

C:0
R: 12.121
NI: 10.602

t - 15347

INDICE DE INCENDIO Y EXPLOSION

GUIA PARA LA CLASIFICACION DE RIESGOS



Traductores: Valentín Estalella Morey
Emilio Turmo Sierra
Domingo Turuguet Mayol

Coordinador: José Luis Villanueva Muñoz



Del Centro de Investigación y Asistencia Técnica de Barcelona. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Traducido con permiso de la DOW CHEMICAL COMPANY, del trabajo de la Corporate Safety & Loss Prevention "Fire & Explosión Index Hazard Classification Guide" 5ª. Edición, Octubre 1980. Midland, Michigan.

"DOW CHEMICAL COMPANY NO SE HACE RESPONSABLE DE LA APLICACION DE ESTE MANUAL"



Edita: INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD
E HIGIENE EN EL TRABAJO
Torrelaguna, 73 - Madrid-20

ISBN 84,500-9062-8
Depósito Legal B-28601-83

Imprime: INSHT
Dulcet, s/n - Barcelona-34

PRESENTACION

La Seguridad e Higiene en el Trabajo no es una ciencia matemática y por ello su aplicación es cubierta en muchos campos por la acción subjetiva del Técnico de Empresa, Entidad Prevencionista o Administración, en base a su propia experiencia.

La acción prevencionista más positiva se centra en la Técnica Analítica de las Inspecciones de Seguridad, para la detección de riesgos y su corrección, antes de que se actualicen en accidentes de trabajo. El problema central de esta técnica es el disponer de un método que objetive la detección y valoración del riesgo y permita conocer qué medidas correctoras lo anulan o disminuyen hasta límites tolerables; además si el método es aceptado socialmente por su bondad, cualquier técnico prevencionista e incluso los mismos empresarios, dispondrán de una herramienta útil y común, que limitará la probabilidad de criterios dispares, para la corrección de un mismo riesgo.

En este campo, uno de los riesgos más graves para la seguridad de bienes y personas, es el de Incendio y Explosión. Algunos métodos utilizados para su valoración como los de Gustav Purl y Max Gretener, fueron diseñados para riesgos pequeños y medianos, y no son útiles para valorar las industrias de gran riesgo como las petroquímicas. La Guía para la Clasificación de Riesgos que aquí se presenta, cubre esta laguna, siendo uno de los métodos de mayor predicamento internacional entre especialistas, no solo por su utilidad, sino por el ímprobo esfuerzo de concepción y actualización llevado a cabo por sus creadores.

La traducción y publicación en lengua castellana de esta Guía, por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, ha sido posible gracias al esfuerzo de un grupo de especialistas del Centro de Investigación y Asistencia Técnica de Barcelona, que ha permitido a esta Institución poner en manos de los prevencionistas una herramienta que permita desarrollar su labor con mayor eficacia.

*El Director del Instituto Nacional de
Seguridad e Higiene en el Trabajo*

AGRADECIMIENTO

Nuestro agradecimiento a la empresa Dow Chemical Company que nos ha permitido la traducción y publicación en lengua castellana de esta Guía.

PROLOGO A LA QUINTA EDICION

La primera edición de esta guía se publicó en 1964 y fué una versión modificada de la guía del Factory Mutual "Clasificación de las Instalaciones Químicas". Esta edición contenía tres índices diferentes con guías inadecuadas para su aplicación. El resultado fue que el Índice de Incendio y Explosión era sólo un número sin relación alguna con la exposición a un riesgo económico.

En 1966 apareció la segunda edición que contenía sólo un índice, pero, sin embargo, se identificaron en ella un grupo especificado de características preventivas y protectoras para usar en cada uno de los grupos del Índice de Incendio y Explosión. Se presentaba una gama de elección a partir de las Penalizaciones de los Factores Contribuyentes, en la sección de Riesgos Generales y Específicos de la hoja de cálculo. Esto produjo contradicciones en el índice final y en la aplicación de características preventivas y protectoras. No existía todavía un método para la identificación de la exposición a riesgos económicos.

La tercera edición se publicó en 1972 y contenía dos cambios principales. El factor material, que previamente había sido un número del 1 al 20, según el punto de inflamación y el punto de ebullición de un material, se transformó en ΔH_c , en $\text{Btu/lb} \times 10^{-3}$ ($1 \text{ Btu/lb} \times 10^{-3} = 0,55 \text{ Mcal/Kg}$). El factor 10^{-3} se consideró como una constante arbitraria para reducir la magnitud del factor material. Así, parecía obtenerse una escala mejor ponderada para los distintos materiales usados en la industria. El otro cambio fué una guía recomendada para usar en la evaluación de la aplicación de características preventivas y protectoras dependientes de la gama del índice de incendio y explosión.

Durante 1976 se publicó la cuarta edición que contenía otros cambios adicionales como resultado de la experiencia adquirida. La más importante innovación fué el desarrollo de un método mejor para la asignación de un número al factor material basado sobre dos condiciones del material, particularmente la inflamabilidad y la reactividad. Además, se asignaron penalizaciones específicas para cada uno de los ítems en el cálculo de los Riesgos Generales del Proceso y los Riesgos Especiales del Proceso. También se establecieron Factores de Bonificación para las distintas medidas de protección y prevención empleadas. Se hizo un intento también para establecer una exposición básica del capital invertido que se identificó como el Daño Máximo Probable de la Propiedad (MPPD). Después de la aplicación de la cuarta edición a varias plantas de procesos distintas se halló que el método para obtener la exposición al riesgo se podía mejorar. También se observó que tres de las tablas de penalización eran incorrectas con lo cual se obtenía un índice de Incendio y Explosión inferior al establecido por el factor MPPD.

En esta quinta edición se ha usado la experiencia aprendida en las cuatro ediciones anteriores y se presenta un nuevo formato para la Evaluación del Riesgo de una planta de procesos. Los números correspondientes a los Índices de Incendio y Explosión son superiores a los obtenidos en ediciones anteriores debido a la inclusión de ciertas penalizaciones adicionales y a la corrección de las tres tablas de penalización.

Algunas de las mejoras contenidas en esta quinta edición incluyen:

- a) Uso de cuatro factores: Factor material, temperatura del proceso, presión y cantidad de combustible para evaluar un radio de exposición relacionado con el Índice de Incendio y Explosión.
- b) Métodos adicionales para obtener un factor material mediante el uso de parámetros termodinámicos de un material.
- c) Nueva sección de Factores de Bonificación para el Factor de Pérdidas, dividida en tres categorías: Control de procesos, aislamiento del material y protección contra el fuego.
- d) Método para obtener los días perdidos a partir del MPPD. Este se puede relacionar con la Pérdida por Interrupción de la Fabricación.

Esta guía proporciona una aproximación directa y lógica a la determinación de la probable Exposición al Riesgo de una planta de procesos y un mejor uso del diseño para la prevención de pérdidas y protección.

INDICE

Introducción (Fig. 1)	7	
Procedimiento para el Cálculo del Análisis de Riesgos	9	
Selección de Unidades de Proceso Pertinentes	15	
Determinación del Factor Material (Tabla I, Apéndice A)	16	
Factores que contribuyen al Riesgo (Diagrama A)	19	
Riesgos Generales del Proceso	20	
Determinación del Factor del Riesgo de la Unidad (Fig. 7)	31	
Determinación del Índice de Incendio y Explosión (Fig. 8)	33	
Daño Básico Máximo Probable de la Propiedad	35	
Factores de Bonificación para el Control de Pérdidas (Tabla V) (Fig. 9)	36	
Daño Efectivo Máximo Probable de la Propiedad	43	
Resumen del Análisis del Riesgo	43	
Máximos Días Probables Pérdidos (Fig. 10)	44	
Tabla I	Guía para la Determinación del Factor Material	18
Tabla II	Riesgos Generales del Proceso	22
Tabla III	Penalización por Exposición de Polvo	24
Tabla IV	Penalización para Sistemas de Intercambio Térmico con Aceite Caliente	31
Tabla V	Factores de Bonificación para el Control de Pérdidas	38
Figura 1	Cálculo del Factor de Riesgo de la Unidad e Índice de Incendio y Explosión	8
Figura 2	Presión de Tarado de la Válvula de Seguridad	25,60
Figura 3	Líquidos o Gases en Proceso	26,61
Figura 4	Líquidos o Gases en Almacenamiento	27,62
Figura 5	Combustibles Sólidos en Almacenamiento	28,63
Figura 6	Penalización por Calentamiento por Fuego	30,64
Figura 7	Factor de Riesgo de la Unidad	32,65
Figura 8	Area de Exposición	34,66
Figura 9	Factor de Bonificación	36,67
Figura 10	Máximos Días Probables Pérdidos	44,68
Diagrama A	Índice de Incendio y Explosión	11
Diagrama B	Factores de Confianza para el Control de Pérdidas	12
Diagrama C	Hoja de Recapitulación	13
Apendice A	Factor Material	45
Apendice B	Medidas Preventivas y Protectores Básicos	53
Apendice C	Lista de Verificación de Ingeniería	55

INTRODUCCION

El "Análisis del Riesgo" del capital invertido en una planta de procesos químicos es una parte necesaria de un programa de seguro del riesgo. Las tarifas de la prima del seguro se calculan sobre la Pérdida Posible Evaluada (E.P.L.). Actualmente, las compañías de seguros utilizan dos métodos para el cálculo del E.P.L.: a) Datos históricos de pérdidas y b) Daños producidos por la sobrepresión de una explosión de vapor inflamable. Las variables que intervienen en los dos métodos anteriores reducen el valor de los resultados.

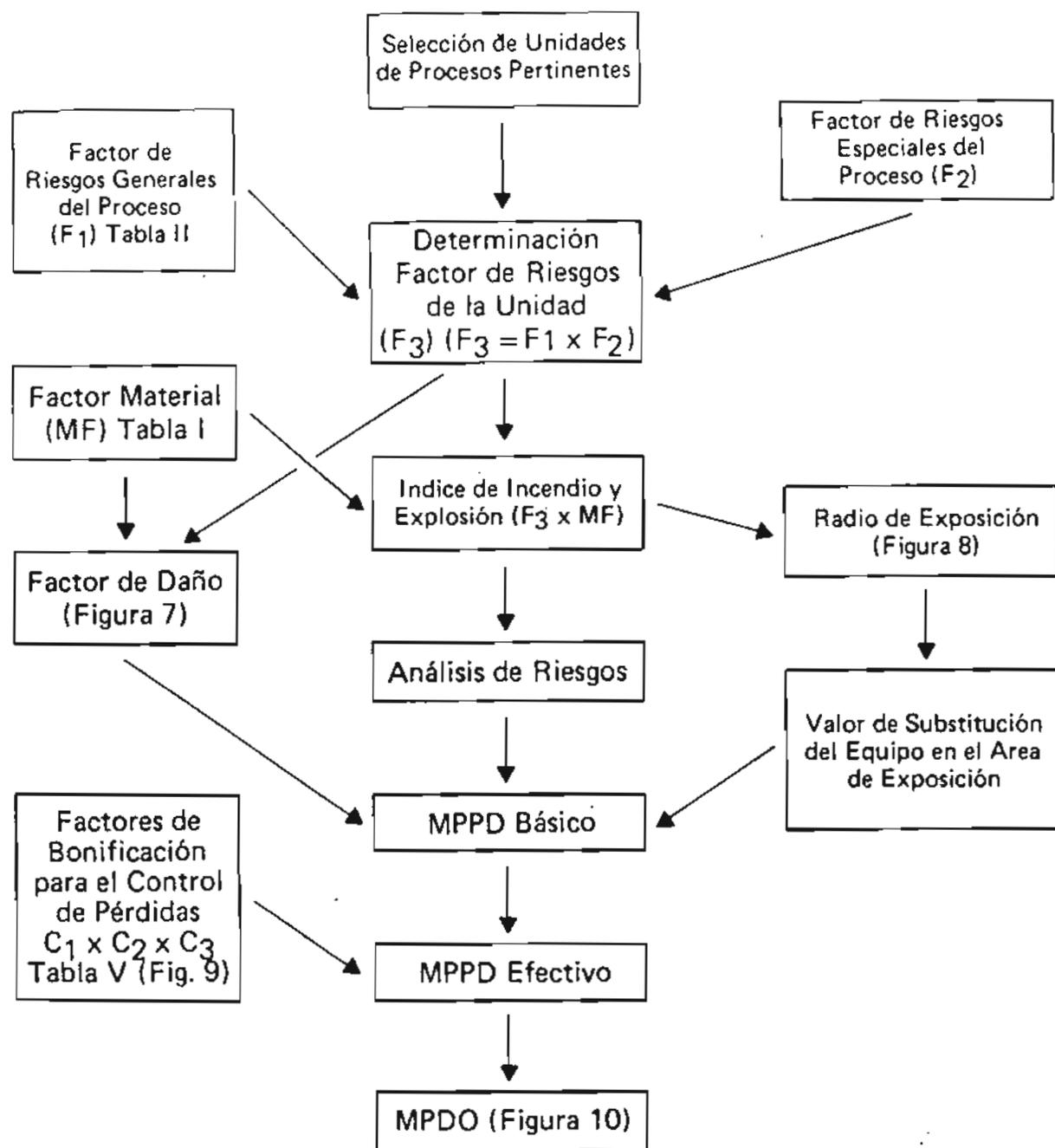
La necesidad de un método sistemático para la identificación de áreas importantes de pérdida potencial ha sido el motivo para el desarrollo de un Índice de Incendio y Explosión y una guía para el Análisis de Riesgos. El concepto básico fué tomado de la guía de la Factory Mutual sobre "Clasificación de las Instalaciones Químicas". Al cabo de cuatro ediciones de cambios y mejoras se presenta esta guía en su quinta edición

Presenta esta quinta edición algunas nuevas áreas de cálculo y ha sido ampliada para proporcionar un método para la valoración de la probabilidad de pérdida por Interrupción de la Fabricación (BI) mediante el empleo de los Máximos Días Probables Perdidos (MPDO).

El cálculo del Índice de Incendio y Explosión (IIE) y su aplicación a la determinación del "Daño Máximo Probable de la Propiedad" (MPPD) se ha definido más claramente. Mediante este sistema se puede evaluar cualquier operación donde un material inflamable, combustible o reactivo se almacene, maneje o trate con excepción de las instalaciones generadoras de energía, edificios de oficinas o sistemas de tratamiento o distribución de agua.

En la Figura 1 se incluye un diagrama que contiene las etapas necesarias para el cálculo del Factor de Riesgos de la Unidad, el Índice de Incendio y Explosión IIE el MPPD y el MPDO.

Figura 1.- Procedimiento para el cálculo del factor de riesgo de la unidad - Índice de incendio y explosión - MPPD y MPDO.



PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO DEL ANALISIS DE RIESGOS

1. Requisitos para el desarrollo de un sumario del análisis de riesgos:
 - a) Plano parcelado exacto de la planta
 - b) Comprensión del flujo del proceso y las condiciones de éste.
 - c) Hoja de trabajo del Índice de Incendio y Explosión (Diagrama A)
 - d) Hoja de Trabajo del análisis de riesgos (Diagrama B)
 - e) Hoja de trabajo de recapitulación (Diagrama C)
 - f) Calculadora y compás de dibujo
 - g) Guía IIE en su quinta edición
 - h) Datos de costo para los equipos de proceso instalados en la planta
2. Identificar sobre el plano parcelado las "Unidades de Proceso" que sean consideradas pertinentes para el proceso y presenten un mayor impacto o contribuyan al riesgo de incendio o explosión. Ellas serán las que se usarán al calcular el Índice de Incendio y Explosión.
3. Determinar el Factor Material (MF) para cada una de las "Unidades de Proceso". Estos se obtienen a partir de la Tabla I o Apéndice A basados sobre el compuesto en la unidad de procesos.
4. Evaluar cada uno de los Factores que contribuyan al Riesgo relacionados en la hoja de trabajo del IIE tanto bajo el epígrafe de Riesgos Generales del Proceso como en el de Riesgos Especiales del Proceso; aplicar la penalización adecuada para todos aquellos a los que se deba aplicar.
5. El producto del Factor General de Riesgo y el Factor Especial del Riesgo, representa el "Factor de Riesgo de la Unidad". Este mide el grado de exposición al riesgo de la "Unidad de Proceso" y se usa conjuntamente con el MF para determinar el "Factor de Daño" que representa el grado de exposición a pérdidas (ver fig. 7).
6. El producto del "Factor de Riesgo de la Unidad" y el "Factor Material" da el IIE. Este se usa para determinar el "Área de Exposición" que rodea a la Unidad de Proceso que se evalúa (ver fig. 8).
7. Calcular el valor en dólares de todos los equipos dentro del "Área de Exposición". Este valor se usa para obtener el Daño Básico Máximo Probable de la Propiedad (MPPD básico).
8. El MPPD Básico se puede reducir al Daño Máximo Probable de la Propiedad Efectivo mediante la aplicación de varios Factores de Bonificación y/o la relocalización de ciertos equipos de valor alto en áreas exteriores al "Área de Exposición".

9. El Daño Efectivo Máximo Probable de la Propiedad (MPPD Efectivo) se usa para obtener los Máximos Días Probables Perdidos (MPDO). La Interrupción de la Fabricación se puede evaluar a partir de estos datos (ver fig. 10).
10. El MPPD Efectivo representa la pérdida probable que puede ocurrir si un incidente de una magnitud razonable aconteciera y funcionarían los distintos equipos de protección. El fallo de funcionamiento de alguno de los equipos protectores revertiría el problema de la pérdida probable al MPPD Básico.

A continuación se perfila y amplía cada uno de los puntos anteriores.

También en el Apéndice C hay una lista de verificación de ingeniería que se usará en la evaluación de las áreas de control de pérdidas importantes en una planta.

