentes tipos de equipo de proceso de aquellos seleccionados originalmente.
- ⇒ Adopción de diseños de equipo que involucren menos riesgos de fallas de operación de la unidad o fugas de materiales clave.

En el caso de propuesta para una planta con proceso nuevo, pueden existir pocas posibilidades de efectuar cambios a menos que se efectúe una investigación adecuada de las alternativas. si un cambio en particular puede reducir en forma considerable el riesgo, se justifica el trabajo de investigación necesario.

Con plantas en operación, los registros y experiencias y accidentes deben tomarse como guía para mejorar diseños y técnicas de operación. sin-embargo, debe tenerse cuidado al usar las experiencia de operación para disminuir los factores de riesgo en áreas donde se hayan presentado accidentes. para poderlo hacer se requiere que:

- a) La planta se haya operado de la misma manera por un periodo de tiempo determinado.
- b) Que se hayan presentado un número adecuado estadístico de paros, arranques y otras situaciones anormales.

Siempre que los factores de riesgo individual se reduzcan, el nuevo valor debe aparecer en una columna de "valor reducido" en las formás y se debe añadir una nota de la razón del cambio. una vez que los cambios individuales se hayan hecho, los índices se deben recalcular. esto se identifican por el sufijo uno para distinguirlos de los valores calculados anteriormente.

#### **14) clasificación de factores de seguridad y medidas preventivas.**

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

- i.- Reducción de riesgo por disminución de la frecuencia.
- ii.- Reducción de riesgo por disminución de la gravedad potencial.

La primera clase comprende los factores de seguridad y medidas preventivas tendientes de evitar los accidentes y/o que disminuye las frecuencia de los mismos. la naturaleza de estos factores se relaciona con el diseño mecánico, instrumentación de control y seguridad, procedimientos de operación y mantenimiento, entrenamiento de personal enfocado a la seguridad, la buen a operación de la planta se puede decir de algunos de estos factores que actúan en forma directa reduciendo el potencial de riesgo; como el entrenamiento de personal. juegan un papel importante al asegurar que la eficiencia de los factores de diseño no se vea afectada por errores humanos.

La segunda clase de factores de seguridad y medidas preventivas esta constituida por las acciones que se deben tomar en cuando suceda un accidente para minimizar sus consecuencias, además para minimizar sus consecuencias, además de aquellas como protección contra incendios, sistemas fijos para combatir fuegos, etc., que también sirven para reducir el daño producido por fuegos y explosiones. estos son muy importantes ( a pesar de que la frecuencia de los accidentes se reduzca por otros medios), porque un accidente puede presentarse en cualquier momento sin importar la frecuencia.

Hay situaciones particulares en las cuales los factores o cambios específicos pueden lograr mejoras en ambas clases al mismo tiempo. Para el propósito de este manual se clasifican de acuerdo al efecto más importante que se intente producir.

No se deben incluir bajo ambas clasificaciones porque esto produciría una disminución excesiva de riesgos.

El efecto combinado de estas dos clases de medidas es disminuir la categoría de riesgos de una unidad, lo que es aceptable y para decidir asuntos tales como un arreglo apropiado para la planta.

Los factores seleccionados en cada apartado se multiplican entre sí para obtener los valores de k1 a k6. Cuando algún inciso no aplique, ya sea porque no se cuente con lo que especifique o no sea necesario, se le asignará un valor de 1.

## **MEDIDAS DE DISMINUCIÓN DE LA FRECUENCIA**

### **k1) sistemas de contención.**

Referido a la reducción de riesgo como consecuencia de riesgo como consecuencia de cualquier mejora en el diseño estándar de los recipientes a presión y sistemas de tuberías y protección de estos contra daño accidental o efectos de "knock-out", incluyendo procedimientos de mantenimiento y modificaciones. Los sistemas de detección de fugas que puedan advertir de un escape de material, si el equipo está protegido adecuadamente contra sobrepresión interna y también si el material venteado o de desecho se envía a lugares seguros.

Las fallas del sistema de contención se indican por fugas del contenido de la atmósfera. Muchas mejoras del sistema de contención (especialmente en unidades que llevan a cabo una operación o reacción específica), se puede hacer por la selección de un diseño diferente de juntas o empacres y a menudo, al reducir su número en la unidad. Igualmente, se pueden hacer cambios en los materiales de construcción y reducir la influencia de los puntos mecánicos débiles (tales como fuelles de expansión).

Cuando se trata de sistemas de almacenaje, contenedores de transporte, tuberías de transferencia o sistemas de alta velocidad de reacción a presión, el principio básico para mejorar los sistemas de contención es adoptar un estándar de diseño superior al común y una mejor técnica de fabricación/inspección que la usual. Como la mayoría de estos sistemas tendrán grandes inventarios, la

disminución de riesgo potencial es considerable con estos cambios y tienen que ser compensada adecuadamente antes de que estén disponibles las clasificaciones reales de riesgo del arreglo general de la planta.

#### **a) Recipientes a presión.**

Si un recipiente esta de acuerdo con el ASME pressure vessel code section 8, div. 1 o 2, se utiliza un factor de disminución de 0.9. si no se cuenta con información sobre el código que se utiliza en su construcción o el recipiente esta deteriorado, se utiliza un factor de 1.0.

#### **b) Tanques de almacenamiento atmosféricos verticales.**

Los tanques de almacenamiento atmosférico verticales se usan para almacenar líquidos y gases licuados a presiones que van de 6 mbar de vacío interno a un presión de vapor interna máxima de 140 mbar (más el peso contenido) y se diseñan de acuerdo con los estándares de ingeniería aprobados. no es probable en un tanque atmosférico de almacenamiento vertical hacer un prueba de presión al grado que normalmente se hace con un recipiente a presión. el esfuerzo adicional que se tiene en un tanque de almacenamiento vertical por efecto de la corrosión, es menor en los tanques de diámetro grande (igual que el caso de los recipientes a presión) que con los tanques de almacenamiento pequeños.

Por estas razones, un tanque de almacenamiento vertical de gran diámetro no garantiza un factor de disminución aun cuando se estipule en los códigos de diseño el uso de una pequeña cantidad de pruebas no-destructivas.

Esto no implica que el estándar de construcción sea inferior sino que la ausencia de pruebas de rendimiento más la verificación mínima de soldadura es indicada en el asme, pressure vessel code, sección 8, div. 1 o 2. se aplica un factor de disminución de 0.9 (o excepcionalmente 0.8) para tanques de diámetro pequeño (hasta 10 metros de diámetro), o cuando en casos especiales se adoptan estándares extensivos de prueba no-destructivas y otras pruebas que las normales.