INDICE DE INCENDIO Y EXPLOSION



Diagrama "A"

Localización		Fecha
Planta	Unidad	A cargo de
MATERIALES Y PROCESOS		
Materiales		
Catalizadores	Disolventes	
FACTOR MATERIAL (VER TABLA I, APENDICE A) →		
1. RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (VER TABLA II)	Penalización	Penalización usada
FACTOR BASE →	1,00	1,00
A. Reacciones exotérmicas (Factor 0.30 a 1.25)		
B. Reacciones endotérmicas (Factor 0.20 a 0.40)		
C. Transferencia y manejo materiales (Factor 0.25 a 0.85)		
D. Unidades de proceso cerradas (Factor 0.30 a 0.90)		
E. Acceso		
F. Desagües (Factor 0.25 a 0.50)		
FACTOR DE RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (F₁) →		
2. RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO		
FACTOR BASE →	1,00	1,00
A. Temperatura del proceso (Usar sólo una)		
1. Superior al punto de inflamación	0,30	
2. Superior al punto de ebullición	0,60	
3. Superior al punto de autoignición	0,75	
B. Presión baja (Inferior a la atmosférica)	0,50	
C. Operación en o cerca condiciones inflamabilidad		
1. Líquidos inflamables almacenados en tanques en el exterior	0,50	
2. Alteración del proceso o fallo de purga	0,30	
3. Siempre en condiciones de inflamabilidad	0,80	
D. Explosión de polvo (Factor 0.25 a 2.00) (Ver Tabla III)		
E. Presión (Ver Figura 2)		
F. Temperatura baja (Factor 0.20 a 0.50)		
G. Cantidad de material inflamable		
1. Líquidos o gases en procesos (Ver Figura 3)		
2. Líquidos o gases almacenados (Ver Figura 4)		
3. Sólidos combustibles almacenados (Ver Figura 5)		
H. Corrosión y erosión (Factor 0.10 a 0.75)		
J. Fugas por uniones y empaquetaduras (Factor 0.10 a 1.50)		
K. Uso de calentadores con llama abierta (Ver Figura 6)		
L. Sistema intercambio térmico con aceite caliente (Factor 0.15 a 1.5) (Ver Tabla IV)		
M. Compresores, bombas y equipos rotativos	0,50	
FACTOR DE RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO (F₂) →		
FACTOR DE RIESGO DE LA UNIDAD (F₁ x F₂ = F₃) →		
INDICE DE INCENDIO Y EXPLOSION (F₃ x MF) = IIE →		

DIAGRAMA B

FACTORES DE CONFIANZA PARA EL CONTROL DE PERDIDAS

1. Control de Procesos (C₁)

a) Energía de emergencia	0,97	e) Control con ordenador	0,89 a 0,98
b) Refrigeración	0,95 a 0,98	f) Gas inerte	0,90 a 0,94
c) Control de explosiones	0,75 a 0,96	g) Instrucciones de operación	0,86 a 0,99
d) Parada de emergencia	0,94 a 0,98	h) Recopilación reactividad química	0,85 a 0,96

C₁ Total _____*

2. Aislamiento de Material (C₂)

a) Válvulas control remoto	0,94	c) Desagües	0,85 a 0,95
b) Depósitos de descarga	0,94 a 0,96	d) Enclavamiento	0,96

C₂ Total _____*

3. Protección contra incendios (C₃)

a) Detección fugas	0,90 a 0,97	f) Sistemas de rociadores	0,60 a 0,96
b) Estructuras de acero	0,92 a 0,97	g) Cortinas de agua	0,95 a 0,97
c) Tanques enterrados	0,75 a 0,85	h) Espuma	0,87 a 0,98
d) Suministro agua	0,90 a 0,95	j) Extintores Manuales	0,92 a 0,97
e) Sistemas especiales	0,85	k) Protección de Cables	0,90 a 0,96

C₃ Total _____*

C₁ x C₂ x C₃ = _____ Ver figura 9 para conversión al
Factor de Bonificación Efectivo (A la línea D de más abajo)

RESUMEN DEL ANALISIS DE RIESGOS

A-1	IIE	_____	
A-2	Radio de exposición	_____	m
A-3	Valor del Area de exposición	_____	\$MM** _____
B.	Factor de Daño	_____	
C.	MPPD Básico (A - 3 x B)	_____	\$MM _____
D.	Factor de Bonificación efectivo	_____	
E.	MPPD Efectivo (C x D)	_____	\$MM _____
F.	Días Perdidos (MPDO)	_____	días

* Producto de todos los factores usados

** MM = Millón

SELECCION DE "UNIDADES DE PROCESO" PERTINENTES

Una "Unidad de Proceso" se define como un ítem del equipo del proceso. Como ejemplos se podrían incluir bombas, compresores, columnas de reflujo, torres de absorción, reactores, mezcladores, tambores de carga, hornos, evaporadores, separadores, tanques de mezclado, trituradoras, secadoras, tanques de almacenamiento, etc.

En ciertos casos, tal como ocurre con los almacenes la "Unidad de Proceso", se identifica como el material que se almacena.

Las siguientes "Unidades de Procesos" podrían identificarse en una sección de horneado/refrigeración de una planta de VCM/EDC (cloruro de vinilo monómero/dicloruro de etileno): Precalentador del EDC, (Dicloruro de Etileno), evaporador del dicloruro de etileno, horno, columna de refrigeración, absorbedor de dicloruro de etileno y colector de alquitrán.

El área de procesos de una planta de látex de estireno-butadieno podría constar de las siguientes unidades de proceso: Preparador alimentador mezclador de monómero, reactores, separadores, recuperador de monómero, cámara humidificadora y lavador de estireno.

El IIE debería calcularse para cada "Unidad de Proceso" que tuviera influencia sobre el área de procesos. Aunque esto pudiera ser necesario para todos los ítems, en la práctica, generalmente resulta obvio, que sólo ciertas "Unidades de Proceso" serán pertinentes debido a las materias contenidas en la unidad, las reacciones o las condiciones de los procesos que tienen lugar. En pocas ocasiones será necesario calcular el IIE para más de 3 ó 4 "Unidades de Procesos" en cualquier sección de procesos de una planta. El número de secciones de procesos de una planta variará según el tipo de proceso y configuración de la planta.

Se intenta encontrar el área de mayor exposición en la planta, para luego determinar el impacto sobre la inversión de capital y la interrupción de la fabricación.

DETERMINACION DEL FACTOR MATERIAL (MF)

El MF es una medida de la intensidad de liberación de energía de un compuesto químico, de una mezcla de compuestos, o sustancias y es el punto de partida para el cálculo del IIE. Se determina el MF por consideración de dos riesgos del material: Inflamabilidad (N_i) y reactividad (N_r) y se representa por un número de 1 a 40.

En el Apéndice A hay una lista de materiales con sus correspondientes números de MF junto con otros datos, tales como capacidad calorífica, N_i y N_r . En varias ocasiones la N_r difiere del valor del NFPA, y esto es debido a un consenso de los especialistas de la Dow sobre compuestos reactivos.

Para los materiales no contenidos en el Apéndice A se procede como sigue:

1. Gases, líquidos o sólidos

- a) Usar los manuales de la NFPA 49 y 325 M para hallar los valores de N_i y N_r , ó
- b) Usar las propiedades térmicas indicadas en la Tabla I.

Inflamabilidad (N_i): Se deduce del punto de inflamación (flash point) y del punto de ebullición, cuando el "flash point" sea inferior a 37, 8°C (100° F). Para ciertas formas de sólidos se dá el N_i en la Tabla I.

Reactividad (N_r): Se deduce de los cálculos y datos de compuestos químicos reactivos mediante uno cualquiera de los siguientes caminos:

- i) Usar la temperatura adiabática de descomposición (T_a). Temperatura teórica alcanzada por el proceso de descomposición completa del material inicialmente a 25° (298° K).

Puesto que T_a es un valor calculado termodinámicamente, independientemente de la cinética o mecanismo de descomposición, la presencia de las trazas de impurezas, efectos catalíticos, naturaleza de la atmósfera, etc., no se consideran.

- ii) Usar para condiciones exotermas un aparato de exploración DTA/DSC (Differential Thermal Analysis Diferencial Scan Calorimeter).

Los resultados de esta exploración DTA/DSC dependen de la reacción y su modelo y también de las trazas de impurezas, efectos catalíticos, naturaleza de la atmósfera, etc. Resulta importante conocer la naturaleza y causa de las condiciones exotérmicas del DTA/DSC.

Los valores obtenidos con el DTA/DSC son exploraciones preliminares y no son considerados como datos finales debido a que la exotermicidad puede estar equivocada a causa de la endotermicidades enmascaradas o sensibilidad inadecuada.

- iii) Usar datos del calorímetro de velocidad acelerada (ARC) o un dispositivo equivalente (Dispositivo de Corrimiento Adiabático-ARD) que es más definitivo para la evaluación de la reactividad. Pueden evaluarse tanto los efectos térmicos como los debidos a la presión.

Se recomienda el uso del ARC/ARD para la obtención de más datos en materiales que representen una T_a (Temperatura de descomposición adiabática) de 1000° K o superior o bien indique signos de reactividad en el aparato de exploración DTA/DSC.

2. Polvo

- a) El MF para polvo se basa en el aumento máximo del gradiente de presión que se define como la relación entre el incremento de la presión de explosión y el intervalo de tiempo necesario para este mismo incremento.
- b) El polvo se clasifica en los tres grupos siguientes: ST-1 ST-2 y ST-3 en relación al incremento de presión. Distintos dispositivos de ensayo (tamaño y forma) darán resultados diferentes del aumento máximo del gradiente de presión.
- c) Para el cilindro de ensayo de Hartmann ST-1 corresponde a 513,2 Kg/cm². seg. (7300 psi/seg.) y valores inferiores mientras ST-3 corresponde a valores de 1546,6 Kg/cm². seg. (22.000 psi/seg.) y superiores.

3. Mezclas de compuestos

Cuando el material significativo es una mezcla, el MF se obtiene mejor a partir de las propiedades de la mezcla (punto de inflamación, T_a , pico del DTA/DSC, etc).

Si las propiedades cambian, como ocurre en procesos discontinuos, se han de usar aquellas condiciones que producen el valor superior del MF durante el cambio.

El programa para Productos Químicos Reactivos preconiza el ensayo para determinar la energía almacenada inherente en un compuesto o mezcla y la velocidad probable de liberación de energía. Cuando el ensayo se haya completado deben tenerse los datos necesarios para determinar el N_i o el N_r para un MF, usando la Tabla I.

Como un método alternativo, mientras no se conozcan los datos pertinentes se puede asignar a las mezclas un MF promedio ponderado a base de % en peso. Esta alternativa sólo es útil cuando los ingredientes de la mezcla no reaccionan entre sí. (Ejemplo: un 20 % de trietilaluminio (MF = 29) en hexano (MF = 16) deberá presentar un MF de $(20 \times 29) + (80 \times 16)/100 = 18,6$)

TABLA I - GUIA PARA LA DETERMINACION DEL FACTOR MATERIAL

	² T _a °K	<830	⁴ 830 - 935	³ 935 - 1010	1010 - 1080	>1080
	Pico °C DTA/DSC	>400	305 - 400	215 - 305	125 to 215	<125
	NFPA 325M	N _i = 0	N _i = 1	N _i = 2	N _i = 3	N _i = 4
¹ No Combustible	N _i = 0	1	14	24	29	40
T _i > 60°C	N _i = 1	4	14	24	29	40
T _i > 37,8°C < 60°C	N _i = 2	10	14	24	29	40
T _i < 37,8°C T _e > 37,8°C	N _i = 3	16	16	24	29	40
T _i < 37,8°C T _e < 37,8°C	N _i = 4	21	21	24	29	40
Polvo o vapor combustible						
ST-1		16	16	24	29	40
ST-2		21	21	24	29	40
ST-3		24	24	24	29	40
Sólidos combustibles						
⁵ Denso > 40 mm espesor		4	14	24	29	40
⁶ Abierto < 40 mm espesor		10	14	24	29	40
⁷ Espuma		16				
Espuma expandida		21				

¹ No quema en aire cuando se expone a temperatura de 815,5°C (1500°F) durante un período de 5 minutos.

² Adicionar 100° a T_a°K para los peróxidos antes de entrar en la Tabla.

³ ARC (Calorímetro de Velocidad Acelerada), datos recomendados para T_a °K de 1000° ó superiores).

Los datos del ARC (o ARD) deberían ser obtenidos y analizados con el fin de determinar la naturaleza práctica del riesgo y los mejores medios para enfrentarse a él, no únicamente para el N_r. Con el fin de asignar un N_r, los datos del ARC pueden generalmente ser traducidos al máximo grado de incremento de la temperatura adiabática para una gran cantidad de mezcla (es despreciable la masa del recipiente). Medios para realizar esto se hallan en estudio por los especialistas en Productos Químicos Reactivos e Ingeniería de Procesos al transcribir este trabajo. El Dow Report GE-76-4 cubre el trabajo realizado en el pasado en este campo.

⁴ Las gamas de T_a para cada zona N_r son asignadas arbitrariamente y están basadas en el trabajo del D.R. Stull y E.S. DeHaven. Se compararon ochenta compuestos, usados comunmente en la industria, utilizando datos termodinámicos y el N_r asignado por el NFPA entre 0 y 4. Fueron razonablemente exactos dentro de un ± 5% para cada una de las áreas indicadas.

⁵ Incluye madera, lingotes de magnesio y pilas de sólidos apretados.

⁶ Incluye materiales granulados rugosos tales como pastillas de plástico; almacenamientos en bastidores; materiales como el "Methocel" en sacos o silos; rollos de papel.

⁷ Incluye productos de caucho, tales como neumáticos, botas, etc.

FACTORES QUE CONTRIBUYEN AL RIESGO

Una vez elegido el MF apropiado, la siguiente etapa consiste en calcular el "Factor de Riesgo de la Unidad" y el IIE.

Se consigue esto por recopilación de cada uno de los "Riesgos Contribuyentes", indicados en Riesgos Generales del Proceso y Riesgos Especiales de Proceso en la hoja de trabajo del IIE (Diagrama A).

Cada uno de los apartados indicados son considerados como factores que contribuyen al desarrollo de un incidente que puede causar un incendio o una explosión. No se puede aplicar cada apartado a una "Unidad de Proceso"; sin embargo, todos aquellos apartados que sean aplicables deben evaluarse y aplicar la penalización adecuada.

La hoja de trabajo del IIE contiene penalizaciones para algunos de los Riesgos Contribuyentes. Cuando no se indican penalizaciones es necesario referirse a la Figura o Tabla indicada para aplicar la penalización correcta.

RIESGOS GENERALES DEL PROCESO

Los items indicados en esta sección aumentan la magnitud de un incidente probable. Se aplican a cierto tipo de procesos, su disposición y las condiciones de drenaje y hay una sección para el manejo y almacenamiento de productos.

Cada item deberá ser revisado en su relación con la unidad de proceso que se evalúa y se le aplicará la penalización apropiada.

A. Reacciones exotérmicas

1. Las reacciones siguientes se penalizan con 0,30:

- a) **Hidrogenación:** Adición de átomos de hidrógeno a un enlace doble o triple.
- b) **Hidrólisis:** Reacción de un compuesto con agua, tal como la fabricación de ácidos sulfúrico o fosfórico a partir de sus óxidos (Epiclohidrina y agua requiere una penalización de 0,50)
- c) **Isomerización:** Reagrupamiento de los átomos en una molécula orgánica, p. ej. cambio de una cadena lineal en una ramificada.
- d) **Sulfonación:** Introducción de un radical SO_3H en una molécula orgánica mediante reacción con H_2SO_4 .
- e) **Neutralización:** Reacción entre un ácido y una base para dar una sal y agua.

2. Se penalizan con 0,50:

- a) **Alquilación:** Adición de un grupo alquilo a un compuesto para formar varios compuestos orgánicos.
- b) **Esterificación:** Reacción entre un ácido y un alcohol o un hidrocarburo insaturado. Cuando el ácido es un material que reacciona intensamente, aumentar la penalización a 0,75.
- c) **Oxidación:** Combinación de oxígeno con algunas sustancias cuando la reacción se halla controlada y no da CO_2 y H_2O como productos de combustión. Cuando se usan agentes oxidantes intensos, tales como cloratos, ácido nítrico, ácido hipocloroso y sus sales, aumentar la penalización a 1,00.
- d) **Polimerización:** Unión conjunta de moléculas para formar cadenas u otras uniones.
- e) **Condensación:** Unión conjunta de dos o más moléculas orgánicas con desprendimiento de H_2O , HCl u otros compuestos

3. Se penalizan con 1,00:

- a) **Halogenación:** Introducción de átomos de halógenos (fluor, cloro, bromo o yodo) en una molécula orgánica.

4. Se penalizan con 1,25:

- a) **Nitración:** Sustitución de un átomo de hidrógeno de un compuesto por un grupo nitro.

B. Reacciones endotérmicas

Todas las reacciones endotérmicas se penalizan con 0,20 excepto cuando la fuente de energía para sostener la reacción es proporcionada por la combustión de un sólido, líquido o gas, en cuyo caso la penalización es del 0,40.

Son ejemplos de reacciones endotérmicas:

- a) **Calcinación:** Calentar un material para eliminar la humedad u otro material volátil.
- b) **Electrolisis:** Separación de iones mediante la corriente eléctrica.
- c) **Pirólisis o cracking:** Descomposición térmica de moléculas grandes por temperatura elevada, presión y un catalizador.

C. Manejo y transferencia de materiales

Esta sección cubre distintas funciones relacionadas con la formulación, la mezcla, carga, descarga y almacenamiento de materiales.

1. Carga y descarga de líquidos inflamables de Clase I (punto de inflamación inferior a 37,8°C (100°F) o gas licuado del petróleo. La penalización que se aplica a la conexión y desconexión de líneas de transferencia de camiones, vagones cisterna, barcasas y buques es de 0,50.
2. El uso de centrífugas y reacciones o mezclado discontinuo en recipientes semi-abiertos presenta una penalización de 0,50.
3. El almacenamiento en locales y patios cubre el almacenamiento de productos, en general, exceptuándose los combustibles y productos contenidos en tanques al aire libre, incluyendo el manejo y almacenamiento de materiales en bidones, cilindros, sacos de papel o plástico, cajas de cartón, láminas de espuma, carbón o madera, le corresponde una penalización de 0,25 a 0,85 según lo indicado en la Tabla II.

Estas penalizaciones se aplican a causa de la exposición del manejo y potencialidad del incendio que puede producirse y sin tener en cuenta la cantidad presente.

D. Unidades de Procesos- Locales Cerrados

Las áreas donde se tratan líquidos y gases inflamables es preferible que sean construcciones ventiladas libremente y abiertas. También los colectores de polvo y filtros deben ubicarse en áreas abiertas, donde no tengan lugar otros procesos.

Se entiende por zona cerrada aquella área que contiene tres o cuatro lados sin aberturas en la base o sólo con aberturas en dos lados de un área cerrada por los cuatro lados.

El requisito mínimo de ventilación para un área cerrada donde se manejan líquidos o gases inflamables es el que corresponde a seis renovaciones de aire por hora o bien 300 litros de aire por minuto y por aproximadamente cada m² de superficie del suelo (pie cúbico de aire por minuto por pie cuadrado de superficie).

Reconociéndose el alto grado de exposición que se produce en las áreas cerradas, se consideran necesarias las penalizaciones indicadas en la Tabla II.

E. Acceso

Se considera requisito mínimo para un área de operación que excede los 925 m² el acceso posible de equipos de emergencia al área de trabajo por dos lados al menos.

Este requisito no será aplicable a un edificio dedicado a almacenamiento excepción hecha de que su área encerrada exceda los 2312 m².

F. Drenajes

Un inadecuado diseño de los drenajes ha sido un factor que ha contribuido a grandes pérdidas cuando se han producido vertidos de líquidos inflamables.

Se ha de considerar que el 75 % de la máxima cantidad de líquidos inflamables envuelta en el proceso puede verterse. Si esta cantidad, conjuntamente con el agua utilizada contra el incendio, puede quedar atrapada alrededor de zonas que rodeen la unidad de proceso, o si los canales de drenaje pueden transportar el líquido inflamable hacia los diques afectando a líneas de servicios generales u otras unidades de proceso, se aplica una penalización de 0,50.

La misma penalización podría aplicarse cuando se usa un diseño de dique para retener el vertido alrededor de la unidad de proceso.

Cuando el diseño del dique dirige el vertido lejos de la unidad de proceso a una piscina al efecto, la penalización se reduce a 0,25.

TABLA II - RIESGOS GENERALES DEL PROCESO

A. REACCIONES EXOTERMICAS

1. Hidrogenación, Hidrólisis, Isomerización, Sulfonación y Neutralización = 0,30 penalización.

2. Alquilación, Esterificación **, Oxidación*, Polimerización y Condensación = 0,50 penalización.

* En reacciones de oxidación que intervienen agentes oxidantes intensos como cloratos, ácido nítrico, ácido hipocloroso y sus sales, etc., la penalización aumenta a 1,00

** Cuando el ácido es un material que reacciona intensamente, la penalización es de 0,75.

3. Halogenación = 1,00 penalización

4. Nitración = 1,25 penalización.

B. REACCIONES ENDOTERMICAS

1. Calcinación, Electrólisis, Pirólisis o Cracking = 0,20 penalización.

(Cuando la fuente de energía es proporcionada por combustión de un sólido, líquido o gas, aumenta la penalización a 0,40).

C. MANEJO Y TRANSFERENCIA DE MATERIALES

1. Carga y descarga de líquidos inflamables Clase I ó gases del petróleo (L.P.G.) = 0,50 penalización.

2. Uso de centrifugas, reacciones discontinuas o mezclado discontinuo = 0,50 penalización.

3. Almacenamiento en almacenes y patios

a) Líquidos inflamables Clase I o L.P.G. o gases inflamables = 0,85 penalización.

b) Combustibles sólidos identificados como abiertos o espumados (<40 mm espesor) = 0,65 penalización.

c) Combustibles sólidos identificados como de célula cerrada o densos (>40 mm espesor) = 0,40 penalización.

d) Líquidos combustibles Clase II = 0,25 penalización.

D. UNIDADES DE PROCESO EN LOCALES CERRADOS

1. Filtros o colectores de polvo = 0,50

2. Líquidos inflamables que estén a una temperatura superior al punto de inflamación (Flash point) y por debajo del punto de ebullición = 0,30.

3. Líquidos inflamables o L.P.G. a una temperatura superior al punto de ebullición = 0,60

4. Para cantidades superiores a 4, 5.10³ Kg (10 M libras) de los items 2 ó 3, la penalización es 1,5 veces la indicada.

E. ACCESO

1. Penalización de 0,35 por acceso inadecuado.

F. DRENAJES

1. Penalización de 0,25 si el drenaje es dirigido hacia una piscina al efecto.

2. Penalización de 0,50 si se usa un dique para retener el vertido alrededor de la unidad de proceso o el vertido puede quedar atrapado alrededor de las unidades de proceso

RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO

Los items indicados en esta sección contribuyen a los incidentes que aumentan la probabilidad de un incendio o explosión. Cada item deberá ser revisado en relación a la evaluación de la unidad del proceso y se aplicará la penalización apropiada.

A. Temperatura del proceso

1. Si la temperatura del proceso o las condiciones de manejo son las del punto de inflamación del material o superior, se aplica una penalización de 0,30.
2. Si la temperatura del proceso o las condiciones de manejo son las del punto de ebullición del material o superior, se aplica una penalización de 0,60.
3. Algunos materiales pueden entrar en ignición, sin llama o chispa, (autoignición), por contacto con superficies calientes o aire, (materiales pirofóricos). Son ejemplos de materiales con temperaturas de autoignición bajas, el disulfuro de carbono, el hexano y el fuel-oil.

Como ejemplo de materiales pirofóricos se hallan los alquil-aluminio, el fósforo y el sodio. En todos estos casos se aplica una penalización de 0,75.

B. Presión Baja (Inferior a la atmosférica)

Se aplica a aquellos casos en que una entrada de aire dentro de un sistema puede causar un riesgo. Ello puede ocasionar el contacto del aire con materiales sensibles a la humedad o al oxígeno o bien a la formación de mezclas inflamables. La penalización se aplica cuando el equipo de proceso opera a presión inferior a la atmosférica, aunque sea momentáneamente como en el caso de la aspiración de un compresor. La penalización es de 0,50.

C. Operación en condiciones de inflamabilidad o cercanas a ella

Existen determinadas condiciones de operación que pueden producir el que una mezcla de aire entre en el sistema y produzca una mezcla inflamable y así crear un riesgo. En esta sección se trata de las siguientes condiciones:

1. Almacenaje en tanques de líquidos inflamables (Clase I) con entrada de aire en el interior del tanque durante el vaciado o enfriamiento súbito del tanque. Penalización de 0,50.
2. Procesos u operaciones que pueden hallarse en condiciones de inflamabilidad o cercanas a ella, sólo en caso de fallo de instrumentos o equipos o fallo de purgas. Penalización de 0,30.
3. Procesos u operaciones que por su propia naturaleza siempre se hallan en o cerca de las condiciones de inflamabilidad bien porque la operación de purga no puede practicarse o bien porque se ha decidido no realizar la purga. En la descarga de barcasas, camiones o vagones cisterna, si se usa la inertización, reducir la penalización a la mitad. La penalización es de 0,80.

D. Explosión de polvo

Es el tamaño de partícula de cualquier polvo el que determina su capacidad para permanecer en suspensión por más tiempo, así como la energía desarrollada en la ignición. En general, las partículas de polvo de tamaño superior a las 150 micras no desarrollan presiones superiores a $91,4 \text{ kg/cm}^2$ (1300 psi) por segundo.

La penalización en esta sección se aplica a cualquier operación de manejo, trasvase, mezcla, trituración, ensacado, etc. de polvo. Las penalizaciones varían de 0,25 a 2,00 según la Tabla III.

Todo polvo tiene una gama de tamaño de partícula y la penalización debe aplicarse en función del tamaño de malla que deje pasar el 25 % de la muestra (p. ej., tamaño de partículas de las cuales el 75 % del polvo es más grueso y el 25 % es el más fino)..

TABLA III - PENALIZACION POR EXPLOSION DE POLVO

Tamaño partícula en micras	Tamaño de malla Tyler	Penalización*
> 175	60 - 80	0,25
150 - 175	80 - 100	0,50
100 - 150	100 - 150	0,75
75 - 100	150 - 200	1,25
< 75	> 200	2

* Usar la mitad de la penalización indicada si el polvo se maneja en un gas inerte.

E. Presión de alivio (tarado) - Figura 2

Cuando se opera a presión superior a la atmosférica debe penalizarse para compensar la exposición en función del incremento de presión.

Los sistemas con presiones superiores a 210 Kg/cm^2 (3000 psig) se hallan fuera de la gama de los códigos de normas (Código ASME para recipientes a presión sin hogar, Sección VII, División 1) y deben usarse en el diseño de bridas, juntas de anillo de lentes, juntas o retenes cónicos o cierres equivalentes.

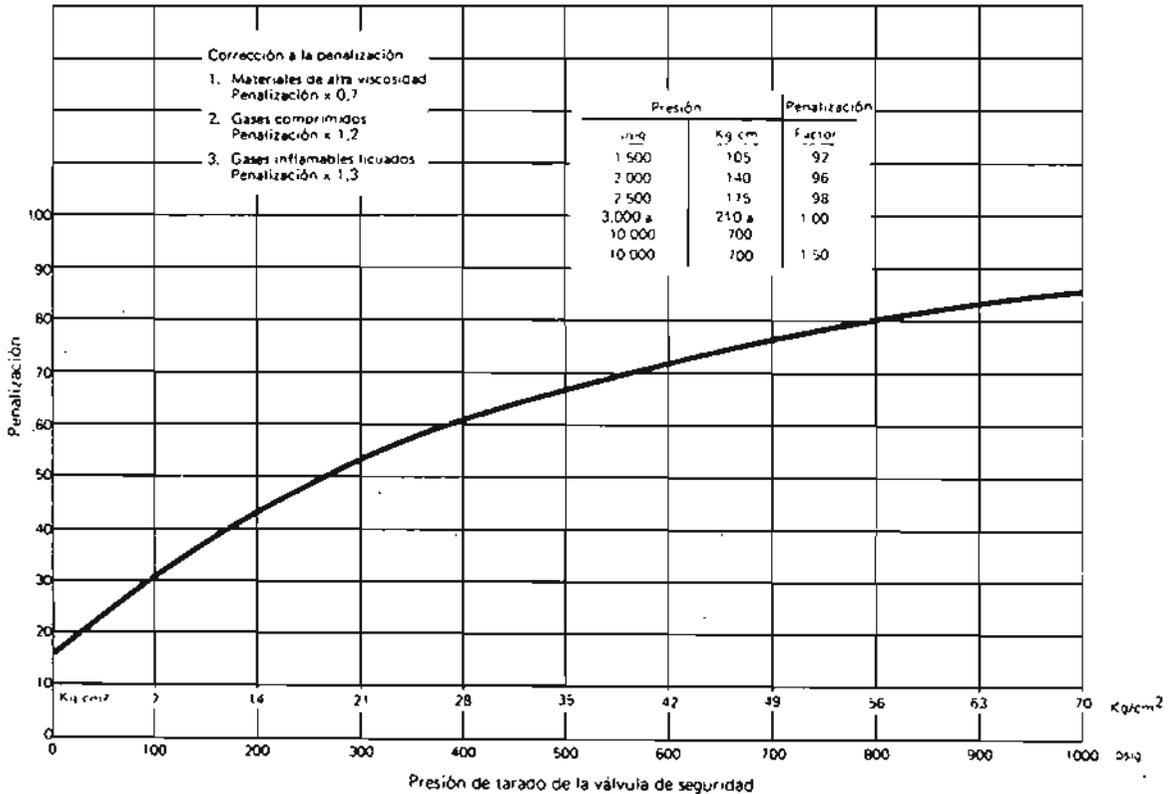
El peligro proviene de una descarga importante de líquido o gas que pueda producirse. (Las penalizaciones no son aplicables a las operaciones de moldeo o extrusión).

Para determinar el coeficiente de penalización en la Fig. 2, se parte de la presión de tarado de los discos de ruptura o válvulas de alivio. Emplear la presión real para los sistemas con aceite hidráulico.

La curva de penalización de la presión de trabajo es aplicable para líquidos inflamables y combustibles (punto de inflamabilidad inferior a 60°C , (140°F)), y para otros materiales se ha de corregir como se indica a continuación:

1. Para materiales altamente viscosos tales como alquitranes, betunes, lubricantes pesados o aceites hidráulicos y asfaltos, multiplicar la penalización por 0,70.
2. Para gases comprimidos, multiplicar la penalización por 1,2.
3. Para gases licuados inflamables (aquellos materiales con presión absoluta de vapor 2,4 kg/cm², (40 psi) o superiores a temperaturas de 37,8°C (100°F), multiplicar la penalización por 1,3.

Figura 2 - Presión de tarado de la válvula de seguridad para líquidos inflamables o combustibles



F. Baja temperatura

El propósito de esta clasificación es tener en cuenta la posible fragilidad del acero al carbono cuando se opera a la temperatura de transición o inferior. Los ensayos han mostrado que mientras no se opere a temperaturas inferiores a la de transición no es necesaria penalización alguna.

Se aplican las siguientes penalizaciones:

1. Para procesos que utilizan construcciones de acero al carbono que operan entre 10 y -29°C (50 y -20°F) la penalización es de 0,30.
2. Cuando el acero al carbono se usa a menos de -29°C (-20°F) la penalización es de 0,50.
3. Para otros materiales distintos al acero al carbono cuando la temperatura de trabajo es igual o inferior a la temperatura de transición, emplear una penalización de 0,20.

G. Cantidad de material inflamable

Esta sección valora la exposición adicional de un área cuando aumentan las cantidades de materiales inflamables. Se consideran tres categorías en esta sección y cada una se evaluará mediante una curva de penalización separada.

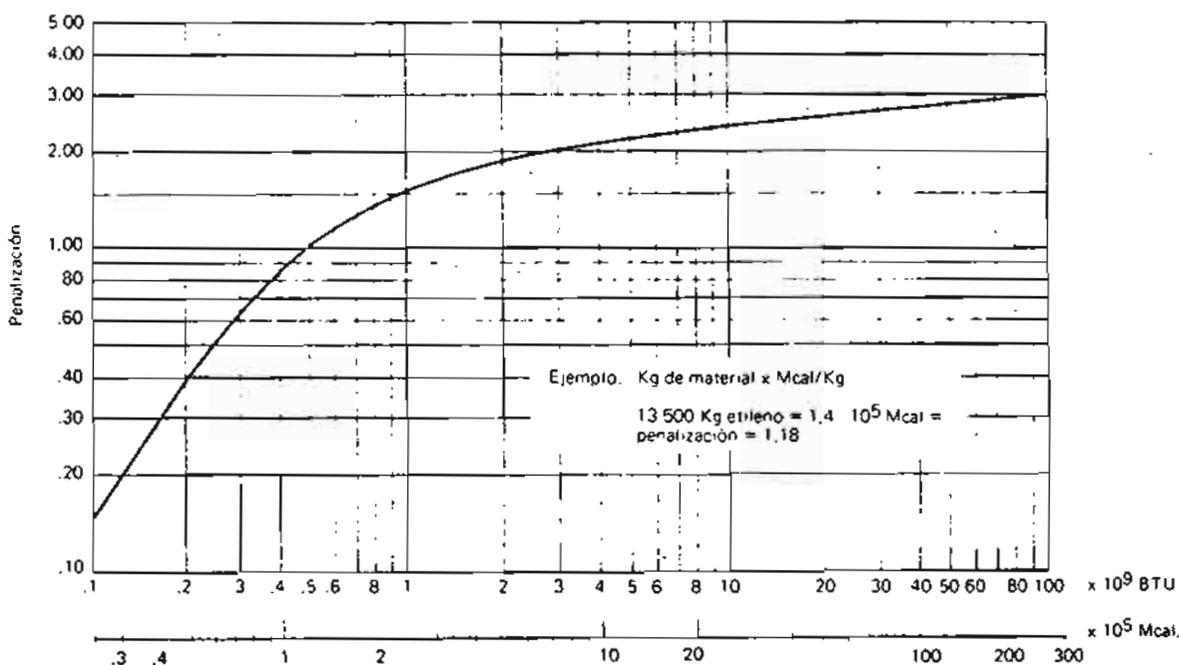
1. Líquidos o gases en proceso - Figura 3

Esta categoría se aplica a líquidos inflamables o combustibles (punto de inflamación inferior a 60°C (140°F), gases licuados o gases utilizados en varias fases del proceso. Se incluye bombeo en tanques de espera, destilación, purificación, reacción, etc.

Usar la mayor de las dos cantidades: La cantidad de material en la unidad de proceso que se evalúa o la cantidad de material en una unidad conectada.

Cuando las válvulas de cierre y apertura pueden accionarse desde un lugar remoto, se permitirá la reducción de la exposición a la 1/2 del volumen total.

Figura 3 - Líquidos o gases en proceso



Para obtener la penalización se multiplican los kilos de material por ΔH_c (en Megacalorías/Kg) y se obtienen las Megacalorías $\times 10^5$ totales.

Usar la Figura 3, buscar las Megacalorías $\times 10^5$ y obtener la penalización en el punto de intersección con la curva.

Los líquidos combustibles con puntos de inflamación superiores a 60°C (140°F) también presentan una penalización cuando el proceso se realiza a temperatura superior al punto de inflamación del material.

Los materiales inestables deben evaluarse por su calor de descomposición. Debe usarse seis veces el valor de la energía de descomposición en Megacaloría/Kg y multiplicar por los Kg para obtener las Megacalorías $\times 10^5$ y entrar en Figura 3 (H_d puede calcularse: $H_d = (T_a - 300) \times 0.70$).

2. Líquidos o gases en almacenamiento - Figura 4

Esta sección reconoce un nivel de peligro más bajo para líquidos inflamables y combustibles (punto de inflamación inferior a 60°C (140°F)), gases licuados o gases almacenados. Esto se aplica a zonas de almacenamiento al aire libre en tanques que contienen combustibles, depósitos de materia prima en bidones o tanques y materiales en recipientes portátiles.

La penalización se basa sobre el total de Megacalorías en un solo recipiente de almacenamiento, con excepción del caso de recipientes, (bidones) en el que se aplica la cantidad total de material almacenado en todos los bidones.

Los materiales inestables deberán evaluarse según su calor de descomposición. Usar el mismo método de cálculo indicado en el apartado G. 1. y luego emplear la curva "A" en la Figura 4.

Cuando hay más de un recipiente en un área de dique común que no desagüe en una balsa al efecto, usar las Megacalorías de todos los tanques para obtener la penalización a partir de la curva de la Fig. 4 (Ver ejemplo abajo).

Ejemplo:

330,2 Mkg de estireno, 330.2 Mkg de dietil-benceno y 272 Mkg de acrilonitrilo, almacenados en tres tanques en un dique común:

$$330,2 \times 9,7 \times 10^3 = 32 \times 10^5 \text{ Mcal.}$$

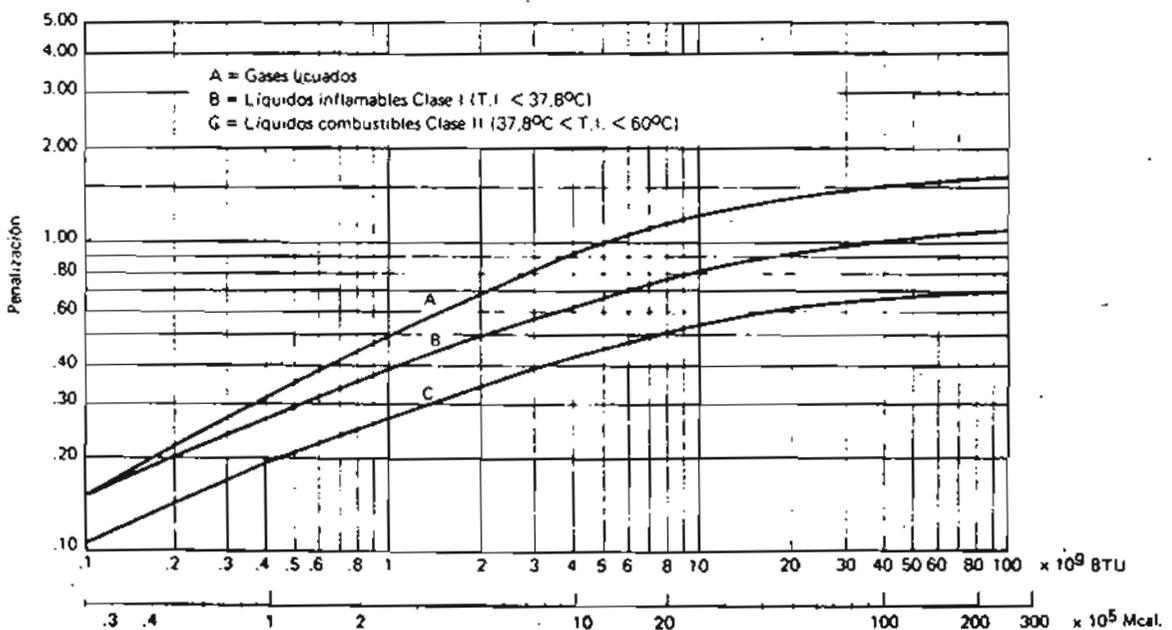
$$330,2 \times 10,05 \times 10^3 = 33 \times 10^5 \text{ Mcal.}$$

$$272,2 \times 7,6 \times 10^3 = 10 \times 10^5 \text{ Mcal.}$$

$$\text{Mcal Total} = 85 \times 10^5$$

Usando la curva B para estireno y acrilonitrilo la penalización es de 1,00

Figura 4 - Líquidos o gases en almacenamiento



3. Sólidos combustibles en almacenamiento - Figura 5

En esta categoría se trata de la penalización requerida para el almacenamiento de distintas cantidades de varios tipos de sólidos. La densidad y facilidad de ignición, así como la capacidad para mantener y propagar la llama son las medidas usadas en la curva de penalización.