#### **c) tuberías de transferencia.**

Las tuberías que se usan para transportar cantidades de materiales peligrosos entre unidades de una planta o entre complejos de plantas de un sitio dado, o entre fabricas a través del campo o terceras partes, frecuentemente se diseñan con estándares superiores a los normales para tuberías de proceso. el potencial total de fuga de estas tuberías de transferencia puede ser grande, debido a que los inventarios considerables de material en la tubería y a los sistemas de recipientes de recepción/alimentación.

En el American National Standar For Gas Transmission And Distribution Piping Systems (sistemas de tuberías para transmisión y distribución de gas de E.U.A.), referencia 12, se menciona en la cláusula 841.151 cuatro tipos de diseño permitidas que se reducen progresivamente dependiendo de la localización a fin de controlar el riesgo a un nivel razonable de exposición a comunidades.

El grado de reducción global de riesgo logrado por estándares de diseño superiores también se refiere a eliminar conexiones bridadas hasta que sea posible, así como el uso de diseños óptimos donde las bridas sean necesarias y el uso de modelos de válvulas, bombas, etc., en los que las fugas de los empaques se reduzcan al mínimo por arreglos especiales de doble sello, diseños de rotor canned, sellos de fuelle, etc.

Para uso de procesos, la tubería debe sujetarse a un prueba hidrostática después de su fabricación y también a una prueba apropiada al ser instalada. no es aceptable la limitación de numero de bridas normales ni de bridas de traslape. las condiciones de diseño se proporcionan en la American National Standar For Gas Transmission And Distribution Piping Systems (sistemas de tuberías para transmisión y distribución de gas de E.U.A.), referencia 13, para servicio de fluidos no incluidos en las categorías d o m.

Esto se considera como el diseño estándar "normal" respecto al cual se asignan los factores de disminución por mejoras de tubería de transferencia de fluido (dentro o fuera de la planta).

Los factores de disminución para tubería de transporte de fluidos diseñada de acuerdo con el ANSI B31.8: 1975 se asignan de la siguiente manera:

- 1) Cuando la tubería se diseña y se construye de acuerdo a las clases de localización 1, 2, 3, o 4 de conformidad con la cláusula 841. 151, use un factor de disminución de 0.90.
- 2) si el tipo de diseño y construcción adoptado en una categoría más resistente que el tipo especificado, use un factor de disminución de 0.80.
- 3) Si el tipo de diseño y construcción adoptado es dos categorías (o su equivalente, aunque no este en el código) más resistente que el especificado use un factor de disminución de 0.70.
- 4) Si el tipo de diseño y construcción adoptado es 3 categorías (o su equivalente, aunque no este en el código) más resistente que el especificado, use un factor de disminución de 0.60.

En adición a los anteriores factores de disminución por diseño y construcción de tubería de acuerdo a diseños más resistentes que los estándar, se debe aplicar un factor de disminución adicional apropiado por medidas relacionadas con fugas en juntas, válvulas, bombas, etc., para dar un factor de disminución de "fugas" se deben asignar como sigue:

1) Por el uso de tubería completamente soldada y 100% radiografiada sin bridas, excepto en las secciones de válvulas, como se especifica en la cláusula 846.11 de la ref. 23, use un factor de 0.90.

2) Por el uso de bridas de cuello soldadas en lugar de bridas de traslape en todas las uniones bridadas, use un factor de 0.95.

3) Por el uso de caras realzadas y juntas restringidas (anillos sólidos en el interior y exterior o diseños de trampa) en todas las uniones bridadas, use un factor de 0.95.

3) Por el uso de diseños de rotor coned, válvulas selladas por fuelles y otros sistemas especiales para sellado de la flecha, use un factor de 0.95.

Se permite usar más de uno de los factores anteriores multiplicándolos entre sí.

Usando ambos grupos de factores de disminución para tubería de transferencia bajo condiciones óptimas, se puede obtener un factor de reducción total hasta de 0.50.

#### d) Contenido adicional, chaqueta para recipientes y diques.

Una técnica que se puede aplicar para mejorar los estándares de contención de recipientes de almacenamiento y de proceso a presión, así como en recipientes atmosféricos y en los grandes tuberías de transferencia, es proveerlos de una segunda (y ocasionalmente tercera) cubierta o pared, de manera que más de una "barrera" tenga que fallar antes de que haya un escape incontrolable a la atmósfera. también un dique es medio de mejorar los estándares de contención para que una falla no conduzca a un escape de material que se extienda sino que asegure la permanencia en un área limitada para combatir incendios, neutralizar o recuperar.

Cuando un recipiente de almacenamiento que contiene líquidos inflamables o tóxicos (o gas licuado bajo condiciones totales o parciales de refrigeración) se provee con una segunda pared de contención (para presión atmosférica), que se construye a todo lo largo del recipiente, se le asigna un factor de 0.45 si la segunda pared resistente la carga del contenido total después de la falla de la

primera pared. en el caso de un recipiente a presión, la provisión de una segunda cubierta fuera de una capa de aislamiento también capaz de contener los contenidos a presión, aplica un factor de 0.50.

Bajo condiciones donde una segunda pared o cubierta este provista por fuera de un recubrimiento de al menos 150 mm. de espesor y la pared o la cubierta este sellada y tiene una resistencia equivalente a 3 mm. de acero suave, use un factor de 0.75.

En el caso de los recipientes transportables que contengan líquidos inflamables o tóxicos (gases licuados) que están provistos en los extremos con protección contra impacto equivalente a 12 mm de espesor de acero suave, use un factor de 0.80. estos se puede aplicar en adición a los factores de la segunda cubierta ya especificados.

Cuando las tuberías de transporte están provistas de una cubierta exterior equivalente a 6 mm. de acero suave, aplique un factor de 0.6.

En casos excepcionales en los que se proporciona una tercera cubierta o pared, multiplique entre si los factores apropiados para cada una de ellas.

Cuando el área de tanques de almacenamiento esta provista de diques según los requerimientos normales para líquidos inflamables, use un factor de 0.95. si la altura dela pared del dique es igual al 50% de la altura del tanque más alto que se encuentra dentro de el, o cuando su capacidad se cálculo tomando en cuenta la formación de espuma u otra condición más severa, use un factor 0.75. cuando la pared del dique es vertical o incluida hacia adentro ( más acerca aplique un factor adicional de 0.85.

Si la base del dique es de concreto o se aplanado para tener para tener menor superficie de contacto con el material que se escape, aplique un factor adicional de 0.90. si el dique esta sellado por completo de manera que el material que se escape no pueda salir fuera del dique ni penetrar en la tierra, use un factor adicional de 0.90.

Si especialmente para equipos de investigación o planta piloto, las condiciones de diseño del recipiente son capaces de soportar una explosión interna previsible, use un factor de 0.4.