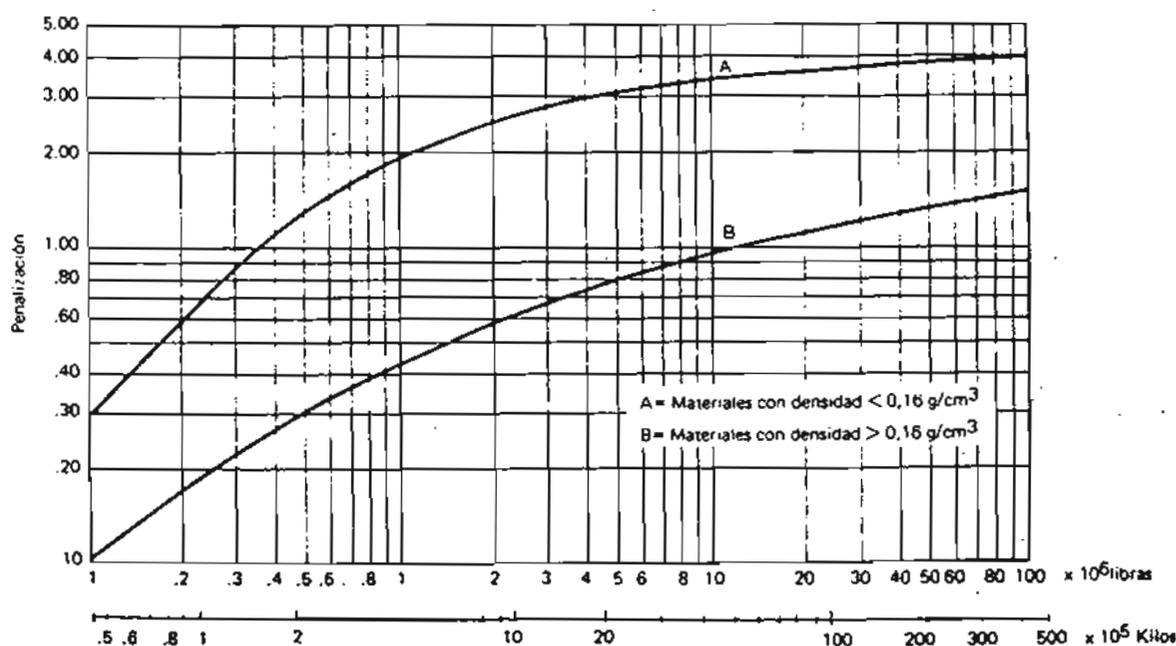
Para determinar la penalización se toma el número total de kilos del material almacenado en un almacén que se halle dentro de un área con una cortina contra el fuego, una pared corta-fuego o bien dentro de toda el área de almacenamiento cuando no existen cortinas o paredes contra el fuego. Si el material tiene una densidad inferior a $0,16 \text{ g/cm}^3$ usar la curva "A" de la Fig. 5; si esta densidad es superior usar la curva "B".

A las cajas de espuma expandida o de cartón en cubetas de poliestireno, del ejemplo, corresponde una penalización de 1,60; $35,3 \times 8,49 \text{ M} = 2.99.10^5 \text{ Kg}$; de la curva A = 1,60; a las pastillas de poliestireno en sacos corresponde una penalización de 0,90; $449,3 \times 8,94 \text{ M} = 38,1.10^5 \text{ Kg}$; de la curva B = 0,90. En los materiales inestables (N_f de 2 ó más) la evaluación debe tener en cuenta el valor de la energía de descomposición. Usar 6 veces el peso antes de usar la curva "A" de la Fig. 5.

Ejemplo:

Un área de 1858 m^2 (20 M pies^2) con una altura de almacenamiento de $4,57 \text{ m}$ (15 pies) conteniendo 8.495 m^3 (300 M pies^3) de almacenamiento. Si se almacena en esta área cajas de espuma expandida o cartón en cubetas de poliestireno con una densidad media de $35,3 \text{ Kg/m}^3$ ($2,2 \text{ lb/pie}^3$) la densidad de combustible en términos de Kg/m^3 es muy inferior a la de las pastillas de polietileno o polvo de "Methocel" en sacos, que presentan una densidad promedio de $449,3 \text{ kg/m}^3$ (28 lb/pie^3). Sin embargo las cajas de espuma expandida o cartón en cubetas de poliestireno arden más fácilmente y mantendrán la llama más fácilmente que el material más denso de los sacos.

Figura 5 - Combustibles sólidos en almacenamiento



H. Corrosión y erosión

Estos factores deben ser evaluados tanto para la corrosión interna como externa. Algunos aspectos que deben considerarse son Influencia de impurezas menores en los fluidos de los procesos sobre la corrosión; la corrosión externa por resquebrajamiento de la pintura; la exposición de los recubrimientos resistentes, (plásticos, ladrillos, etc). por agrietamiento en uniones, empalmes o poros. Se aplican las siguientes penalizaciones:

1. Velocidad de corrosión inferior a 0,5 mm/año con riesgo de picadura o erosión local = 0,10
2. Velocidad de corrosión entre 0,5 mm y 1 mm/año = 0,20
3. Velocidad de corrosión superior a 1 mm/año = 0,50
4. Riesgo de producirse rotura a causa de corrosión por tensión = 0,75

J. Fugas - uniones y empaquetaduras

Las juntas, el sellado de las uniones o ejes y las empaquetaduras pueden ser una fuente de fugas, principalmente cuando se producen ciclos térmicos y de presión. Se ha de elegir un factor de penalización de acuerdo al diseño y materiales elegidos, según se indica a continuación, que oscilará entre 0,10 a 1,50

1. La bomba y los prensaestopas que pueden dar lugar a fugas de pequeña importancia: Penalización de 0,10
2. Todos aquellos procesos que normalmente producen problemas de fugas en bombas, compresores y uniones con bridas: Penalización de 0,30
3. Aquellos procesos en que los fluidos por su naturaleza son penetrantes dispersiones abrasivas que causan contínuos problemas de estanqueidad: Penalización de 0,40
4. Ventanillas de observación, dispositivos de fuelles y juntas de dilatación: Penalización de 1,50

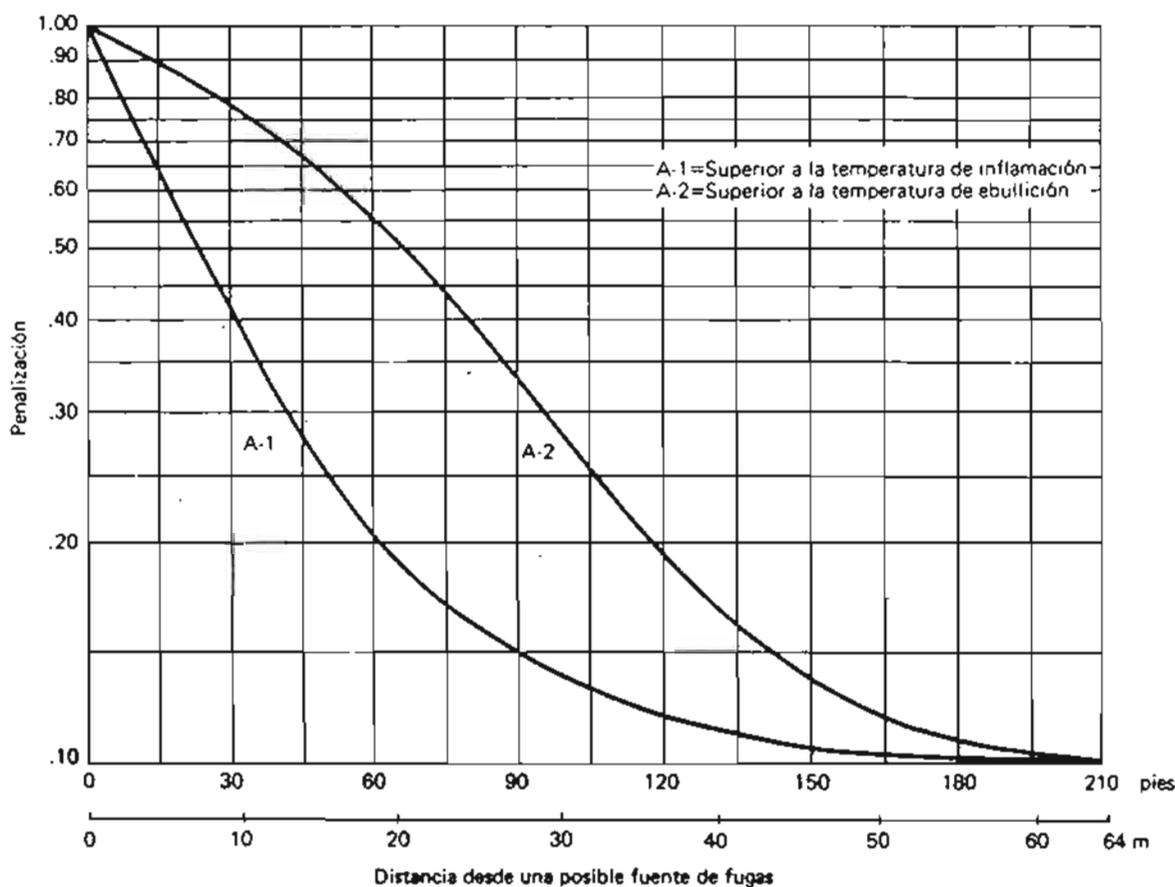
K. Uso de calentadores con fuego directo - Figura 6

La existencia de equipos con fuego directo en una planta de procesos añade una exposición suplementaria a la probabilidad de ignición ante fugas de vapores inflamables. La fuga de un líquido inflamable por encima de su punto de inflamación (A-1 en el gráfico), proporciona una mezcla de vapor-aire con un potencial inicial de cierta consideración. La cantidad liberada, las condiciones de la temperatura ambiente en el momento de la liberación, la dirección del viento y su velocidad, así como la distancia del equipo de calefacción son el conjunto de factores que determinan la probabilidad de ignición. Si el material inflamable se libera a temperatura superior al punto de ebullición (A-2, en la figura) se aumenta la probabilidad de ignición.

La penalización se determina usando la curva apropiada de la Figura 6 (A-1 ó A-2), la cual valora las condiciones de temperatura del proceso, y la distancia de una fuente de fuga potencial, (bombas, filtros, conexiones de bridas, puntos de muestreo, etc). hasta el equipo de calefacción.

El equipo de calefacción con fuego directo diseñado con el tipo de "quemador de presión" requiere sólo el 50 % de la penalización aplicable a un diseño de quemador normal, suponiendo que la entrada de aire se halle a 3 m. (10 pies) o más por encima del suelo y esté alejada de vertidos por la parte superior.

Figura 6 - Penalización por calentamiento por fuego (focalizado en la planta de proceso)



L. Sistemas de intercambio térmico con aceite caliente

Los sistemas de transferencia de calor que usan un combustible líquido como medio de intercambio térmico presentan un riesgo de incendio adicional cuando se opera a temperatura superior al punto de inflamación del combustible. En algunos procesos el mayor riesgo de incendio puede ser debido al sistema de transferencia de calor.

Para calcular el factor de penalización se ponderan principalmente dos condiciones: La cantidad de fluido de intercambio térmico en el sistema y la temperatura de operación.

La parte del sistema que se puede clasificar como de almacenamiento no se usa en la determinación de la cantidad, excepto cuando se halla colindante con la unidad de proceso que se evalúa. Las penalizaciones oscilan entre 0,15 a 1,15. Ver Tabla IV adjunta.

La parte del sistema que no se alimenta automáticamente se clasifica como de almacenamiento.

TABLA IV - Penalización para sistemas de intercambio térmico con aceite caliente		
Cantidad (litros)	Por encima del punto de inflamación	A la t^a de ebullición o superior
< 19 M	0,15	0,25
19 - 38 M	0,30	0,45
38 - 95 M	0,50	0,75
> 95 M	0,75	1,15

M. Equipos en rotación - Bombas, compresores

Esta sección valora la exposición al riesgo de un área de proceso donde se utilizan grandes unidades de equipos en rotación.

No se ha desarrollado fórmula alguna para evaluar todos los diferentes tipos y tamaños de esta categoría de equipos; sin embargo, existe evidencia estadística que indica, que las bombas y compresores más allá de cierto tamaño contribuyen con mayor probabilidad a ser un factor de incidente con pérdidas.

Se aplica una penalización de 0,50 a aquellas unidades de proceso que forman parte o utilizan una bomba de más de 75 c.v. o un compresor de 600 c.v. o más.

DETERMINACION DEL FACTOR DEL RIESGO DE LA UNIDAD

El factor del Riesgo de la Unidad (F_3) es el producto de la suma de todas las penalizaciones + el Factor Base de 1,00 en los Riesgos Generales de Proceso y todas las penalizaciones + el Factor Base de 1,00 en los Riesgos Especiales del Proceso que han sido aplicados. F_3 es simplemente el producto del Factor General del Proceso (F_1) y el Factor Especial del Proceso (F_2).

El Factor de Riesgo de la UNidad (F_3) presenta una gama lógica de 1 a 8 y es una medida de la magnitud del deterioro probable relativo debido a la exposición combinada de los varios factores contribuyentes usados en el cálculo, de la Unidad de Procesos. Esta magnitud del deterioro probable relativo debido a la exposición, se determina según la Figura 7 y se identifica como el Factor de Daño.

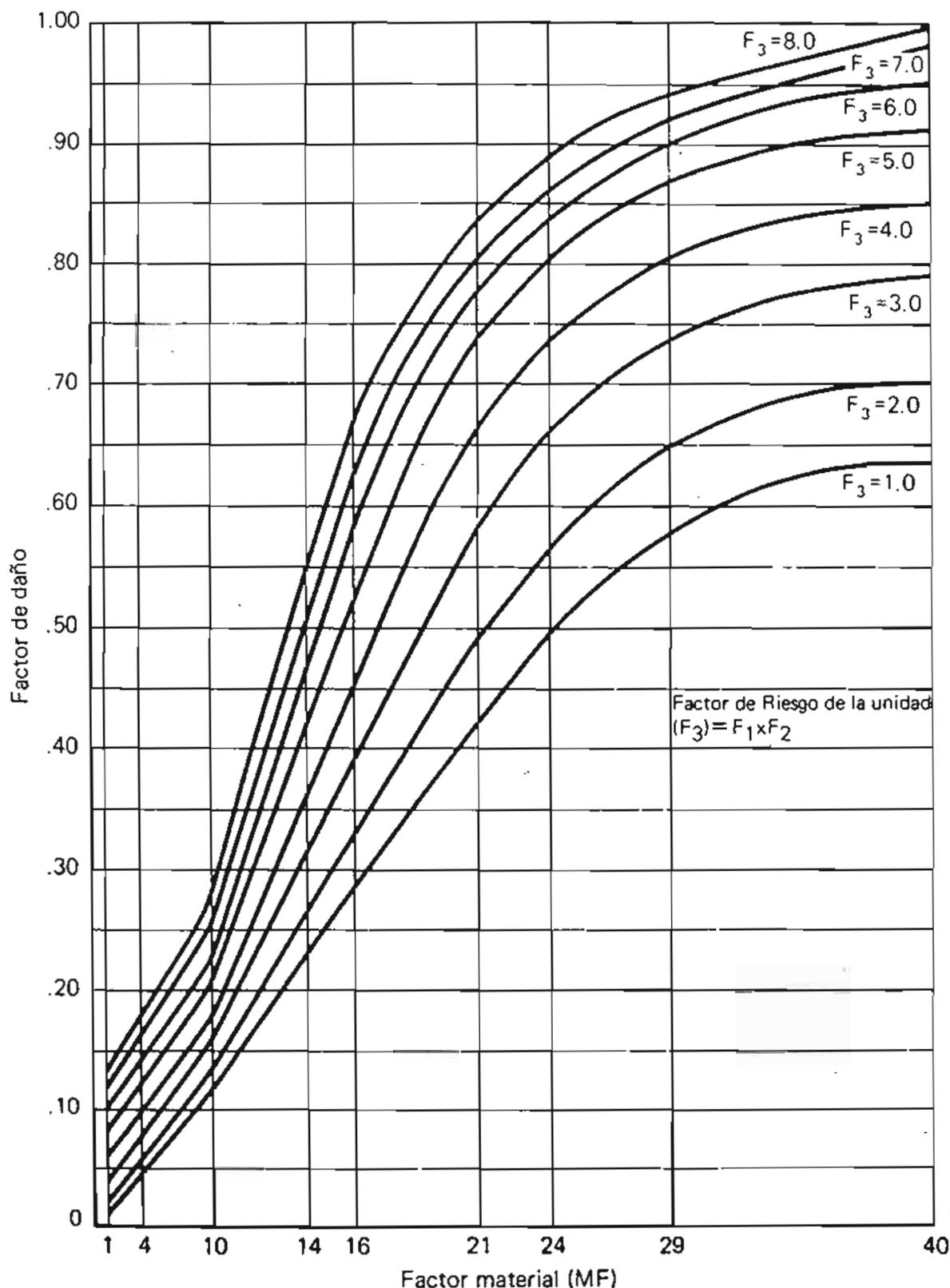
A medida que el factor material (MF) aumenta y el Factor de Riesgo de la Unidad (F_3) se incrementa, también el Factor de Daño aumenta de 0,1 a 1,00. Por ejemplo, dos "Unidades de Proceso" "A" y "B" pueden presentar un Factor de Riesgos de la Unidad (F_3) de 4,0. La unidad "A" tiene un MF de 16 y la unidad "B" un MF de 24. Usando la Fig. 7, se determina que el Factor de Daño para la unidad "A" es 0,45 y para la unidad "B" de 0,74.

El Factor de Riesgo de la Unidad (F_3) pasa a ser una medida del Factor de Daño y representa los efectos totales del fuego, más los daños de explosión resultantes de la liberación de energía de un combustible o de una sustancia reactiva, causada por varios factores contribuyentes asociados con la Unidad de Proceso.

El otro uso importante del Factor de Riesgo de la Unidad (F_3) es determinar el IIE. Este se obtiene por el producto del Factor de Riesgo de la Unidad (F_3) y el Factor Material (MF). Del ejemplo anterior se determina que la unidad "A" tiene un IIE de 64 (4×16) y la unidad "B" un IIE de 96 (4×24).

Aunque ambas unidades de proceso tienen el mismo Factor de Riesgo de la Unidad (F_3) de 4, la medida final de su probable exposición a pérdidas ha de incluir el riesgo del material que se trata o maneja.

Figura 7 - Factor de riesgo de la unidad.



DETERMINACION DEL INDICE DE INCENDIO Y EXPLOSION

El cálculo del índice de incendio y explosión es un procedimiento para la medida del deterioro probable que puede producirse en una planta de proceso. Los varios factores que contribuyen, tales como el tipo de reacción, temperatura del proceso, presión, cantidad de combustible, indican la magnitud y probabilidad de una liberación de combustible o energía debida a fallos de control, fallos o vibración de los equipos o a otra fatiga por tensión.

Los efectos de un incendio/o explosión de una mezcla combustible/aire posteriores a un escape e ignición se clasifican en los causados por: a) la onda explosiva o deflagración; b) exposición al fuego producido por el escape inicial; c) otras fugas de combustibles secundarios. Los efectos secundarios son más significativos al aumentar el Factor Riesgo de la Unidad y el Factor Material. En la Figura 8 el Índice de Incendio y Explosión (que es el producto del Factor de Riesgo de la Unidad por el Factor Material), se relaciona con el radio de exposición. Este representa el área probable de exposición que se hallará envuelta como resultado de los efectos combinados del Factor de Riesgo de la Unidad y el Factor Material especificado.

El efecto real del IIE sobre la evaluación final puede verse en los ejemplos usados en la sección anterior "Determinación del Factor de Riesgo de la Unidad", como se indica a continuación:

Unidad de Proceso "A"

Factor de Riesgo de la Unidad = 4,0

Factor Material = 16

Factor de Daño = 0,45

IIE = 64

Radio de Exposición = 17 m (55 pies)

Unidad de Proceso "B"

Factor de Riesgo de la Unidad = 4,0

Factor Material = 24

Factor de Daño = 0,74

IIE = 96

Radio de Exposición = 24 m (80 pies)

Las condiciones en la Unidad de Proceso "A" presentan un 45% de probabilidad de daño a 883 m² (9503 pies²) de área alrededor. Las condiciones de la Unidad de Proceso "B" presentan una probabilidad de daño del 74% a un área de 1868 m² (20.106 pies²).