Se puede incrementar la eficiencia de los sistemas de contención si se tienen instalados en forma permanente sistemas de detección de fugas de gas o vapores de todas las posiciones factibles alrededor de la sección. este sistema de detección de fugas debe contar con una indicación de la localización del sensor que es respondido en el cuarto de control, desde donde se puede tomar una acción inmediata para aislar y/o depresurizar el área. se asigna factores de

reducción como sigue:

1.- Si el sistema de detección de fugas se ha instalado de manera que sea necesaria una investigación antes de iniciar las actividades de paro, use un factor de 0.95.

2.- Si el sistema de detección de fugas permite a los operadores en el cuarto de control la rápida identificación del punto que requiere aislarse y/o despresurizado, use un factor de 0.90.

3.- Cuando por detección de la fuga se puede tener una identificación y respuesta rápida para paro de la planta, por parte de los operadores en el cuarto de control, use un factor de 0.85.

4.- Cuando después de la detección de la fuga, los operadores en el cuarto de control puedan lograr el aislamiento y la efectiva despresurización por medio de válvulas accionadas remotamente con un tiempo de respuesta de 10 a 20 segundos por diámetros de 2" - 4" de 30 segundos a 1 minuto para válvulas con diámetro entre 9" y 18" en si proporcionalmente, use un factor de 0.80.

5.- En el caso de líneas de transferencia en el que todas las válvulas de corte pueden operarse remotamente por el personal del cuarto de control, aplique un factor de 0.90.

Los factores anteriores se aplican cuando las unidades de detección operan una concentración equivalente al 25 % del límite inferior de inflamabilidad; si se ajustan para operar una concentración menor o igual al 10% del límite inferior de inflamabilidad, aplique un factor adicional de 0.90.

f) manejo del material relevado, venteado o de desecho.

En general se reduce el riesgo si el material que debe ser eliminado de un sistema de contención se maneja de tal manera que se evite la contaminación del ambiente por lo que se puede aplicar un factor de reducción apropiado por mejorar el sistema de contención, como sigue:

1.- Si todo el material en estado gaseoso o de vapor que se releva se ventea en una emergencia o se desecha, se envía a un quemador elevado o a un receptor de venteo cerrado, use un factor de 0.9.

2.- Si se arregla que el líquido u otro contenido que se vaya a desechar se envíe a un quemador del campo a una fosa alejada (cuando menos 15 m), use un factor entre 0.95 y 0.90 de acuerdo con la eficiencia que se prevea para el sistema en el enfriamiento neutralización de reacciones peligrosas.

## **K2) CONTROL DE PROCESO.**

Referido a alarmas y/o sistemas de paro de seguridad activados por condiciones normales específicas de proceso. Los factores especiales tales como sistemas de enfriamiento de emergencia para el proceso, suministro de energía de emergencia para operaciones vitales (como unidades de refrigeración, agitadores y bombas) y sistemas de gas inerte, están claramente relacionados con el control de procesos bajo condiciones normales y construyen frecuentemente un factor esencial para cualquier sistema de seguridad.

La instalación de equipo de supresión de explosión, equipo diseñado para registrarlo o equipo de venteo seguro para explosiones internas, también son parte importante del sistema de control de procesos.

La interconexión de arreglos de válvulas en líneas de procesos y la posibilidad para aprobar la instrumentación y el control de seguridad durante la operación de la unidad, son otros aspectos deseables para un buen sistema de control de procesos.

Una mejora en la eficacia del control de procesos es cuando se efectúa por medio de una computadora que también esté ligada al sistema de paro de seguridad.

Un aspecto muy importante del control de procesos son los procedimientos de operación para:

- ⇒ Operación Normal
- ⇒ Arranque
- ⇒ Paro
- ⇒ Trabajo De Mantenimiento
- ⇒ Prevenir Situaciones Anormales
- ⇒ Modificaciones A La Planta

Así mismo es esencial para el buen funcionamiento del control del proceso el enfriamiento de los operadores, para que la protección, la inspección frecuente del equipo de la planta por operadores o donde haya un circuito cerrado de televisión adecuado que ayude efectivamente al control de proceso vía instrumentación instalada

Siempre que se cuente con un sistema automatizado de control de proceso y se tenga confianza en los sistemas de alarma de seguridad y de paro, resulta necesario el contar con el suministro adecuado de energía para el control de las

principales operaciones durante condiciones anormales. todos estos aspectos requieren la adopción de factores de reducción de acuerdo con la confianza que se tenga al sistema como fue diseñado.

#### **A) Sistemas de alarma.**

La ayuda más simple para la operación segura de una planta es el proporcionar un sistema de alarma que indique las diversas fallas que se pueden encontrar en operación. si el sistema requiere de decisiones por parte del operador y acciones de corrección o paro para evitar una acción potencial de riesgo que puede convertirse a un accidente, un factor de 0.95 es apropiado.

Si el sistema de alarma es del tipo en que las condiciones anormales específicas se indiquen como situaciones peligrosas contra la retroalimentación de otras indicaciones de alarma aplique un factor de 0.90.

#### **b) Suministro de energía de emergencia.**

El contar con suministro de energía de emergencia para servicios esenciales (aire de instrumentos, instrumentación de seguridad y de control clave, agitadores, bombas, ventiladores) donde el cambio de suministro normal al de emergencia se lleva a cabo automáticamente sin necesidad de rearmar motores constituye un aspecto clave en la reducción de riesgos. el número de unidades de energía que se justifica para tener este tipo de servicio, solamente puede determinarse efectuando un estudio detallado de riesgos en la sección. sin embargo, es posible definir durante las primeras etapas del diseño si se va a contar con un suministro de energía de emergencia con cambio automático; si se toma esta decisión, un factor de 0.90. es apropiado.

#### **c) Sistemas de enfriamiento de proceso.**

Es frecuente que cuando se presenta una situación anormal en la planta, sea necesario evitar que los sistemas de enfriamiento y refrigeración dejen de funcionar rápidamente. si los sistemas de enfriamiento de proceso están diseñados con una capacidad para poder continuar trabajando por espacio de 10 minutos al presentarse un situación anormal se usa un factor de 0.95. si el sistema de enfriamiento es capaz de proporcionar el 150% de los requerimientos marcados en el diagrama de flujo durante 10 minutos se aplica un factor de 0.90.

#### **d) Sistemas de gas inerte**

Si se cuenta con una cantidad de gas inerte capaz de purgar toda la sección cuando se requiera, sin suspender el suministro normal se aplica un factor de

0.95.

Si los equipos que contienen líquidos inflamables cuentan con un colchón permanente de gas inerte para reducir el nivel de oxígeno por debajo de 1% v/v (en base libre de combustible), se aplica un factor de 0.8.

Si se tiene conectada la sección una tubería permanente de vapor, asigne un factor de 0.90.