Si la Unidad de Proceso "B" tuviera un factor de riesgo de la unidad de 2,7 en vez de 4,0, el IIE sería el mismo que la Unidad de Proceso "A". Sin embargo el Factor de Daño sería del 64% (basado sobre el MF de 24) para la Unidad de Proceso "B" en comparación con la Unidad de Proceso "A" con un Factor de Daño del 45% (basado sobre el MF de 16).

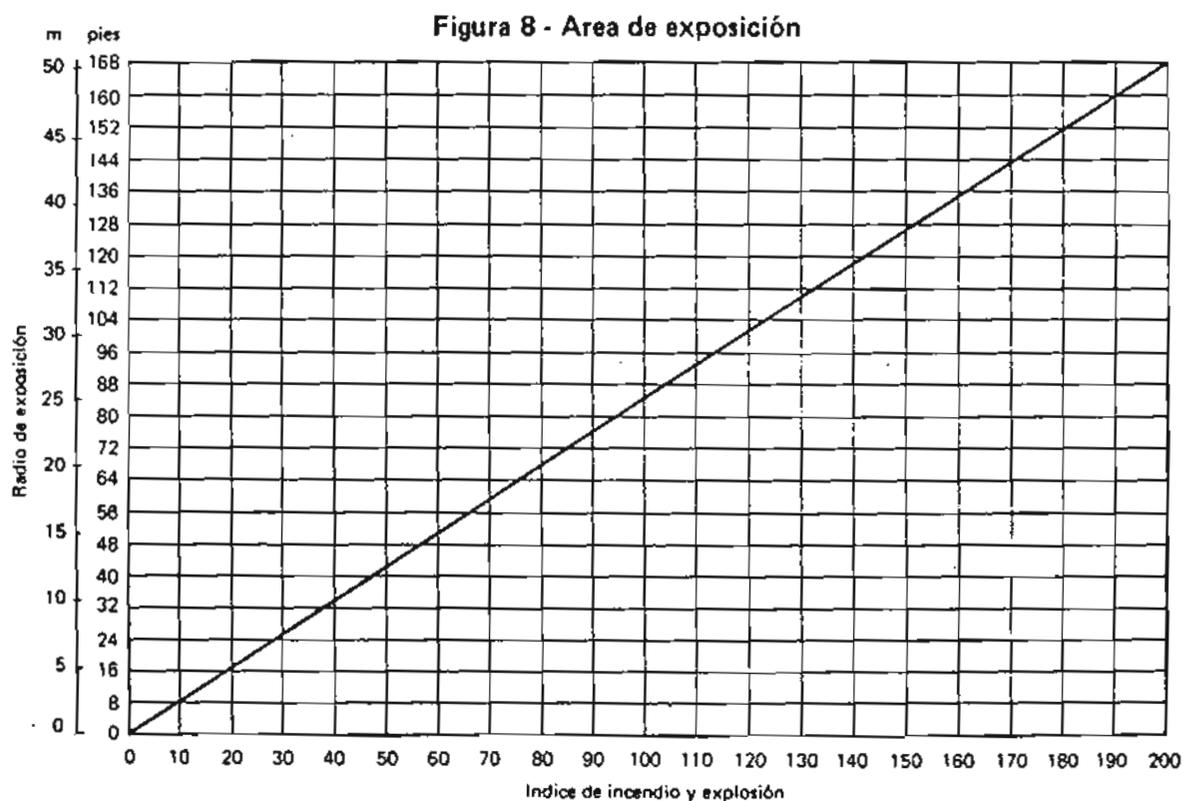
Es evidente que un incidente de incendio y/o explosión no se difunde en un círculo perfecto ni produce igual daño en todas las direcciones. Esto puede ser debido a la posición del equipo, la dirección del viento y la ubicación del drenaje. Es posible calcular el área afectada como el radio de un círculo que con un espesor de 8 cm (3 pulgadas) tenga un volumen que equivalga al del líquido inflamable derramado y el radio de sobrepresión de varias mezclas aire-vapor. Se han incorporado estos dos tipos de exposición al índice de IIE y se representa en la Figura 8, como el Radio del Área expuesta al riesgo, o área de exposición.

El índice de IIE de una Unidad de Proceso determina un **área expuesta** que indica que partes del equipo podrían ser expuestas a una explosión o incendio de aire combustible, producida por la Unidad de Proceso que se está evaluando.

El valor del equipo existente en esta área multiplicado por el Factor de Daño proporciona el Daño Máximo Probable de la Propiedad "Básico".

GAMA DEL IIE		GRADO DE PELIGRO
4ª. Edición	5ª Edición (1)	
1 - 50	1 - 60	Ligero
51 - 81	61 - 96	Moderado
82 - 107	97 - 127	Intermedio
108 - 133	128 - 158	Intenso
Más de 134	Más de 159	Grave

(1) El aumento de la gama es debido a la corrección de las tablas de penalización de tres factores contribuyentes y a la introducción de nuevos factores.



DAÑO BASICO MAXIMO PROBABLE DE LA PROPIEDAD

El "MPPD Básico" se obtiene a partir del valor de sustitución del equipo dentro del área de exposición.

Valor de sustitución = Costo original x 0,82 x Factor de escala. El 0,82 es un valor de origen estadístico para los elementos no sometidos a pérdida o sustitución, tales como preparación del lugar, carreteras, líneas subterráneas y cimientos, ingeniería, etc.

Los valores se pueden obtener a partir de los archivos contables reales o de la estimación del coste de equipos y construcciones dentro del radio de exposición.

En general, la Unidad de Proceso con el IIE más alto representará el MPPD Básico mayor. Sin embargo, tal como se ha indicado en los ejemplos de la sección anterior podrían haber dos unidades de proceso con el mismo IIE y con distinto Factor de Daño debido a un Factor Material diferente.

Resulta necesario evaluar el Factor de Riesgo de la Unidad, el Factor Material, el Factor de Daño y el IIE de cada Unidad de Proceso seleccionada, así como su posición en relación al equipo que le rodea para alcanzar el MPPD Básico más elevado.

A continuación se indican algunas excepciones referentes al área expuesta obtenida a partir del IIE, para obtener el MPPD Básico.

1. Un edificio de una o más plantas que contenga una Unidad de Proceso, se considera como una única área expuesta excepto cuando haya un muro cortafuego separando una parte del edificio de la otra, a menos que el MF usado sea 24 ó superior.
2. Un edificio de varias plantas cuyos forjados sean resistentes al fuego podría dividirse en niveles independientes para las áreas de exposición.
3. Si un edificio tiene sus paredes resistentes al fuego, puede considerarse excluido del área expuesta. Sin embargo, cuando el MF sea 24 o superior, no debe aceptarse una pared resistente al fuego como barrera.
4. Las paredes resistentes a la explosión se consideran adecuadas para delimitar el área expuesta.

Cuando se calcula el MPPD Básico es necesario usar el valor de las existencias de productos junto con el valor del equipo. Para tanques de almacenamiento usar el 80% de la capacidad; para almacenes usar el 70% de la capacidad diseñada; para columnas, torres, bombas, reactores, etc., usar la cantidad de producto en flujo o el de la fuente de suministro, (debe escogerse el valor mayor de entre ambos).

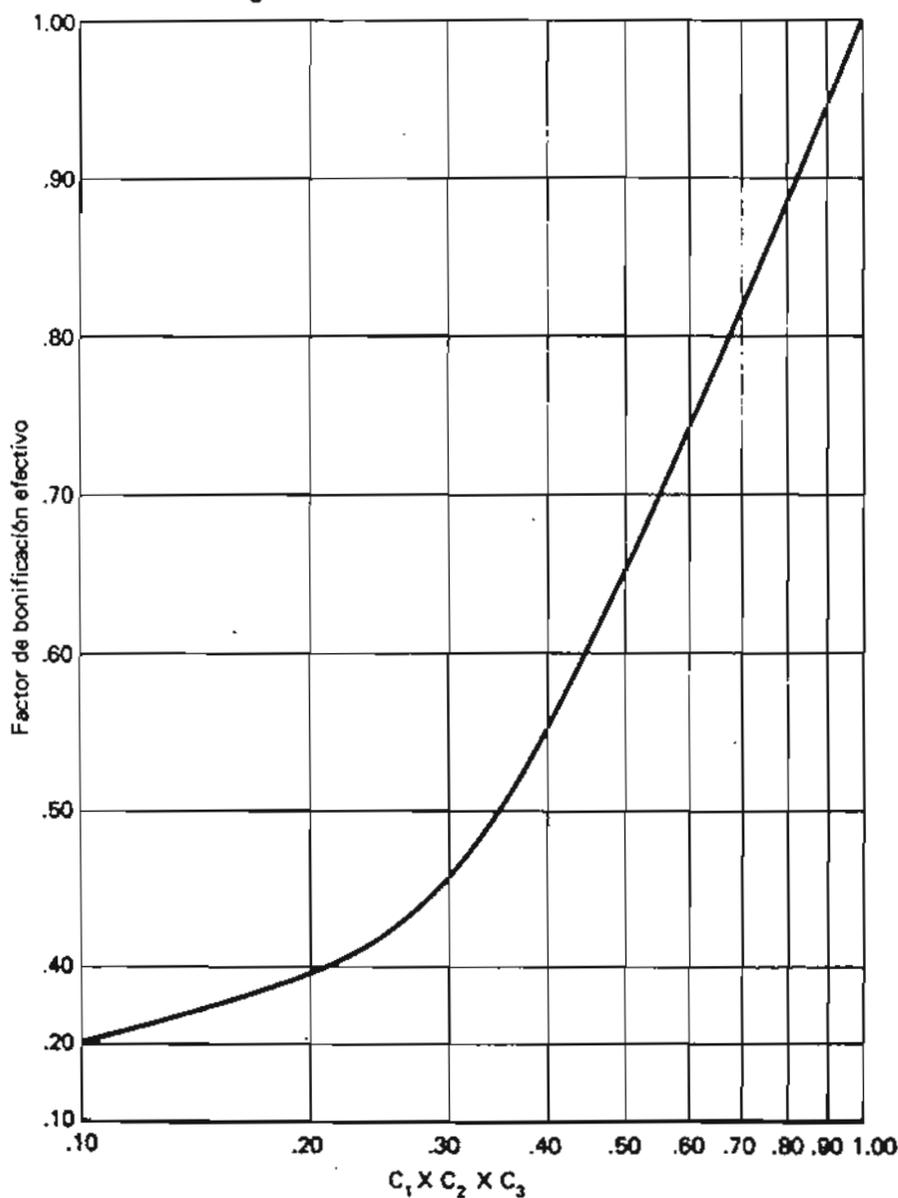
FACTORES DE BONIFICACION PARA EL CONTROL DE PERDIDAS

Hay ciertas medidas básicas para el diseño de seguridad que se siguen en el diseño de cualquier edificio o instalación. Estas incluyen el cumplimiento de distintas normas, tales como los requisitos ASME, NEC, ASTM, ANSI y los reglamentos locales de edificación. Algunos de estos requisitos se han indicado en el Apéndice B.

Además de los requisitos básicos de diseño, hay ciertas medidas adicionales que pueden usarse: 1) minimizar la exposición en un área en la que tiene lugar un incidente; 2) reducir la probabilidad y magnitud de un incidente.

Existen tres clases de medidas para el Control de Pérdidas a las que se les ha asignado factores de bonificación que pueden usarse para reducir el "MPPD Básico" hasta un "MPPD Efectivo": Control del proceso (C_1), Aislamiento de Materiales (C_2), Protección contra el fuego (C_3). El producto de todos los factores en cada clase representa el factor de bonificación para esta clase. El producto del factor de bonificación para las tres clases ($C_1 \times C_2 \times C_3$) se convierte entonces en un factor de bonificación efectivo mediante la Figura 9 y se utiliza para reproducir el "MPPD Básico" hasta un "MPPD Efectivo".

Figura 9 - Factor de bonificación



Las características del Control de Pérdidas deberán ser elegidas según la contribución que realmente tengan en la reducción o control del peligro que se evalúa. La finalidad de un análisis de riesgos no es una selección de características de bonificación meramente para la acumulación de bonificaciones.

En la Tabla V se indican las características del Control de Pérdidas conjuntamente con una breve explicación.

TABLA V – FACTORES DE BONIFICACION PARA EL CONTROL DE PERDIDAS

1. Control del proceso (C₁)

a) Energía de emergencia = 0,97

Provisión de energía de emergencia para los servicios esenciales (aire para los instrumentos, instrumentos de control, agitadores, bombas, etc.), con conmutación automática de regimen.

b) Refrigeración = 0,95 a 0,98

Para aquellos sistemas de refrigeración diseñados para ser capaces de mantener una refrigeración normal de 10 minutos durante una condición anormal, usar un factor de 0,98. Si el diseño proporciona el 50 % de los requisitos durante 10 minutos, usar 0,95.

c) Control de explosiones = 0,75 a 0,96

Para los sistemas de supresión de explosiones instalados en equipos que manejen polvo o vapor, usar un factor de 0,75.

Con sistemas de alivio de sobrepresión o de venteo de explosiones diseñados para proteger el equipo de posibles condiciones anormales puede usarse un factor de 0,96.

d) Parada de emergencia = 0,94 a 0,98

Para un sistema redundante que se activa por dos de tres condiciones anormales e inicia una secuencia de parada, usar 0,96.

Para equipos rotativos críticos, tales como compresores, turbinas, ventiladores, etc., que se hallen provistos con un equipo de detección de vibraciones, usar un factor de 0,98 si sólo hay alarma y un factor de 0,94 si es capaz de desencadenar la parada.

e) Control mediante ordenador = 0,89 a 0,98

Cuando las funciones del ordenador representan una ayuda para los operarios y no controlan directamente las operaciones clave o bien cuando la instalación frecuentemente se manda sin el ordenador, usar el factor de 0,98

Cuando se mande el ordenador con seguridad positiva y con posibilidad de mando directo, se usará el factor de 0,95. Si se emplea una cualquiera de las siguientes opciones, el factor que se usará será el producto de 0,95 por el factor correspondiente a cada opción:

1. Entradas con campo crítico redundante – 0,94
2. Capacidad de impedir salidas críticas – 0,94
3. Capacidad de refuerzo del sistema de mando – 0,94

f) Gas inerte = 0,90 a 0,94

Cuando el equipo que contiene vapores inflamables se halla protegido con gas inerte, usar un factor de 0,94.

Para sistemas de gas inerte con una capacidad adecuada para purgar toda la unidad si fuera necesario, usar un factor de 0,90.

g) Instrucciones de operación = 0,86 a 0,99

Las instrucciones de operación escritas adecuadamente son una parte importante para mantener el control satisfactorio de una unidad. Las condiciones más importantes que hay que tener en cuenta se indican a continuación y en la lista se indican los índices de puntuación.

1. Inicio de la operación — 0,5
2. Parada rutinaria — 0,5
3. Condiciones normales de operación — 0,5
4. Condiciones de operación reducidas — 0,5
5. Condiciones de funcionamiento en espera (unidad que opera con reciclado total) — 0,5
6. Condiciones de operación a sobre régimen (por encima de la capacidad del programa) — 1,0
7. Reanudación poco después de un paro — 1,0
8. Puesta de nuevo en marcha de la instalación a partir de una condición de postmantenimiento — 1,0
9. Procedimientos de mantenimiento, - Permisos de trabajo, - Descontaminación, - Cierre, - Enclavamiento, - Autorización del sistema — 1,5
10. Parada de emergencia - 1,5
11. Modificación o adiciones al equipo o tuberías de la planta. - 2,0
12. Situaciones anormales de error previstas - 3,0

Para obtener el factor de bonificación, sumar los puntos de aquellas condiciones que tengan instrucciones de operación. El total de puntos está representado por X en la fórmula siguiente:

$1,0 - \frac{X}{100}$. Si todas las condiciones se hallan cubiertas por instrucciones escritas, el factor de bonificación sería: $1,0 - \frac{13,5}{100} = 0,865$

- h) Recopilación de reactividad química = 0,85 a 0,96

Una función importante del control de pérdidas es la existencia de un plan de análisis de documentación de seguridad relativo a los procesos existentes y nuevos; los cambios de proceso; el almacenamiento y manejo de los compuestos químicos.

Cuando el plan se realiza de una forma permanente usar el factor 0,85. Si en cambio se hace ocasionalmente, usar un factor de 0,96.

2. Aislamiento de Materiales (C₂)

- a) Válvulas con control remoto = 0,94

Si la unidad está provista con válvulas de aislamiento operadas a distancia de tal manera que los tanques de almacenamiento, los recipientes de los procesos o las secciones más importantes de la línea de transferencia puedan aislarse rápidamente en caso de emergencia, usar el factor 0,94.

- b) Depósitos de descarga = 0,94 a 0,96.

Cuando se dispone de un tanque previsto para trasvasar el producto de un proceso afectado por un incidente, usar un factor de 0,96. Si el tanque se halla fuera de la zona de la unidad, usar un factor de 0,94.

Si el gas/vapor evacuado por los venteadores de emergencia se conduce por tubería a un sistema de antorcha o a un recipiente de purga cerrado, usar el factor de 0,94.

- c) Drenaje = 0,85 a 0,95

Se considera necesaria una pendiente mínima del 2 % para eliminar una pérdida grande que conduzca a una zanja de drenaje de tamaño adecuado. (Suponer que se puede derramar el 75% del contenido). Cuando se cumple este requisito usar un factor de 0,85.

Cuando el diseño del drenaje permite evacuar grandes cantidades de vertido a un embalse, pero puede tratar también vertidos pequeños (30 % del contenido), usar un factor de 0,95.

Los tanques en áreas de dique no reciben factor de bonificación a menos que la pendiente del interior del dique conduzca a un embalse localizado a una distancia mínima igual al diámetro del tanque. En este caso se acepta un factor de bonificación de 0,95

d) Enclavamiento = 0,96

Si un proceso se halla provisto de un sistema de enclavamiento que impida el flujo incorrecto de material que podría producir reacciones indeseables, se usa un factor de bonificación de 0,96

3. Protección contra el fuego (C₃)

a) Detección de fugas = 0,90 a 0,97

Si hay detectores de gas, instalados sólo como alarma para identificar una zona del área de la planta, usar un factor de 0,97

Cuando la alarma funciona al 25 % del límite inferior de inflamabilidad y activa un sistema protector al 75 % del límite inferior de inflamabilidad, usar un factor de 0,90

b) Estructuras de acero = 0,92 a 0,97

La duración de la aplicación de un recubrimiento resistente al fuego se halla en relación con la cantidad de combustible en el área y el diseño del drenaje. Un buen diseño de drenaje y un recubrimiento con resistencia al fuego de media hora resulta mejor que un diseño de drenaje mediocre y un recubrimiento que resista 3 horas de fuego.

En aquellos casos que se usa protección frente al fuego aplicada a toda la estructura resistente y hasta una altura mínima de 5 m (15 pies) usar un factor de 0,97. Para protecciones más altas de 5 m (15 pies), y hasta 10 m (30 pies) usar un factor de 0,95. Por encima de 10 m (30 pies) usar un factor de 0,92 pero sólo si tal protección al fuego es necesaria.

c) Tanques enterrados = 0,75 a 0,85

Se consigue menor exposición para cada área dada, cercana a un tanque de almacenamiento que contiene un material inestable, criogénico o tóxico, si se instala de tal manera que exista una "barrera" adicional más allá de las paredes del tanque.