#### e) Estudios de riesgo

Solamente pierde ser efectivo un sistema de paro de seguridad si se ha hecho un estudio completo de riesgos en la sección, para identificar las fallas que puedan crear condiciones riesgosas y cada una de estas citaciones se ha evaluado para obtener el grado de riesgo resultante. En un sentido amplio, el valor inicial del factor  $r$  de riesgo global da una idea de la magnitud potencial del incidente que puede presentarse en una sección, pero no pretende identificar las fallas que lo originan.

Antes de seleccionar los factores de reducción para los sistemas de control de seguridad propuestos (o existentes) se necesitan factores de reducción equivalente al grado de detalle con que se ha efectuado (o se efectuara) el estudio de riesgos. Se aplica un factor entre 1.0 y 0.7 de acuerdo al tiempo y al personal con experiencia disponible para el estudio de riesgos.

La categoría del riesgo global y su aceptación (junto con los resultados de riesgos) servirá para definir la eficiencia que debe tener el sistema de paro de seguridad con la que se obtiene un factor de reducción. Es obvio que antes de asignar un factor de reducción es importante verificar que sea efectuado (o que se efectuará) un estudio completo de riesgo; de otra manera puede suceder que cualquier sistema de paro de seguridad seleccionado no se diseñe correctamente.

#### f) Sistemas de paro de seguridad

Se pueden identificar tres niveles de sistemas de paro, para los que se tienen los siguientes factores de reducción.

1.- Cuando se usa un sistema de protección altamente integrado un factor de 0.75 es apropiado. Estos sistemas constan de varias señales de disparo consideradas por un sistema de votación en el sistema de paro de seguridad antes de que cualquier instrumento (más de uno por servicio) de paro sea activado.

2.- Un nivel intermedio de sistemas de paro es el sistema de redundancia directa donde se duplican las funciones de disparo de manera que una condición anormal iniciara el paro. para este tipo de sistema de seguridad se aplica un factor de reducción de 0.85, a menos que se tenga otra opinión por parte de ingenieros de seguridad y control.

3.- Para el sistemas simple de paro de seguridad constituido solamente por funciones individuales de disparo o paro u operaciones de venteo, es apropiado un factor de 0.95 se debe recalcar que es necesaria la experiencia o guía de un experto para asignar factores de reducción en un estudio de riesgos y par todo lo relacionado con sistemas de paro, y que los valores sugeridos constituyen una guía básica. si se puede probar regularmente la instrumentación de control y de seguridad con la planta en operación y la frecuencia de las pruebas se define de acuerdo al análisis de confiabilidad y estudios de riesgos use un factor adicional de 0.80.

Si como parte de la sección que tiene equipo rotatorio como compresores, ventiladores, turbinas, etc., cuentan con equipo de detección de vibración, seleccione un factor de 0.90 únicamente consta de alarmas y de 0.80 si se inicia el paro de sección.

#### **g) control de computadora.**

Si la planta esta controlada por computadora en línea directa a los controles y monitores de flujo de proceso de manera que continuamente se toman acciones correctivas, se logra generalmente una operación más uniforme que con instrumentación o control manual. esto tiene una influencia para el nivel de riesgo de la planta siempre que esta sea operada únicamente por control de computadora y que tenga funciones de paro independientes del sistema de control de paro. si se tiene estas condiciones, se usa un factor de 0.85. cuando la computadora en línea funciona únicamente como ayuda para los operadores no controla directamente las operaciones clave o cuando la planta se opera frecuentemente con la ayuda de la computadora, use un factor de 0.95.

#### **h) protección contra explosiones y reacciones incorrectas.**

La planta esta provista de un sistema de interlock para prevenir el flujo incorrecto de material y evitar reacciones indeseables aplique un factor de 0.95.

Cuando se tiene instalado un equipo de supresión de explosión en una unidad de proceso o de almacenamiento, use un factor de 0.80. si el equipo de la planta esta provista de instrumentos de relevo de sobrepresiones o de venteo de explosión (en el caso de riesgo de explosión interna) adecuados para protegerlo de condiciones anormales previsibles, seleccione un factor entre 0.95 y 0.85 de acuerdo a la eficacia de los instrumentos de sobrepresiones en el caso de: gas,

vapor, neblina o venteo de reacción interna. con riesgos de explosión de polvo, debe usarse un rango de 0.90 y 0.70, seleccionando factores cercanos de 0.90 para los polvos que producen explosiones más violentas.

En el caso de edificios que manejan polvos y productos similares, se seleccionan un factor de 0.85 si se cuenta con relevo de explosión para el edificio diseñado según NFPA o un código equivalente.

#### **i) Instrucciones de operación**

Las instrucciones de operación debe cubrir las condiciones normales de operación pero su valor se aumenta si incluye otros aspectos como:

- 1.- arranque
- 2.- paro normal
- 3.- paro de emergencia
- 4.- arranque después de un paro de poca duración
- 5.- procedimientos para el mantenimiento incluyendo permisos de trabajo o sistemas de limpieza, descontaminaron para mantenimiento etc.,
- 6.- arranque después del periodo de mantenimiento.
- 7.- situaciones anormales predecibles
- 8.- procedimientos de control para modificación de equipo de tubería (necesidad de re-examinar los estudios como resultado de la modificación).
- 9.- Condiciones normales de operación.
- 10.- Condiciones normales durante el paro.
- 11.- Condiciones de operación con una capacidad mayor (por arriba) de la mencionada en el diagrama de flujo)
- 12.- Condiciones cuando esta recirculando (recirculación total sin reacción química a temperatura y presión normal)

Para aplicar el factor, determine cuantas condiciones de las doce mencionadas arriba se cubren efectivamente. Si el numero de condiciones cubiertas es x, aplique un factor de:

1 - x/100

Este factor de reducción se encontrara en el rango entre 0.97 y 0.88, dependiendo del grado de explicación que tenga las instrucciones de seguridad.

**j) Supervisión de la planta.**

Si la planta se encuentra normalmente patrullada a todas horas del día y de la noche y se pueden tener una buena vigilancia del equipo principal mediante el circuito cerrado de televisión, use un factor de 0.95. si es posible ponerse en contacto con todos los operadores por medio de un radio o un medio equivalente desde el cuarto de control use un factor adicional de 0.97.

### **K3) ACTITUDES DE SEGURIDAD.**

La actitud de la gerencia hacia normás de seguridad contribuye (cuando el énfasis es correcto) significativamente a la reducción de la frecuencia de accidentes. el resultado de fomentar la seguridad se ve en aumento en el nivel de entrenamiento de todo el personal, la adhesión o procedimientos de operación establecidos, buenas normás de mantenimiento, la aplicación correcta de sistemas de aprobación a las modificaciones y permisos de trabajo, verificaciones regulares y eficientes de todos los sistemas de seguridad y control y un informe concienzudo de circunstancias anormales, fallas y accidentes menores.

la actitud gerencial hacia la seguridad, solo será plenamente efectiva si es visible y esta respaldada por actividades apropiadas (inspección, exigencia, modelaje, acciones disciplinarias, entre otras.)

Aunque la planta este adecuadamente diseñada, construida, provista de instrucciones de operación por escrito, etc., la actitud general en el sitio hacia las normás de seguridad tendrá efecto sobre el grado de alcance en la obtención de un operación segura.

**a) Actitud de la gerencia.**

Es de esperarse que en toda compañía y sitio bien organizado se tenga la firme resolución de seguir normás altas de procedimientos de seguridad, se selecciona un factor de 0.95 y 0.90.

### **b) Entrenamiento en seguridad.**

Si regularmente se lleva a cabo un programa de entrenamiento sobre seguridad que incluya a todos los operadores, personal administrativo, auxiliar o del contratista en planta, use un factor entre 0.80 y 0.95, de acuerdo a las características del programa.

### **c) Procedimientos de mantenimiento y seguridad.**

La observancia estricta de permisos de trabajo o sistemas de certificación de limpieza para mantenimiento y trabajos de modificaciones proporciona un factor entre 0.98 y 0.90, dependiendo del apego a los procedimientos.

En una planta donde se efectúe el mantenimiento preventivo programado, se usa un factor adicional de acuerdo a la eficacia con la que se efectúen las inspecciones de seguridad y limpieza en la planta, se debe escoger un factor en el rango de 0.97 a 0.90 que depende de la ausencia de basura (particularmente de materiales combustibles e inflamables), de fugas de materiales tóxicos, inflamables, fluidos e servicio, etc.

Cuando se elaboren Cursos completos de accidentes, condiciones anormales de proceso y falla (que cubran cuando menos el 50% de dichos eventos), se aplica un factor de 0.95.

En una planta donde se manejan sólidos inflamables, combustibles o tóxicos, al contar con un equipo fijo de limpieza por medio de vacío u otro sistema equivalente que se use regularmente y evite la acumulación de polvos fuera del equipo de proceso, justifica el uso de un factor de 0.80.

## **MEDIDAS DE DISMINUCIÓN DE LA GRAVEDAD POTENCIAL.**

### **K4 PROTECCIÓN CONTRA FUEGO**

La medida más importante para reducir el riesgo es asegurarse de que las estructuras y recipientes de la sección estén provistos de la protección efectiva contra el fuego, así como contar con cortinas de agua o vapor, paredes resistentes a fuego, arrestadores de flama, pisos sólidos, etc., que eviten que se propague el fuego y el humo.

Otro aspecto es la protección contra exposición al fuego o agentes corrosivos de los cables de instrumentos, líneas de corriente, cables de potencia, con el fin de que no se interrumpan las funciones de control durante una situación anormal.

La protección contra fuego de las estructuras de las plantas (de acero, pisos, etc.) que soportan el peso del equipo de proceso, debe considerarse de manera diferente a las paredes o barreras contra fuego que únicamente proporcionan una cubierta de carga se limitan a evitar que la pared o barrera se caiga por efecto de su propio peso.

El equipo de la planta requiere protección contra fuego para evitar que se dañe por el calor y que se efectúe una transferencia de calor inaceptable hacia el contenido del mismo. La cantidad de calor transferible es una función de las características del contenido y la presión de operación.

Cuando se lleva a cabo un entrenamiento regular por operadores sobre el uso de extintores portátiles, equipo de flujo y colaboración con las brigadas contra incendio, asígne un factor de 0.90.

#### **h) ventiladores para humo.**

Si se tiene ventiladores para humo colocados en los techos d edificios de almacenamiento, empaque u otros procesos, además de separadores de humo a nivel del techo para evitar que otros edificios se vean afectados, aplique un factor de 0.90.

#### **15) Cálculo del efecto global de los factores de reducción**

carga de fuego  $f1 = fk1 k4 k5$

índice de explosión  $e1 = ek2 k3$

índice de explosión aérea  $a1 = a k1 k5 k6$

índice global mond  $r1 = r k1 k2 k3 k4 k5 k6$

Los resultados obtenidos en cada encabezado por el producto y los factores son utilizados para el cálculo de los valores revisados de: la magnitud del fuego (f1), el índice de explosión (e1), el índice de explosión aérea (a1) y el índice global de riesgos (r1).

Este último valor es importante para determinar si el nivel de riesgo de la sección es aceptable o no y para escoger un arreglo satisfactorio de la planta durante las primeras etapas de diseño.

Finalmente, los elementos principales de la reducción de  $r$  a  $r_1$  deben anotarse en la hoja para recordar la necesidad de apegarse a ellos durante las últimas etapas de diseño.

#### **16) conclusiones**

Los lineamientos dados para los factores de reducción están basados en la experiencia obtenida por las compañías de seguros y los análisis de accidentes y se consideran razonables para poder asegurar que se ha dado un peso adecuado a los factores que indirectamente disminuyen los riesgos, al efectuar la revisión de los riesgos y definir un arreglo de equipo adecuado. no se les debe asignar una confiabilidad mayor del + 20 % que tiene globalmente el método de índice de mond para fuego, explosión y toxicidad.

# SECUENCIA DE CÁLCULO ÍNDICE MOND

## I Cálculo de índices sin considerar los factores de seguridad

### 1.-SELECCIÓN DEL MATERIAL CLAVE (MÁS RIESGOSO Y EN MAYOR CANTIDAD)

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

### 2.- CÁLCULO DEL FACTOR MATERIAL B

- a) Material inflamable  $b = f$

$$f(\text{calor de formación}) = \Delta H_c / 1000 \text{ (btu/lb)}$$

- b) Material no inflamable o no combustible en transporte

$$b = f(\text{calor de formación}) = \Delta H_c \cdot 1.8 / \text{peso molecular (kcal/gmol)}$$

- c) Material no combustible  $b = 0.1$

- d) Sólidos o polvos combustibles  $b=0.1$  a menos que se encuentren en la forma granular  $b = f(\text{calor de combustión})$

- e) Material de composición no conocida  $b = p_t / 288 \cdot 6.2$

### 3.- DETERMINACIÓN DE RIESGOS ESPECIALES DE MATERIAL M = SUMA DE FACTORES.

- a) Material oxidante
- b) Reacción con agua que produzca gases o vapores combustibles.
- c) Características de mezclado y dispersión = m
- d) Sujeto a calentamiento espontaneo
- e) Sujeto a rápida polimerización espontanea.