Si se emplea un tanque con doble pared, diseñado de forma que la pared exterior sea capaz de contener la carga después del fallo de la pared primaria, usar un factor de 0,85.

Cuando el tanque se halla enterrado a nivel inferior o superior al suelo, con una pared de retención de relleno homogéneo y limpio, usar un factor de 0,75

d) Suministro de agua = 0,90 a 0,95

El suministro de agua para incendios de una planta debería ser capaz de proporcionar la demanda calculada para un período de 4 horas. Si como mínimo la mitad del suministro necesario no puede ser proporcionado por bombas alimentadas con diesel, no se aplica bonificación alguna.

Si la presión de suministro es de 7 kg/cm² (100 psig) o superior, usar un factor de 0,90 pero si la presión de suministro es inferior al valor anterior, emplear un factor de 0,95.

e) Sistemas especiales = 0,85

Incluyen los sistemas de halones, CO₂, detectores de humo y de llama. Cuando se usan éstos de forma adecuada, usar un factor de 0,85.

f) Sistemas de rociadores (Sprinkler) = 0,60 a 0,96

Cuando se usan sistemas de Deluge (de inundación) el factor es de 0,95. Los sistemas de tubería húmeda o seca para áreas de fabricación y almacenamiento se calculan como sigue:

Destino del área según el peligro	lx min/m ²	Diseño GPM / pie ²	Factor
Ligero	< 8,4	< 0,20	0,80
Ordinario	8,4 a 14,2	0,21 a 0,34	0,70
Peligro extra	> 14,2	> 0,35	0,60

Multiplicar los factores anteriores por un factor de penalización según la extensión del área:

Area > 930 m² (10.000 pies²) = 1,1

Area > 1860 m² (20.000 pies²) = 1,15

Area > 2790 m² (30.000 pies²) = 1,20

g) Cortinas de agua = 0,95 a 0,97

El uso de cortinas de agua entre un foco de ignición y un área donde existe riesgo de fugas de vapor, puede resultar eficaz en la reducción del riesgo de ignición.

Para ser eficaz, la cortina debería hallarse a un mínimo de 23 m (75 pies) del punto de fuga del vapor para dar tiempo suficiente para la detección de la fuga y la activación de la cortina de agua.

Con una sola hilera de boquillas, a una elevación máxima de 5 m (15 pies) se le asignará un factor de 0,97.

Cuando exista una segunda hilera de boquillas sobre la primera, a una altura no superior a 2 m (6 pies) de la primera, se le dará un factor de 0,95.

h) Espuma = 0,87 a 0,98

Si la protección del área incluye la posibilidad de inyección de un líquido espumante dentro de un sistema de rociadores de inundación a partir de una estación de control manual remoto, usar un factor de 0,90. Si el sistema de espuma se halla totalmente automatizado, usar un factor de 0,87.

Los sistemas manuales de aplicación de espuma para la protección de tanques de techo flotante abierto reciben una bonificación de 0,95. Si los dispositivos de detección del fuego se usan para señalar el inicio de un incendio, usar un factor de 0,90.

En los sistemas de espuma subsuperficial y de cámaras de espuma en tanques con cubierta cónica, usar un factor de 0,98.

En la aplicación de espuma alrededor de la cubierta exterior de un tanque usar un factor de 0,95.

A la aplicación de espuma por operación manual de monitores o mediante mangueras se le asigna un factor de 0,95.

j) Extintores manuales. Monitores = 0,92 a 0,97

Se otorga un factor de 0,97 cuando hay una dotación adecuada de extintores manuales y portátiles contra el riesgo de incendio. Cuando se hallan también instalados monitores se usa un factor de 0,95.

Si estos pueden ser accionados a distancia el factor es de 0,92.

k) Protección de cables = 0,90 a 0,96

Las bandejas de cables eléctricos y de instrumentación resultan muy vulnerables cuando están instaladas en galerías de tubería y edificios de producción. El uso de planchas metálicas de 1,5 mm por debajo de la bandeja, con pulverización de agua dirigida a la parte superior, proporciona una protección razonable y se le da un factor de 0,96. Si las bandejas de cables se hallan enterradas por debajo de una zanja seca o inundada se emplea un factor de 0,90.

DAÑO EFECTIVO MAXIMO PROBABLE DE LA PROPIEDAD

El producto de MPPD Básico y el factor de bonificación de la Figura 9 proporcionan el MPPD real. Este representa la pérdida por daño a la propiedad que puede resultar del peor incidente probable que puede presentarse considerando que los sistemas de protección, funcionan según diseño. En el caso de que falle alguno de estos sistemas, la pérdida podría alcanzar el MPPD Básico.

El MPPD efectivo también proporciona una indicación del número posible de días perdidos que puede esperarse. Cuando los días perdidos pueden representar una amplia interrupción de la fabricación es razonable reconsiderar los factores de bonificación del control de pérdidas para conseguir una aplicación más ajustada.

El resumen del análisis del riesgo representará el impacto probable de las pérdidas tanto por daño a la propiedad como por interrupción de la fabricación de la planta que se está evaluando.

Un gran número de incidentes será inferior al MPPD efectivo calculado y algunos estarán cerca del MPPD Básico pero el sistema proporcionará una base razonable para realizar un análisis del riesgo del capital invertido en una instalación de producción.

RESUMEN DEL ANALISIS DEL RIESGO

El resumen del análisis del riesgo representa el MPPD y el MPDO de la planta que se evalúa.

Será la cifra más alta obtenida en la evaluación de las varias unidades de procesos elegidas.

El valor de sustitución del equipo de la planta es la cifra supuesta de dólares usada en el cálculo del MPPD Básico.

Todos los cálculos para una planta se pueden tabular en la hoja de trabajo recap (Diagrama C). En la hoja de trabajo del índice del IIE (Diagrama A), los factores de bonificación del control de pérdidas y resumen del análisis de riesgos, (Diagrama B), se usan para el cálculo de cada unidad de proceso por separado.

MAXIMOS DIAS PROBABLES PERDIDOS (MPDO)

El tiempo de paro no programado del cual resulta una pérdida de producción, puede llegar a ser una pérdida por "Interrupción de fabricación" (BI). Esta puede producirse por un incendio, explosión, fallo mecánico, fallo en el servicio de instalaciones u otras condiciones. El hecho importante que hay que reconocer es que hay dos tipos de pérdidas como resultado de la mayor parte de los incidentes:

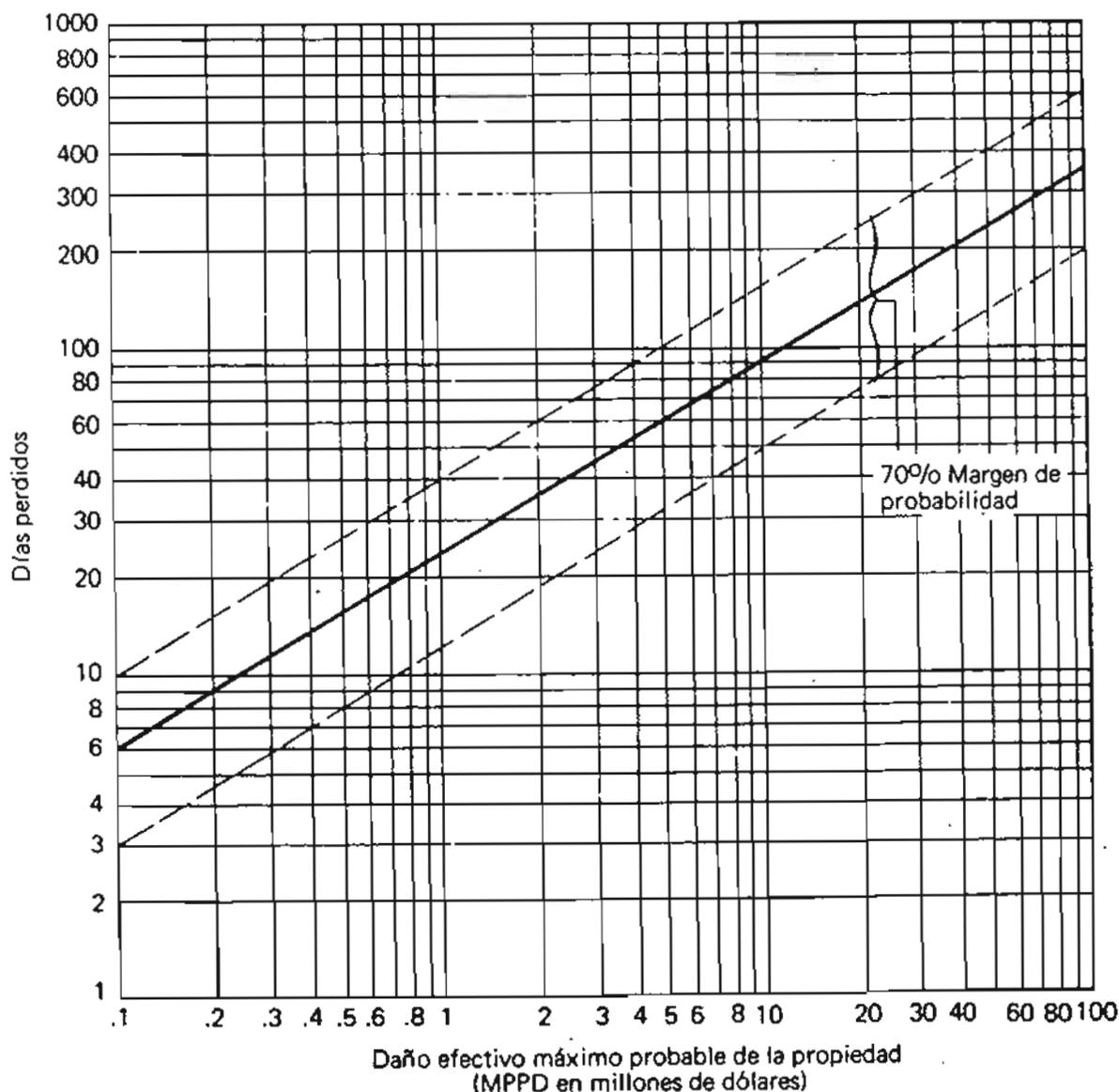
- A. El costo de reparación o sustitución del equipo, estructuras y/o edificios dañados. Este es el Daño a la Propiedad.
- B. La pérdida de la capacidad de producción de un producto en particular para vender a clientes o utilizar en la planta. Se trata de una pérdida de BI y es la relación entre el valor del producto fabricado (VPM) y el número de días perdidos (MPDO).

El gráfico de la Figura 10 se obtuvo representando respecto a 137 incidentes, la pérdida por daños a la propiedad y el número de días perdidos o MPDO. En el eje de las Y se indica el número medio de días perdidos que pueden esperarse para un daño a la propiedad dado en MM dólares.

Hay también un margen de probabilidad del 70% que refleja las variaciones que pueden presentarse. Existen un número de condiciones que pueden producir esta variabilidad en la interrelación de MPDO y el daño a la propiedad, por ej.:

1. La reparación de un cable en una bandeja de cables puede requerir tanto tiempo como reparar y sustituir pequeños motores eléctricos, bombas o instrumentos, siendo sin embargo el daño a la propiedad más pequeño.
2. Fallo de una línea de suministro de una materia prima vital, tal como sal o un hidrocarburo produciría un daño bajo a la propiedad con un elevado MPDO.
3. La dificultad en adquirir un tipo de accesorios imprescindibles, influiría en el número de días perdidos.

Figura 10 - Máximos días probables perdidos (MPDO)



Para obtener una cifra de BI es preciso conocer inicialmente el MPPD efectivo del área y luego utilizar la Figura 10 para obtener el número de días perdidos (MPDO). Se realiza el cálculo de BI como sigue:

$$\$ BI = \frac{MPDO}{30} \times \$ VPM \times 0,70$$

Hay algunas situaciones donde el MPDO no describe correctamente la situación real. Por ejemplo, pueden tenerse en stok en el almacén los componentes críticos de un compresor, una bomba o un rectificador de repuesto. Ello justificaría usar el MPDO obtenido a partir de la línea inferior del campo del 70% de probabilidad.

El calor de combustión neto es el valor que se obtiene cuando el agua formada en la combustión se considera en estado de vapor. (BTU x lb⁻¹ = Kcal. mol⁻¹ x 1800)

APENDICE A FACTOR MATERIAL (MF)

Notas a la tabla de MF

1. Destilación al vacío
2. Material oxidado al nivel máximo de oxidación
3. Sublima
4. ΔH_c no se puede especificar por lo que T_a no se calcula
5. Explota
6. Se descompone

La inflamabilidad del cloruro de metileno a temperatura ambiente es de 12,8 para el límite inferior y 34,6 para el límite superior. Estos límites se encuentran cuando la llama se propaga o mueve hacia la parte superior de un tubo (datos obtenidos a partir de ensayos realizados por el Laboratorio Analítico de Midland).

Es difícil hacer arder el cloruro de metileno en circunstancias normales. Sin embargo, con una chispa de capacitancia, un arco o un alambre caliente o fundido como iniciadores, resulta posible la ignición del material y hacer que ascienda por el tubo.

APENDICE A
FACTOR MATERIAL (MF)

Compuesto	MF	T _a °K	Hc Mcal/Kg	Clasificación NFPA			T _i °C	T _e °C
				N _s	N _i	N _r		
Aceite combustible (Fuel oil)	10	(4)	10,5	0	2	0	38/66	171/216
Aceite lube	4	(4)	10,7	0	1	0	177/204	-
Aceite mineral	4	-	9,6	0	1	0	193	360
Acetaldehído	24	866	5,9	2	4	2	-38	21
Acetato de amilo	16	659	8,0	1	3	0	31,6	121
Acetato de t-amilo	16	705	8,1	1	3	1	25	149
Acetato de bencilo	4	817	6,9	1	1	0	102	214
Acetato n-butilo	16	715	6,9	1	3	0	22	127
Acetato de etilo	16	735	5,7	1	3	0	-4	77
Acetato de isopropilo	16	696	6,7	1	3	1	4	90
Acetato de metilo	16	704	4,8	1	3	0	-10	60
Acetato de propilo	16	625	6,3	1	3	0	14	102
Acetato de vinilo	16	843	5,5	2	3	1	-8	72
Acetilcitrato de tributilo	4	693	6,1	-	1	0	204	173 (1)
Acetileno	40	2898	11,6	1	4	4	Gas	-83
Acetiletanolamina	14	770	5,3	1	1	1	179	-
Acetona	16	774	6,9	1	3	0	-18	57
Acetona cianhidrina	24	833	6,3	4	1	2	74	120
Acetonitrilo	24	975	7,1	3	3	2	5,6	82
Acido acético	10	634	3,1	3	2	0	43	118
Acido acetilsalicílico (P)	-	775	5,0	1	1	0	-	-
Acido acrílico	14	787	4,3	3	2	1	54	142
Acido benzoico	4	736	6,2	2	1	0	121	250
Acido cianhídrico	29	2524	5,8	4	4	3	-18	26,1
Acido 3,5 diclorosalicílico	24	942	3,0	0	1	2	-	-
Acido esteárico	4	528	8,9	1	1	0	196	386
Acido fórmico	4	499	1,7	3	1	0	69	101
Acido metacrílico	24	706	5,2	3	1	2	77	158
Acido oleico	4	634	9,4	0	1	0	189	222
Acido peracético	40	1076	2,7	3	2	4	41	105
Acido perclórico	29	1003	(2)	3	0	3	-	203
Acido sulfhídrico	21	305	3,2	3	4	0	Gas	-60
Acrilamida	14	752	5,3	2	1	1	-	125 (1)
Acrilato de butilo	24	775	8,0	2	2	2	49	145
Acrilato de etilo	16	835	6,2	2	3	1	16	99
Acrilato de metilo	24	859	10,5	2	3	2	-3	80
Acrilonitrilo	40	1553	7,7	4	3	4	0	77
Acroleína	24	947	6,6	4	3	2	-26	52
Alcohol alílico	16	828	7,7	4	3	1	21	97
Alcohol bencílico	4	828	7,8	2	1	0	101	206
Alcohol butílico-t	16	700	8,0	2	3	0	29	117
Alcohol etílico	16	622	6,5	0	3	0	13	78
Alcohol isobutílico	16	602	8,0	1	3	0	28	107
Alcohol metílico (Metanol)	16	691	4,8	1	3	0	11	64
Alcohol propargílico	24	1112	7,0	3	3	2	36	115
Alcohol propílico	16	615	7,0	1	3	0	25	97
Alilamina	16	838	8,7	3	3	1	-29	53
Alil-éter	24	994	9,0	4	3	2	-7	95
Amoniaco	4	Endo	4,5	3	1	0	Gas	-33
Anhídrido acético	24	793	4,0	4	2	2	54	140

APENDICE A
FACTOR MATERIAL (MF)

Compuesto	MF	T _a °K	H _c Mcal/Kg	Clasificación NFPA			T _i °C	T _e °C
				N _e	N _i	N _r		
Anhidrido maleico	14	899	3,3	3	1	1	102	202
Anilina	14	821	8,4	4	1	1	70	184
Azufre	4	302	2,2	2	1	0	-	-
Benceno	16	867	9,7	2	3	1	-11	80
Benzaldehido	24	906	7,7	2	1	2	64	179
Benzoato de etilo	4	800	6,9	1	1	0	96	212
Bisfenol A	14	795	7,9	2	1	1	79	220
Borato de metilo	16	-	-	2	3	1	27	69
Bromo	14	300	0	4	1	1	-	-
Bromobenceno	14	918	4,6	2	2	1	51	156
Bromotolueno	14	865	4,8	2	1	1	79	182
Bromuro de alilo	16	988	3,3	3	3	1	-1	71
Bromuro de butilo	16	668	4,2	2	3	0	-12	78
Bromuro de etilo	21	670	3,1	2	4	0	-20	38
Bromuro de laurilo	4	830	7,3	1	1	0	144	180
Bromuro de propargilo	40	3220	3,3	4	3	4	18	88
1,3-Butadieno	29	991	10,8	2	4	3	Gas	-4
Butano	21	633	11,0	1	4	0	Gas	-0,5
1-Buteno	21	825	11,0	1	4	1	Gas	-6
n-Butilamina	16	648	9,2	2	3	0	-12	78
Butil-éter	16	686	9,1	2	3	0	25	141
Butirato de etilo	16	746	6,8	0	3	0	26	120
Carbonato de dietilo	16	753	5,1	2	3	1	25	126
Carbonato de etil-butilo	14	645	5,9	2	2	1	50	135
Carbonato de etileno	14	769	3,0	2	1	1	143	177
Carbonato de metilo	16	746	3,5	2	3	1	19	89
Carburo cálcico	40	302	5,1	1	1	2	-	-
Cianamida	29	1102	3,9	4	1	3	142	260
Ciclobutano	21	865	10,7	1	4	1	Gas	13
Ciclohexano	16	677	10,5	1	3	0	-20	82
Ciclohexanol	4	584	8,3	1	1	0	68	161
Ciclopropano	21	936	11,8	1	4	1	Gas	-34
Clorato de bórico	24	-	(2)	0	1	2	-	-
Clorato de cinc	24	-	(2)	2	1	2	-	-
Clorato de potásico	29	-	(2)	2	0	3	-	400
Clorato sódico	24	-	-	1	0	2	-	(6)
Cloro	14	301	0,0	3	1	1	-	-
Cloroacetato de metilo	14	768	2,8	2	2	1	50	130
Clorobenceno	24	936	6,1	2	3	2	29	132
1-Clorobutano	16	701	6,4	2	3	0	-9	-77
Cloroestireno	24	986	6,9	2	1	2	-	-
Clorofenol	14	881	5,1	3	1	1	64	175
Cloroformiato de etilo	16	842	2,8	2	3	1	16	94
Cloroformo	1	683	0,8	2	0	0	-9	77
Cloro-metil-etil-eter	14	860	3,1	2	1	1	-	-
1-Cloro-1-nitroetano	40	1165	2,0	1	2	4	56	173
Cloropícrina	29	1827	0,4	4	0	3	-	112
Cloropropano	21	699	5,6	2	4	0	-32	35
Cloruro de acetilo	16	741	1,4	3	3	0	4	51
Cloruro de alilo	29	912	5,4	4	3	3	-32	45

APENDICE A
FACTOR MATERIAL (MF)

Compuesto	MF	T _a °K	Hc Mcal/Kg	Clasificación NFPA			T _i °C	T _e °C
				N _s	N _i	N _r		
Cloruro de aluminio	24	-	(2)	3	0	2	-	(3)
Cloruro de azufre	14	302	1,0	2	1	1	118	138
Cloruro de bencilo	14	886	7,0	3	1	1	67	179
Cloruro de cloroacetilo	14	894	1,4	3	0	1	-	106
Cloruro de etilo	21	701	4,6	2	4	0	-50	12
Cloruro de isobutilo	16	592	6,3	2	3	0	21	69
Cloruro de isopropilo	21	545	5,6	2	4	0	-32	35
Cloruro metileno	14	1072	1,3	2	1	1	27	40
Cloruro de metilo	21	744	3,1	2	4	0	Gas	-24
Cloruro de propilo	16	613	5,6	2	3	0	<-18	46
Cloruro de vinilideno	24	1808	2,3	2	4	2	-18	37
Cloruro de vinilo	21	1448	4,4	2	4	1	Gas	-14
Combustible Diesel	10	683	10,3	0	2	0	38/54	157
Combustible para cohetes A & SP-5,6	10	-	12,1	0	2	0	41	-
Combustible para cohetes B & SP-4	16	-	12,0	0	3	0	-12	-
Cumarina	24	997	6,7	2	1	2	-	-
Cumeno	10	759	10,0	2	2	0	44	152
Diciclopentadieno	24	990	9,9	1	3	2	32	172
Diclorobenceno	29	1145	4,5	2	1	3	68	174
Dicloroestireno	24	1143	5,1	2	1	2	107	-
1,1-Dicloroetano	16	847	2,5	2	3	1	-6	59
1,2-Dicloroetileno	40	1785	3,8	2	3	4	6	61
1,3-Dicloropropeno	24	1225	3,5	2	3	2	35	104
Dicloruro de etileno	16	724	2,6	2	3	0	13	84
Dicloruro de propileno	16	642	3,5	2	3	0	16	96
Dicromato sódico	14	-	-	1	0	1	-	(6)
Dietanolamina	14	707	5,6	1	1	1	152	268
Dietilamina	16	693	9,2	2	3	0	<-18	57
Dietil-benceno	10	738	10,0	2	2	0	56	181
Dietilenglicol	4	770	4,8	1	1	0	124	244
Dietil-éter	21	761	8,1	2	4	0	-45	35
Diisobutileno	16	734	10,6	1	3	0	-5	104
Diisopropilbenceno	4	713	9,9	0	1	0	77	205
Dimetilamina	21	792	8,4	3	4	0	Gas	7
2,2-Dimetilpropanol	16	725	8,2	2	3	0	37	114
Dinitrobenceno	40	1851	4,0	3	1	4	150	318
2,4-Dinitrofenol	40	1476	3,4	3	1	4	150	318
p-Dioxano	16	813	5,8	2	3	0	12	101
Dióxido de azufre	1	302	0,0	2	0	0	Gas	-11
Dióxido de cloro	40	1766	0,4	3	1	4	-	-
Dioxolano	24	911	5,1	2	3	2	2	74
Dipropilenglicol	4	749	6,0	0	1	0	138	232
Disulfuro de carbono	16	755	3,4	2	3	0	-30	46
Divinil-acetileno	29	1690	10,1	1	3	3	-20	84
Divinil-benceno	24	1038	9,7	1	1	2	76	200
Divinil-éter	24	1050	8,1	2	3	2	-30	39
"Dowicil 75"	29	808	3,9	-	-	3	-	-
"Dowicil 200"	29	911	5,2	-	1	3	-	-

APENDICE A
FACTOR MATERIAL (MF)

Compuesto	MF	T _a °K	Hc Mcal/Kg	Clasificación NFPA			T _i °C	T _e °C
				N _s	N _i	N _r		
Dowtherm A	14	912	7,8	1	1	1	124	257
Dowtherm G	14	916	8,6	1	1	1	152	302
Dowtherm J	4	739	9,9	1	1	0	63	181
Dowtherm 30 LF	14	884	8,9	1	1	1	127	264
"Dursban"	14	873	11,0	1	2	1	27-43	-
Epiclorhidrina	24	974	4,0	3	2	2	41	115
Estearato bórico	4	374	4,9	0	1	0	-	-
Estearato de cinc	4	538	5,6	0	1	0	-	-
Estireno	24	993	9,7	2	3	2	32	146
Etano	21	597	11,3	1	4	0	Gas	-89
Etanolamina	4	660	5,3	2	1	0	85	172
Etilamina	21	740	9,1	3	4	0	<-18	-17
Etil-benceno	16	830	9,8	2	3	0	15	136
Etil-butilamina	16	860	9,4	3	3	1	18	111
Etilendiamina	10	708	6,9	3	2	0	43	116
Etilenglicol	4	683	4,1	1	1	0	111	197
Etilenglicol-dimetil-éter	10	674	6,4	2	2	0	40	79
Etilenimina	29	1092	7,2	3	3	3	-11	56
Etileno	24	1005	11,6	1	4	2	Gas	-104
Etil-éter	21	761	8,0	2	4	0	-45	35
2-Etil-hexanol	14	691	9,0	2	1	1	85	182
Etil-mercaptano	21	522	7,1	2	4	0	27	35
Etil-propil-éter	16	748	8,4	1	3	0	-20	64
Fenol	4	822	7,4	3	1	0	79	181
Fluor	29	-	-	4	0	3	-	154
Fluorobenceno	24	992	7,4	2	3	2	-15	85
Formaldehido	24	987	4,4	2	4	2	Gas	-19
Formiato de etilo	16	788	4,8	2	3	0	-20	54
Formiato de metilo	21	814	3,6	2	4	1	-19	32
Furano	21	838	7,0	1	4	1	0	31
Gas Mapp	21	1044	10,8	1	4	1	Gas	-
Gasolina	16	691	10,4	1	3	0	-43	38/204
Glicerina	4	684	3,8	1	1	0	160	290
Glicolnitrilo	14	882	4,2	1	1	1	-	-
Heptano	16	587	10,7	1	3	0	0	91
Hexaclorobutadieno	14	626	1,1	2	1	1	-	210
Hexanal	16	620	8,6	2	3	0	32	131
Hexano	16	581	10,7	1	3	0	-22	69
Hidracina	40	1338	4,0	3	3	4	38	113
Hidracina	24	1338	4,3	3	3	2	38	113
Hidrógeno	21	301	28,7	0	4	0	Gas	-252
Hidroperóxido t-butilo	24	919	6,6	1	3	2	<27	-
Hidroperóxido de cumeno	29	989	7,6	1	2	3	79	(5)
Hidrosulfito sódico	24	-	-	3	1	2	-	(6)
Hidroxilamina	29	2000	1,8	1	3	3	(5)	70
Hidruro sódico	24	-	-	3	3	2	-	(6)
Isobutano	21	609	10,8	1	4	0	Gas	-12
Isobutilamina	16	568	9,0	2	3	0	-9	66
Isopentano	21	626	11,7	1	4	0	-51	28
Isopreno	21	885	10,5	2	4	1	-54	34

APENDICE A
FACTOR MATERIAL (MF)

Compuesto	MF	T _a °K	Hc Mcal/Kg	Clasificación NFPA			T _i °C	T _e °C
				N _s	N _i	N _r		
Isopropanol	16	564	7,3	1	3	0	12	83
Isopropenil-acetileno	24	-	-	2	4	2	-7	33
Isopropil-amina	21	549	8,6	3	4	0	-37	32
Isopropil-éter	16	712	8,7	2	3	1	-28	69
Lauril-mercaptano	4	671	9,3	2	1	0	128	143
Magnesio	14	290	5,9	0	1	1	-	-
Metacrilato de metilo	24	854	6,6	2	3	2	10	100
Metano	21	298	11,9	1	4	0	Gas	-162
Metil-acetileno	40	1816	11,1	2	4	4	Gas	-23
Metilamina	21	767	7,3	3	4	0	Gas	-6
Metilcelulosa (Ensacado)	10	789	3,6	0	1	0	-	-
Metil-ciclohexano	16	660	10,6	2	3	0	-4	101
Metil-ciclopentadieno	14	919	9,7	1	2	1	49	73
Metil-estireno	14	865	9,7	2	2	1	57	172
Metil-éter	21	844	6,9	2	4	1	Gas	-24
Metil-étil-cetona	16	688	7,5	1	3	0	-6	80
Metil-hidracina	24	1022	6,1	3	3	2	27	88
Metil-isobutil-cetona	16	506	9,2	2	3	0	23	118
Metil-mercaptano	21	680	5,6	2	4	0	-	6
2-Metilpropenal	24	1116	8,6	3	3	2	-40	61
Metil-vinil-cetona	24	908	7,4	2	3	2	-7	81
Monoacetato de etilenglicol	4	668	4,4	0	1	0	102	181
Monoclorobenceno	16	936	6,3	2	3	1	29	132
Monoetanolamina	4	660	5,3	2	1	0	93	170
Monóxido de carbono	16	1038	2,4	3	3	1	Gas	-192
Nafta	16	(4)	10,0	1	3	0	-2/29	100/177
Naftaleno	14	860	9,3	2	1	1	79	218
Nitrato de amilo	24	1128	6,4	1	2	2	52	152
Nitrato de butilo	29	406	6,2	1	3	3	36,1	136
Nitrato de etilo	40	2094	3,6	2	3	4	10	88
Nitrato de propilo	29	1079	4,1	2	3	3	20	111
Nitrato de potasio	29	-	(2)	1	0	3	-	400
Nitrobenceno	24	1341	5,8	3	1	2	88	211
Nitroclorobenceno	29	1764	4,3	3	1	3	127	236
Nitrodifenilo	14	1037	7,1	2	1	1	143	330
Nitroetano	24	1161	4,3	1	3	2	28	114
Nitroglicerina	40	2895	4,3	2	1	4	(5)	(5)
Nitrometano	40	2621	2,8	1	3	4	35	101
Nitropropano	29	1046	5,4	1	2	3	39	120
2-Nitrotolueno	29	1112	6,2	1	1	3	106	238
Octano	16	593	11,4	0	3	0	13	126
Octil-mercaptano	10	672	9,2	2	2	0	46	159
Oxido de butileno	24	863	7,9	1	3	3	18	80
Oxido de difenilo	14	906	8,3	1	1	1	115	259
Oxido de etileno	29	1062	6,5	2	4	3	<-18	11
Oxido de hexaclorodifenilo	29	1026	3,1	2	1	2	-	230 (1)
Oxido de pentametileno	16	742	7,6	2	3	1	-20	81
Oxido de propileno	21	948	7,3	2	4	1	-37	35
Pentano	21	645	10,8	1	4	0	-40	36
Peracetato de t-butilo	40	875	5,9	2	3	4	27	(5)

APENDICE A
FACTOR MATERIAL (MF)

Compuesto	MF	T _m °K	Hc Mcal/Kg	Clasificación NFPA			T _i °C	T _e °C
				N _s	N _i	N _r		
Perbenzoato de t-butilo	40	905	6,8	1	2	4	>88	(5)
Perclorato potásico	24	357	0,0	1	0	2	-	-
Perclorato sódico	24	-	-	2	0	2	-	(6)
Peróxido de acetilo	40	983	3,6	1	2	4	-	-
Peróxido de bencilo	40	971	6,7	1	3	4	-	-
Peróxido de t-butilo	29	406	6,2	1	3	3	36	136
Peróxido de di-t-butilo	29	1038	9,7	1	1	2	76	200
Peróxido de dicumilo	29	1040	8,6	0	1	3	-	-
Peróxido de dietilo	40	968	6,8	0	4	4	(5)	(5)
Peróxido de hidrógeno(35%)	24	1144	(2)	2	0	2	-	-
Peróxido de laurilo	40	1613	8,3	0	1	4	-	-
Peróxido potásico	24	-	(2)	3	0	2	-	-
Peróxido sódico	24	-	-	3	0	2	-	(6)
Petróleo-crudo	16	-	11,8	1	3	0	-7/32	-
2-Picolina	14	860	8,3	2	2	1	39	128
Piridina	24	978	3,3	2	3	2	20	115
Potasio	24	-	-	3	1	2	-	770
Propanol	16	766	6,9	2	3	1	-9	49
1,3-Propandiamina	16	776	7,6	2	3	0	24	136
Propano	21	626	11,1	1	4	0	Gas	-42
Propilamina	16	651	8,8	3	3	0	-37	49
Propilbenceno	16	762	9,6	2	3	0	30	159
Propilenglicol	4	619	5,2	0	1	0	99	188
Propileno	21	866	10,9	1	4	0	Gas	-47
Propil-éter	16	699	8,7	1	3	0	21	90
Propionitrilo	16	903	8,3	4	3	1	2	97
N-Serv	14	1284	2,6	1	2	1	28/93	-
Sodio	24	-	-	3	1	2	-	-
"Telone"	24	1225	3,3	-	3	2	31	-
Tetraclorobenceno	4	789	2,6	0	1	0	155	246
Tolueno	16	859	9,7	2	3	0	4	111
Tributilamina	4	645	9,9	2	1	0	86	214
Triclorobenceno	29	1400	3,4	2	1	3	99	212
1,1,1.-Tricloroetano	24	1126	1,7	2	1	2	-	74
Tricloroetileno	14	849	1,5	2	1	1	-	87
Trietanolimina	14	752	5,6	1	1	1	179	343
Trietilaluminio	29	661	9,4	2	3	3	-53	194
Trietilamina	16	702	9,9	2	3	0	-7	89
Trietilenglicol	4	797	5,2	1	1	0	177	293
Triisobutilaluminio	25	563	10,5	2	3	3	0	114
Triisopropil-benceno	16	685	10,1	2	3	1	-	-
Trimetilaluminio	29	525	8,9	2	3	3	0	126
Trimetilamina	21	792	9,0	2	4	0	Gas	3
Tripropil-amina	10	685	9,9	2	2	0	41	156
Vinil-acetileno	40	2317	10,8	1	4	4	-	5
Vinil-alil-éter	24	959	8,6	2	3	2	20	67
Vinil-butil-éter	24	807	8,6	2	3	2	-9	94
Vinilciclohexeno	16	876	10,6	2	3	1	16	130
Vinil-etil-éter	21	880	7,8	2	4	1	-46	36
Vinil-tolueno	14	915	9,7	2	2	1	53	176
Xileno	16	817	9,8	2	3	0	27	144

Siendo:

T_a = Temperatura adiabática °K

H_c = Entalpía de combustión

N_s = Índice de peligrosidad para la salud

N_i = Índice de peligrosidad para inflamabilidad

N_r = Índice de peligrosidad por reactividad

T_i = Temperatura o punto de inflamación

T_e = Temperatura o punto de ebullición

APENDICE B

MEDIDAS PREVENTIVAS Y PROTECTORAS BASICAS

Muchas de estas medidas deberán instalarse independientemente de la magnitud del Índice de Incendio y Explosión. Cuando no sea así, la exposición al riesgo existente será mayor que el indicado en el Índice de Incendio y Explosión.

Algunas de estas medidas deberán instalarse independientemente del tipo de operación.

La lista que a continuación se incluye no es exhaustiva ya que se pueden emplear otras medidas según el tipo de instalación específica.

- A. Suministro adecuado de agua para la protección contra el fuego. Este se determina multiplicando el tiempo que se prevee que pueda durar el incendio más desfavorable por la demanda de agua necesaria para su extinción. El suministro adecuado varía según distintos criterios y puede oscilar entre la cantidad adecuada para un incendio de 2 horas y la suficiente para apagar un incendio de 8 horas (Ver L.P.P. 4.5.)
- B. Diseño estructural de recipientes, tuberías, estructuras metálicas, etc.
- C. Dispositivos de liberación de sobrepresión (Ver L.P.P. 6.21)
- D. Resistencia y/o sobredimensionado frente a la corrosión.
- E. Separación de materiales reactivos en líneas y equipos de procesos.
- F. Equipo eléctrico puesto a tierra.
- G. Localización segura de aparataje eléctrica auxiliar (transformadores, interruptores, etc.) (Ver L.P.P. 3.5.)
- H. Protección contra fallos en servicios imprescindibles (alimentación eléctrica alternativa, compresor de repuesto. etc.)
- I. Cumplimiento de distintos códigos aplicables (ASME, NEC, ASTM, ANSI, Gubernamental de la Construcción, etc.)
- J. Instrumentación en seguridad positiva (Ver L.P.P. 6.23)
- K. Acceso al área para vehículos de emergencia y salidas para la evacuación del personal (Ver L.P.P. 2.3).
- L. Drenajes para el control con seguridad de los probables derrames además del agua de las mangueras contra incendios y cabezas de rociadores y productos químicos (Ver L.P.P. 2.6)
- M. Aislamiento de las superficies calientes cuya temperatura alcance el 80% de la temperatura de ignición de cualquier compuesto inflamable presente en el área.
- N. Cumplimiento del National Electrical Code. Deberá seguirse el Código, excepto cuando las variaciones hayan sido solicitadas y aprobadas (Ver L.P.P. 3.1)

- O. Limitación de dispositivos de vidrio y juntas de expansión en procesos inflamables o peligrosos. Tales dispositivos no se permiten a menos que sean absolutamente esenciales. Donde se usen deberán ser analizados y aprobados por el director de producción e instalados de acuerdo con las normas y especificaciones de Dow (Ver L.P.P. 6.20)
- P. Ubicación de edificaciones y equipos. La separación de un área de riesgo elevado debe ser analizado especialmente ya que está relacionado tanto con el daño a la propiedad, como con la interrupción de la fabricación. Las distancias de separación entre tanques deben, por lo menos, cumplir con el código n° 30 de la NFPA (Ver L.P.P. 2.2.)
- Q. Protección contra la exposición al fuego de bastidores de tuberías y bandejas de cables para instrumentación así como de sus soportes (Ver L.P.P. 2)
- R. Provisión de "válvulas" accesibles que corten la alimentación a la batería.
- S. Prevención y protección de las pérdidas en las torres de refrigeración.
- T. Protección de los equipos calentados contra la explosión accidental y el incendio resultante (Ver L.P.P. 6.13)
- U. Clasificación eléctrica. Deberán utilizarse equipos eléctricos de División 2 en lugares exteriores donde se manejen líquidos inflamables, que no estén muy congestionados y donde la ventilación natural no esté impedida. Deberán utilizarse equipos de División 1 sólo para productos químicos especiales y/o construcciones o condiciones de manejo de procesos especiales, o cuando la ventilación sea inadecuada (Ver L.P.P. 3.1.)
- V. Las salas de control de procesos deberán aislarse mediante paredes con resistencia al fuego de por lo menos 1 hora, de los laboratorios de control de procesos y/o salas de interconexiones y transformadores eléctricos.