**f) Sensibilidad a la ignición.**

**g) Sujeto a descomposición explosiva.**

**h) Sujeto a detonación en fase de gas.**

**i) Propiedades de la fase condensada.**

**j) Otros riesgos.**

**4.- DETERMINACIÓN DE RIESGOS GENERALES DE PROCESO P=SUMA DE FACTORES.**

**a) Manejo y cambio físico solamente .**

**b) Reacción única**

**c) Reacción única por etapas**

**d) Múltiples reacciones en un mismo equipo.**

**e) Transferencia de material.**

**f) Contenedores transportables.**

**5.- DETERMINACIÓN DE RIESGOS ESPECIALES DE PROCESO S = SUMA DE FACTORES.**

**a) Baja presión (< 15 psi.)**

**b) Alta presión = p**

**c) Baja temperatura - acero al carbón +10oc , -10oc.  
- acero al carbón - 10oc.  
- otros materiales.**

**d) Alta temperatura - inflamabilidad  
- materiales de construcción.**

**E) Corrosión y erosión.**

f) Fugas en juntas y empaques.

g) Vibración, ciclos de carga, etc.

h) Procesamiento o reacciones difíciles de controlar.

i) Operación cerca o dentro de los límites de inflamabilidad.

j) Proceso con riesgo de explosión mayor que el valor promedio de riesgo.

k) Polvos o mezclas riesgosas.

l) Oxidantes altamente fuertes.

m) Sensibilidad del proceso a la ignición.

n) Riesgos electrostáticos  
temperatura de proceso  $t = k$

#### 6.- RIESGOS POR CANTIDAD DE MATERIAL TOTAL Q.

Cantidad en toneladas = k.

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

#### 7.- RIESGOS POR DISTRIBUCIÓN DE LA UNIDAD L = SUMA DE FACTORES.

Altura en m = h

área normal de trabajo en  $m' = n$

a) Diseño de estructuras.

b) Efecto domino.

c) Bajo tierra.

d) Drenaje superficial.

e) Otros.

## 8.- RIESGOS POR TOXICIDAD T = SUMA DE FACTORES.

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

## 9.- CÁLCULO DE ÍNDICES.

### a) Índice general de riesgos.

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

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

### b) Carga de fuego

$$f = b * k/n * 20500 \text{ btu/ft}^2 = f.\text{material} * \text{ton material} / \text{área de trabajo}$$

### c) Índice de toxicidad

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

d) Índice de incidente mayor de toxicidad  $c = q * u = r \text{ cant. material, índice toxicidad.}$

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

### f) Índice de explosión aérea.

$$a = b(1 + m/100) * (q * h * e) * t/300 * 1 + p/1000$$

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

g) Índice total  $r = d (1 + (f.u.e.a)e^{0.5/1000}) = ig$   
riesgo corregido por carga de combustible, índice toxicidad, explosión y explosión aérea.

## II.- FACTORES DE SEGURIDAD PARA CORRECCIÓN DE ÍNDICES

1.- PREVENCIÓN DE RIESGOS EN ALMACENAMIENTO  $K1 = PRODUCTO DE FACTORES.$

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

2.- CONTROL DE PROCESO  $K2 = PRODUCTO DE FACTORES.$

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

**i) Instrucciones de operación.**

**j) Supervisión de planta.**

**3.- ACTITUD DE SEGURIDAD K3 = PRODUCTO DE FACTORES.**

**a) Involucramiento de la gerencia.**

**b) Entrenamiento de seguridad.**

**c) Procedimiento de seguridad y mantenimiento.**

**4.- PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS K4 = PRODUCTO DE FACTORES.**

**a) Recubrimiento a estructuras.**

**b) Barreras resistentes a fuegos.**

**c) Equipos de protección contra incendios.**

**5.- AISLAMIENTO DE CORTE DE MATERIAL K5 = PRODUCTO DE FACTORES.**

**a) Sistemas de válvulas.**

**b) Ventilación.**

**6.- COMBATE DE INCENDIOS K6 = PRODUCTO DE FACTORES.**

**a) Alarma de emergencia.**

**b) Extinguidores.**

**c) Red contra incendios.**

**d) Espuma o inertización.**

**e) Respuesta a la brigada.**

**f) Cooperación con otras plantas.**

**g) Extractores de humo.**

**7.- CÁLCULO DE ÍNDICES FINALES:**

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

## INDICE MOND.REFERENCIAS

1. HAZARDOUS CHEMICAL DATA. NFPA 49, 1975.
2. MANUAL OF HAZARDOUS CHEMICAL REACTIONS. NFPA 491 M, 1975
3. HANDBOOK OF REACTIVE CHEMICAL HAZARDS. BRETHERIC, L. BUTTERWORTH'S SCIENTIFIC PUBLICATIONS. 1975.
4. NATIONAL ELECTRIC CODE. NFPA 70, 1986.
5. IATA RESTRICTED ARTICLES REGULATIONS. 20TH ED AUG 77, INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION, SUIZA.
6. CODE OF FEDERAL REGULATIONS-TITLE 49-TRANSPORTATION. U.S. GOVERNMENT PRINTING OFFICE. WASHINGTON.
7. PROPERTIES OF FLAMABLE LIQUIDS, GASES AND VOLATILES SOLIDES. NFPA 325 M, 1984.
8. THRESHOLD LIMIT VALUES AND BIOLOGICAL EXPOSURE INDICES FOR 1987-1988, ACGIH.
9. MANUAL DE MANEJO DE MATERIALES PELIGROSOS (MSD'S). CELANESE MEXICANA.
10. THE APLICATION OF MOND FIRE, EXPLOSION AND TOXICITY INDEX TO PLANT LAYOUT AND SPACING DISTANCES. PAPER FOR PRESENTATION AL THE AICHE LOSS HAS PREVENTION SYMPOSIUM, TEXAS ON APRIL 1-5, 1979 LEWUIS, D.J.
11. ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE, SECTION VIII DIVISIONS 1 AND 2 PRESSURE VESSELS.
12. GAS TRANSMISSION AND DISTRIBUTION PIPING SYSTEMS. AMERICAN NATIONAL STANDARDS. ANSI B.31.8. 1975 ASME.
13. CHEMICAL PLANT AND PETROLIUM REFINERY PIPING. AMERICAN NATIONAL ATANDARD. ANSI 31.3, 1976. ASME.

14. OPERABILITY STUDIES AND HAZARDS ANALYSIS. LAWLEY, H.G., AICHE  
LOSS PREVENTION VOL.8 PP105-106, 1974.

15. LOSS PREVENTION DATA, SECTION 1-21, FMEC. JULY 1977.

16. STANDARD FOR WATER SPRAY FIXED SYSTEMS FOR FIRE  
PROTECTION. NFPA 13, 1977.

**TABLA 1 SENSIBILIDAD A LA INGENIERÍA.**

MATERIAL	CLASF.EQUIPO.ELEC	FACTOR
amoníaco -	NEC 500 grupo D	25
cloruro de metileno.		-50
tricloroetileno y similares.		-75
metano (puro) y cloruro de metilo - 5	NEC 500 grupo D	5
materiales del grupo del propano.	NEC 500 grupo D	0
materiales del grupo del etileno(acrilonitrilo, butadieno,sulfuro de hidrogeno, dimetileter, oxido de etileno, etc)	NEC 500 grupo C	25
materiales del grupo del hidrogeno (gases con más de 30 % de h2)	NEC 500 grupo B	50
materiales del grupo del acetileno.	NEC 500 grupo A	75
materiales sensibles a ignición por compresión-adiabática (nitratos de isopropilo y nitrilo)		35
pólvora negra, cordita y mezclas con fase condensada deflagrante		100
bisulfuro de carbono	NEC 500 grupo A	100
fulminato de mercurio,nitroglicerina peróxidos altamente oxidantes.		150
tricloruro de nitrógeno y líquidos con alta sensibilidad a la ignición polvos metálicos aluminio y magnesio y polvos inorgánicos con sensibilidad a la ignición similar	NEC 500 grupo E	35
polvos metálicos altamente sensibles como circonio y torio		50
polvos orgánicos con energías de ignición menor a 0.1 mj		25
polvos orgánicos con energía de ignición de 0.1 a 2.5 mj		0
polvos orgánicos con energía de ignición de 2.5 a 100 mj		-25
polvos orgánicos con energía de ignición mayor que 100 mj		-50

## ÍNDICES DE RIESGOS MOND.

### GENERAL DE RIESGO

#### FACTOR GENERAL DE RIESGO

0 \_\_\_\_\_  
 20 \_\_\_\_\_  
 100 \_\_\_\_\_  
 500 \_\_\_\_\_  
 1100 \_\_\_\_\_  
 2500 \_\_\_\_\_  
 12500 \_\_\_\_\_  
 >65000 \_\_\_\_\_

20 \_\_\_\_\_  
 100 \_\_\_\_\_  
 500 \_\_\_\_\_  
 1100 \_\_\_\_\_  
 2500 \_\_\_\_\_  
 12500 \_\_\_\_\_  
 65000 \_\_\_\_\_

#### CATEGORÍA

SUAVE  
 BAJO  
 MODERADO  
 ALTO GRUPO (1)  
 ALTO GRUPO (2)  
 MUY ALTO  
 EXTREMO  
 MUY EXTREMO

### CARGA DE FUEGO

#### CANTIDAD DE FUEGO (F) EN BTU/FT<sup>2</sup> DEL ÁREA NORMAL DE TRABAJO

0 \_\_\_\_\_  
 50000 \_\_\_\_\_  
 100000 \_\_\_\_\_  
 200000 \_\_\_\_\_  
 400000 \_\_\_\_\_  
 1000000 \_\_\_\_\_  
 2000000 \_\_\_\_\_  
 5500000 \_\_\_\_\_

50000 \_\_\_\_\_  
 100000 \_\_\_\_\_  
 200000 \_\_\_\_\_  
 400000 \_\_\_\_\_  
 1000000 \_\_\_\_\_  
 2000000 \_\_\_\_\_  
 5500000 \_\_\_\_\_  
 10000000 \_\_\_\_\_

#### CATEGORÍA

LIGERO  
 BAJO  
 MODERADO  
 ALTO  
 MUY ALTO  
 INTENSO  
 EXTREMO  
 MUY EXTREMO

### TOXICIDAD DE LA UNIDAD

#### ÍNDICE UNITARIO DE TOXICIDAD

0 \_\_\_\_\_  
 1 \_\_\_\_\_  
 3 \_\_\_\_\_  
 6 \_\_\_\_\_  
 10 \_\_\_\_\_  
 >10 \_\_\_\_\_

#### CATEGORÍA

LIGERO  
 BAJO  
 MODERADO  
 ALTO  
 MUY ALTO

## TOXICIDAD MAYOR

### ÍNDICE DEL MÁXIMO INCIDENTE TÓXICO

ÍNDICE DEL MÁXIMO INCIDENTE TÓXICO		CATEGORÍA
0 _____	20 _____	LIGERO
20 _____	50 _____	BAJO
50 _____	200 _____	MODERADO
200 _____	500 _____	ALTO
> 500 _____	_____	MUY ALTO

### ÍNDICE DE EXPLOSIÓN

#### ÍNDICE DE EXPLOSIÓN INTERNA DE LA SECCIÓN

ÍNDICE DE EXPLOSIÓN INTERNA DE LA SECCIÓN		CATEGORÍA
0 _____	1 _____	LIGERO
1 _____	2.5 _____	BAJO
2.5 _____	4 _____	MODERADO
4 _____	6 _____	ALTO
> 6 _____	_____	MUY ALTO

### ÍNDICE DE EXPLOSIÓN AÉREA

#### ÍNDICE DE EXPLOSIÓN AÉREA

ÍNDICE DE EXPLOSIÓN AÉREA		CATEGORÍA
0 _____	10 _____	LIGERO
10 _____	30 _____	BAJO
30 _____	100 _____	MODERADO
100 _____	500 _____	ALTO
> 500 _____	_____	MUY ALTO

# ÍNDICE TOTAL MOND

## ÍNDICE TOTAL MOND

## GRADO DE RIESGO

0	20	SUAVE
20	40	LIGERO
40	60	MODERADO
60	75	MODERADAMENTE ALTO
75	90	ALTO
90	115	EXTREMO
115	150	MUY EXTREMO
150	200	POTENCIALMENTE CATASTRÓFICO
> 200		MUY CATASTRÓFICO.

# INDICE MOND PARA FUEGO, EXPLOSION Y TOXICIDAD

EMPRESA	PLANTA	SECCION DE PROCESO A ANALIZAR	FECHA
CIA NESTLÉ	TOLUCA		NOVIEMBRE-1995

**MATERIALES EN LA SECCION DE PROCESO:**

**1.- FACTOR MATERIAL (F.M.):**  
**BASE PARA SELECCION DEL FACTOR MATERIAL:**

COMBUSTION	DESCOMPOSICION	REACCION	PRESION DE EXPLOSION
------------	----------------	----------	----------------------

Fórmula utilizada: Factor material (FM): **24.00**

<b>2.- RIESGOS ESPECIALES DEL MATERIAL (REM)</b>	<b>VALOR</b>	<b>5. RIESGOS POR CANTIDAD (RPC)</b>	<b>VALOR</b>
A. MATERIAL OXIDANTE (0 A 20)		VOLUMEN INVOLUCRADO (m3)	
B. REACCION PELIGROSA CON AGUA (0 A 30)		PESO INVOLUCRADO (Tons.)	
C. MEZCLADO Y DISPERSION, 2C (-50 A 60)		FACTOR ASIGNADO (1 A 1000)	
D. COMBUSTION ESPONTANEA (30 A 250)		<b>6.- RIESGOS POR ARREGLO (RPA)</b>	<b>VALOR</b>
E. POLIMERIZACION ESPONTANEA (27 A 75)		ALTURA DE LA UNIDAD (m)	
F. SENSIBILIDAD A LA IGNICION (-75 A 150)		AREA DE TRABAJO (m2)	
G. DESCOMPOSICION EXPLOSIVA (125)		A. DISEÑO ESTRUCTURAL (0 A 200)	
H. DETONACION GASEOSA (150)		B. EFECTO DOMINO (0 A 250)	
I. FASE CONDENSADA (200 A 1500)		C. SUBTERRANEAS (0 A 150)	
J. OTRAS (0 A 150)		D. DRENAJE SUPERFICIAL (0 A 100)	
SUMA DE FACTORES REM		E. OTROS (0 A 250)	

<b>3.- RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (RGP)</b>	<b>VALOR</b>	SUMA DE FACTORES RPA	
A. MANEJO Y CAMBIOS FISICOS (10 A 60)		<b>7.- RIESGOS POR TOXICIDAD</b>	<b>VALOR</b>
B. REACCION UNICA CONTINUA (25 A 50)		A. TLV (0 A 300)	
C. REACCION UNICA BATCH (10 A 60)		B. FORMA DEL MATERIAL (25 A 200)	
D. MULTIREACCIONES (0 A 75)		C. EXPOSICION CORTA (100 A 150)	
E. TRANSFERENCIA DE MATERIAL (0 A 75)		D. ABSORCION POR LA PIEL (0 A 300)	
F. CONTENEDORES PORTATILES (10 A 100)		E. FACTORES FISICOS (0 A 300)	
SUMA DE FACTORES RGP		SUMA DE FACTORES RPT	<b>160.00</b>

<b>4.- RIESGOS ESPECIALES DE PROCESO (REP)</b>	<b>VALOR</b>	<b>8.- INDICES</b>	<b>VALOR</b>	<b>CATEGORIA</b>
A. BAJA PRESION		GENERAL DE RIESGO		
B. ALTA PRESION (Pop= <input type="text"/> ) (0 A 150)		CARGA DE FUEGO		
C. BAJA TEMPERATURA		TOXICIDAD DE LA UNIDAD		
1. Ac. carbon (T > 10° C) (15)		TOXICIDAD MAYOR		
2. Ac. carbon (T < 10° C) (50 A 100)		EXPLOSION		
3. Otro material (0 A 100)		EXPLOSION AEREA		
D. ALTA TEMPERATURA		TOTAL MOND		
1. Inflamabilidad (0 A 40)				
2. Materiales construccion (0 a 25)				
(Top= <input type="text"/> <b>25.00</b> )				

E. CORROSION Y EROSION (0 A 150)		<b>9.- FACTORES DE CORRECCION</b>	
F. FUGAS EN JUNTAS Y EMPAQUES (0 A 60)		<b>CONTROL EN CONTENEDORES (CEC)</b>	<b>VALOR</b>
G. VIBRACION (0 A 50)		A. RECIPIENTES A PRESION	
H. CONTROL DIFICIL DE PROCESO (20 A 300)		B. TANQUES VERTICALES	
I. OPERACION RANGO INFLAMABLE (0 A 150)		ATMOSFERICOS	
J. RIESGO DE EXPLOSION MAYOR		C. TUBERIA	
L. PROMEDIO (40 A 100)		1. Diseño por tension	
K. POLVOS O NIEBLAS RIESGOSAS (30 A 70)		2. Juntas y empaques	
L. OXIDANTES MUY FUERTES (0 A 300)		D. CONTENEDORES ADICIONALES	
M. SENSIBILIDAD A LA IGNICION (0 A 75)	40	E. DETECCION Y RESPUESTA A FUGAS	
N. RIESGOS ELECTROSTATICOS (0 A 200)		F. DESECHO DE MATERIAL FUGADO	
SUMA DE FACTORES REP		PRODUCTO FACTORES CEC	

# INDICE MOND PARA FUEGO, EXPLOSION Y TOXICIDAD

HOJA 2 DE 2

<b>EMPRESA</b>	<b>PLANTA</b>	<b>SECCION DE PROCESO A ANALIZAR</b>	<b>FECHA</b>
CIA NESTLE	TOLUCA		NOVIEMBRE DE 1995

<b>CONTROL DE PROCESO (CDP)</b>	<b>VALOR</b>	<b>B. BARRERAS CONTRA INCENDIO</b>	
A. SISTEMA DE ALARMAS		C. PROTECCION A EQUIPOS	
B. ENERGIA DE EMERGENCIA		PRODUCTO DE FACTORES PCI	
C. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO		ASLAMIENTO DE MATERIALES (ADM)	VALOR
D. SISTEMA DE GAS INERTE		A. SISTEMAS DE VALVULAS	
E. ACTIVIDADES DE ANALISIS DE RIESGOS		B. VENTILACION	
F. SISTEMAS DE PARO		PRODUCTO DE FACTORES ADM	
G. CONTROL POR COMPUTADORA		COMBATE DE INCENDIOS (CDI)	VALOR
H. PROTECCION CONTRA REACCION PELIGROSA O EXPLOSION		A. ALARMA DE EMERGENCIA	
I. INSTRUCCIONES DE OPERACION		B. EXTINGUIDORES PORTATILES	
J. SUPERVISION DE PLANTA		C. SUMINISTRO DE AGUA CONTRA INCENDIO	
PRODUCTO DE FACTORES CDP		D. SISTEMAS DE ROCIADORES	
<b>ACTIVUD DE SEGURIDAD (ADS)</b>	<b>VALOR</b>	O MONITORES	
A. INVOLUCRAMIENTO DE LA GERENCIA		E. ESPUMA Y GAS INERTE	
B. ENTRENAMIENTO DE SEGURIDAD		F. BRIGADA	
C. PROCEDIMIENTOS DE SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO		G. APOYO EXTERNO Y/O INTERNO	
PRODUCTO DE FACTORES ADS		H. VENTILACION DE HUMO	
<b>PROTECCION CONTRA INCENDIO (PCT)</b>	<b>VALOR</b>	PRODUCTO DE FACTORES CDF	
A. PROTECCION A ESTRUCTURAS			

<b>10. INDICES FINALES</b>	<b>VALOR</b>	<b>CATEGORIA</b>
CARGA DE FUEGO		
INDICE DE EXPLOSION		
INDICE DE EXPLOSION AEREA		
INDICE TOTAL MOND		

11. RECOMENDACIONES