APENDICE C

LISTA DE VERIFICACION DE INGENIERIA

La siguiente lista de verificación intenta ser una guía para usar cuando se evalúan los peligros de incendio y se revisan los requisitos de protección de una planta química. También puede ser usada para obtener ciertas ventajas en la planificación de nuevas instalaciones. Una lista de verificación de este tipo nunca puede ser completa o cubrir las necesidades de cada una de las situaciones. Ha de tenerse cuidado al usar una lista de este tipo, de no olvidar otras condiciones propias del proceso, aunque no estén incluidas en ella.

A. LOCALIZACION

1. Accesibilidad.
2. Tráfico - vehículos y peatones.
3. Areas de aparcamiento - entradas, salidas, desagües, iluminación de cercados.
4. Espacio de maniobra entre edificios para el tráfico de vehículos y ferrocarril (altura, anchura y radios de giro).
5. Drenajes y áreas de embalsamiento.
6. Localización de carreteras, señales.
7. Entradas, salidas- para peatones, vehículos y ferrocarriles
8. Localización de hornos, unidades para el fluido térmico "Dowtherm", postes de iluminación.

B. EDIFICIOS

1. Presión del viento, cargas de nieve, cargas sobre el piso, diseño antisísmico.
2. Material para tejados, anclajes.
3. Ventiladores de cubiertas, drenajes, evacuación de humos.
4. Escaleras, rampas, iluminación.
5. Ascensores y montacargas.
6. Muros cortafuego, aberturas, puertas cortafuego.
7. Paramentos débiles contra explosiones.
8. Salidas - vías de escapes contra el fuego, identificación, señales de seguridad.
9. Almacenamiento de archivos.
10. Ventilación-ventiladores, extractores, acondicionamiento de aire, lavado de vapores tóxicos, localización de conductos de extracción, reguladores de ventilación térmica y contrahumos, cortinas antifuego.
11. Pararrayos, estructuras y equipo puestos a tierra contra descargas eléctricas.
12. Aparatos para la calefacción de edificios (áreas peligrosas y no peligrosas) respiraderos.
13. Vestuarios con taquillas separadas para ropa de trabajo y de calle, número necesario de cada uno de ellos y renovación de aire (Norma ASA)
14. Drenaje de los edificios - interiores y exteriores.
15. Protección de estructuras metálicas y equipo contra el fuego.

16. Escaleras de acceso a la cubierta desde el nivel exterior, escalas de escape, salidas de emergencia.
17. Capacidad portante del subsuelo

C. ROCIADORES, HIDRANTES Y RED DE AGUA

1. Suministro de agua, con inclusión de la fuente suplementaria, bombas recipientes y tanques.
2. Red de agua - diseño adecuado de la red, protección catódica, aislamiento y protección externa cuando sea necesario, válvulas seccionales.
3. Hidrantes - localización.
4. Rociadores automáticos - clasificación por usos, sistemas húmedos, sistemas de inundación (deluge).
5. Tomas de agua y depósitos.
6. Tipo, tamaño, localización y número de extintores necesarios.
7. Sistemas de extinción automáticos fijos, de CO₂, N₂, espuma, polvo seco.
8. Sistemas de protección contra fuegos especiales - alarmas por incremento de temperatura, alarmas del flujo del sistema de rociadores, sistema de alarma fotoeléctrica por llama y humo, vapor odorificado.

D. ELECTRICIDAD

1. Clasificación de riesgos.
2. Accesibilidad de los seccionadores críticos.
3. Tomas de corriente con posición diferenciada y sistemas puestos a tierra.
4. Seccionadores e interruptores para equipo y maquinaria crítica.
5. Iluminación de áreas peligrosas y no peligrosas, intensidad luminosa, equipos permitidos, luces de emergencia.
6. Teléfonos - áreas peligrosas y no peligrosas.
7. Tipo de sistema de distribución eléctrica - tensión, puesta o no a tierra, aéreo, enterrado.
8. Precaución contra la corrosión de canalizaciones y envolventes.
9. Protección de motores y circuitos.
10. Localización y tipos de transformadores.
11. Protección contra una puesta en marcha automática con dispositivos de mando de seguridad positiva.
12. Barras de distribución preferibles para cargas críticas.
13. Enclavamiento de seguridad mediante cerraduras para asegurar secuencias operativas, suministradores de duplicados.
14. Accesibilidad de los seccionadores críticos y las palancas de los interruptores.
15. Exposición de líneas de proceso y bandejas de instrumentos al deterioro del fuego.

E. CLOACAS

1. Sumideros químicos - con trampillas de acceso, vías de desagüe accesibles, respiraderos, localización, eliminación riesgo de explosión, tanques de contención, ventilación forzada, detectores de vapores inflamables y alarmas automáticas.
2. Sumideros, sanitarios - tratamiento, eliminación, trampillas, tapas, limpia-dores, respiraderos.
3. Cloacas para tormentas.

4. Tratamiento de residuos, riesgo potencial de contaminación de corrientes de agua, con inclusión de peligros de incendio procedentes de los vertidos en los ríos y lagos.
5. Zanjales de desagüe - abiertas, enterradas, desagües accesibles, presencia de las compuertas necesarias, exposición del equipo del proceso.
6. Eliminación de residuos, equipos contra la contaminación del aire y del agua.

F. ALMACENAMIENTO

1. Generalidades

- a) Accesibilidad - entradas y salidas, tamaños.
- b) Rociadores
- c) Zonas de pasillo
- d) Carga del piso
- e) Bastidores
- f) Altura de los apilamientos
- g) Aireadores de cubierta

2. Líquidos inflamables - Gases, polvos y materiales pulverulentos, humos y nieblas.

- a) Sistemas cerrados
- b) Atmósferas seguras en todo el sistema
- c) Areas donde tiene que haber rociadores o estar provistas con pulverizadores de agua.
- d) Respiradores de emergencia, parallas, válvulas de alivio, localización segura de los respiraderos y antorchas.
- e) Trampillas adecuadas en las bocas de los sumideros químicos.
- f) Ventilación - controles presurizados, etc., y/o equipo.
- g) Tanques, recipientes, silos - enterrados, sobre tierra, distancias, soportes resistentes al fuego, diques y drenajes, atmósferas inertes.
- h) Sistemas de extinción especiales, supresión de explosiones, espuma, polvo químico, dióxido de carbono.
- i) Sistemas fiables de refrigeración para productos químicos críticos.

3. Materias primas.

- a) Clasificación de los materiales según riesgo, con inclusión de su sensibilidad al choque.
- b) Lugares de recepción y almacenamiento
- c) Identificación y ensayos de pureza
- d) Medidas para evitar que los materiales se coloquen en tanques equipovados, etc.

4. Productos acabados

- a) Identificación y etiquetado para proteger al cliente
- b) Conformidad con ICC y otras regulaciones de transporte.
- c) Separación de materiales peligrosos.
- d) Protección contra la contaminación, principalmente en el llenado de camiones cisternas y tanques transportables.
- e) Señalización de los vehículos de transporte.
- f) Vías a seguir para los transportes peligrosos.
- g) Hojas de datos de información sobre seguridad para los clientes.
- h) Lugares de almacenamiento adecuados, altura de las estibas.
- i) Recipientes de transporte adecuados.

G. PROTECCION POR INERTIZACION CON GAS PARA TODOS LOS PRODUCTOS PELIGROSOS

1. Considerar materias primas, productos intermedios y productos finales.
2. Considerar almacenamiento, manejo de materiales y procesos.

H. MANEJO DE MATERIALES

1. Instalaciones para la carga y descarga de camiones
2. Instalaciones para la carga y descarga de ferrocarriles
3. Camiones y tractores industriales - gasolina, diesel, gas licuado del petróleo.
4. Muelles de carga y descarga, de trenes, camiones cisterna y camiones con remolque - sistema de puesta a tierra para líquidos inflamables.
5. Grúas-móviles, señalización de la capacidad, protección de la sobrecarga, finales de carrera.
6. Area de almacenamiento - carga y distribución en el suelo, rociadores, altura de las estibas, ventilación.
7. Transportadores y su localización en las áreas de producción
8. Almacenamiento de líquidos inflamables - pinturas, aceites, disolventes.
9. Almacenamiento de compuestos reactivos o explosivos - cantidades, distancia de separación, acceso limitado.
10. Eliminación de residuos - incineradores, medidas contra la contaminación del aire y del agua.

I. MAQUINARIA

1. Accesibilidad, Mantenimiento y Operaciones
 - a) Medidas para prevenir el sobrecalentamiento, incluyendo el calor por fricción.
 - b) Daño posible para el equipo de protección del fuego a causa del fallo de las máquinas.
 - c) Protección de las conducciones y tuberías contra la circulación de vehículos y carretrillas elevadoras.
2. Interruptores de paro de emergencia
3. Control de vibración

J. PROCESOS

1. Compuestos químicos - riesgos de incendio y para la salud (cutáneos y respiratorios), instrumentación, reglas de operación, mantenimiento, compatibilidad de compuestos químicos, estabilidad, etc.
2. Presión y temperatura críticas.
3. Dispositivos de alivio y apagallamas.
4. Recipientes según código y material para conducciones adecuado.
5. Normas para el tratamiento de las reacciones descontroladas.
6. Sistemas fijos de protección contra incendios - CO₂, espuma, inundación (deluge).
7. Recipientes con respiraderos adecuados, localización segura.
8. Sistemas permanentes de limpieza al vacío.
9. Barreras y aislamiento contra explosiones.
10. Sistemas de inertización con gas inerte - lista del equipo que ha de inertizarse.

11. Válvulas e interruptores de paro de emergencia, localización respecto del área crítica, tiempo de acción de los relés.
12. Protección frente al fuego de soportes metálicos.
13. Dispositivos de seguridad para equipos de intercambio térmico - respiradores, válvulas y desagües.
14. Juntas o liras de dilatación para líneas de vapor.
15. Trazador o visualizador de vapor - medios para la liberación de la dilatación térmica en líneas sometidas a temperatura.
16. Aislamiento para protección personal - procesos calientes, líneas y trazadores o visualizadores de vapor.
17. Puesta a tierra para electricidad estática de recipientes y tuberías.
18. Limpieza y mantenimiento de recipientes y tanques - bocas de hombre adecuadas, plataformas, escalas, aperturas para limpieza y procedimientos de permiso de entrada seguros.
19. Medidas para el control de la corrosión.
20. Identificación de las líneas de tuberías.
21. Riesgos de la radiación, con inclusión de protecciones personales para bomberos - instrumentos de tratamiento y medición de radio-isótopos, rayos X, etc.
22. Doble instrumentación con alarmas.

K. EQUIPO GENERAL DE SEGURIDAD

1. Dispensario y equipo adjunto.
2. Ambulancia.
3. Coche de bomberos.
4. Sistema de alarma de fuego.
5. Sirena y silbatos de aviso de incendio - en departamentos, en interiores y exteriores.
6. Tratamientos de residuos sanitarios y de proceso.
7. Equipo para la iluminación de la nieve y control del hielo.
8. Duchas de seguridad y fuentes para lavado de ojos.
9. Escalas y jaulas de seguridad.
10. Localización de equipos de emergencia - máscaras de gas, ropas protectoras, mantas antifuego, equipos de mangueras, sogas, etc.
11. Pantallas de seguridad en laboratorios.
12. Tipo de mangueras, localización y equipo adicional.
13. Instrumentos - analizadores continuos para vapores y gases inflamables, vapores tóxicos, etc.
14. Teléfonos de comunicación de emergencia, radio. Sistemas de aviso a personas, sistemas de llamadas, localización segura y control continuo por personal del centro de comunicación.
15. Protecciones para equipo en rotación.
16. Vigilancia de la combustión en hornos.
17. Válvulas de cierre para gas combustible.

Figura 2 - Presión de tarado de la válvula de seguridad para líquidos inflamables o combustibles

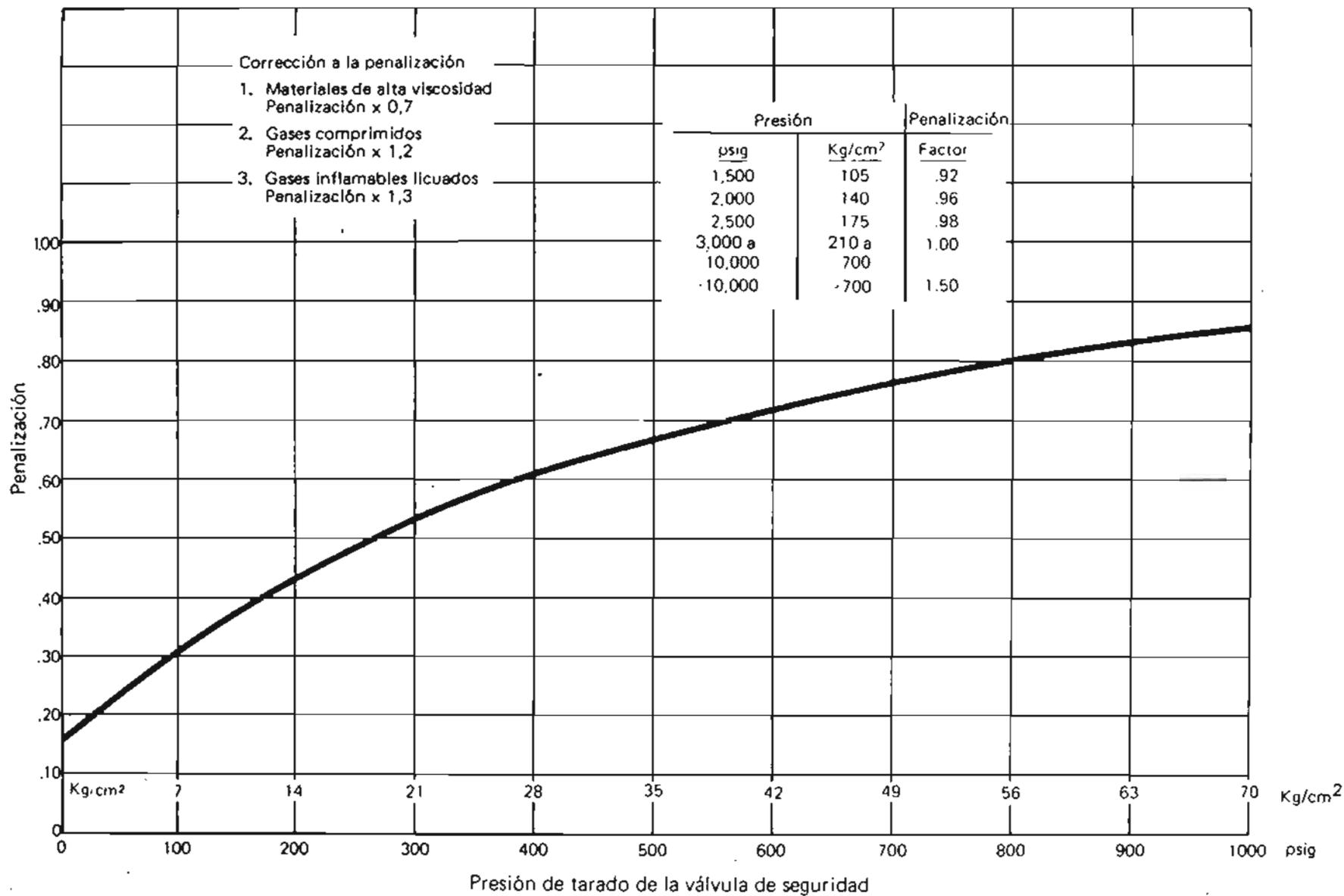


Figura 3 - Líquidos o gases en proceso

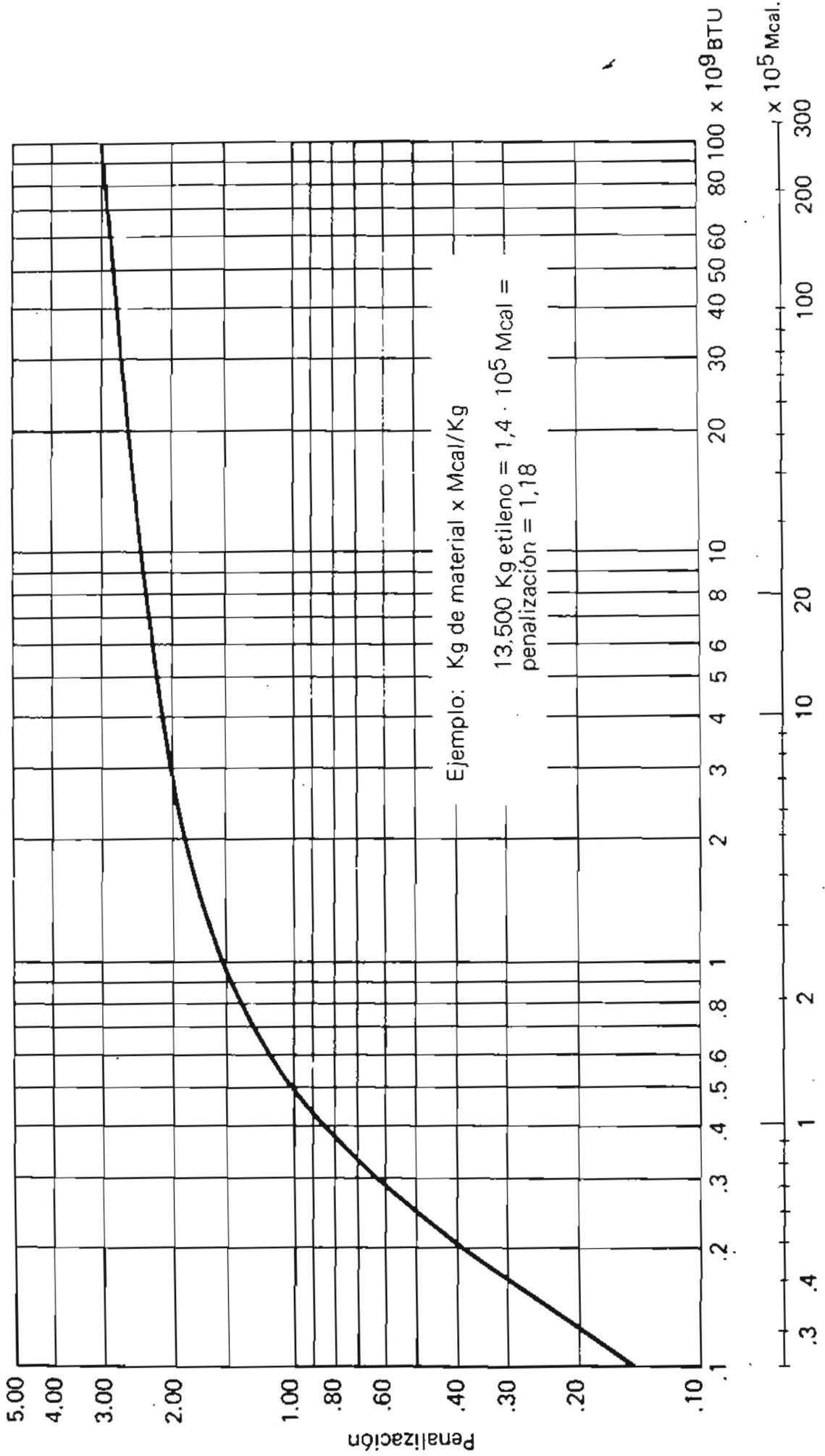
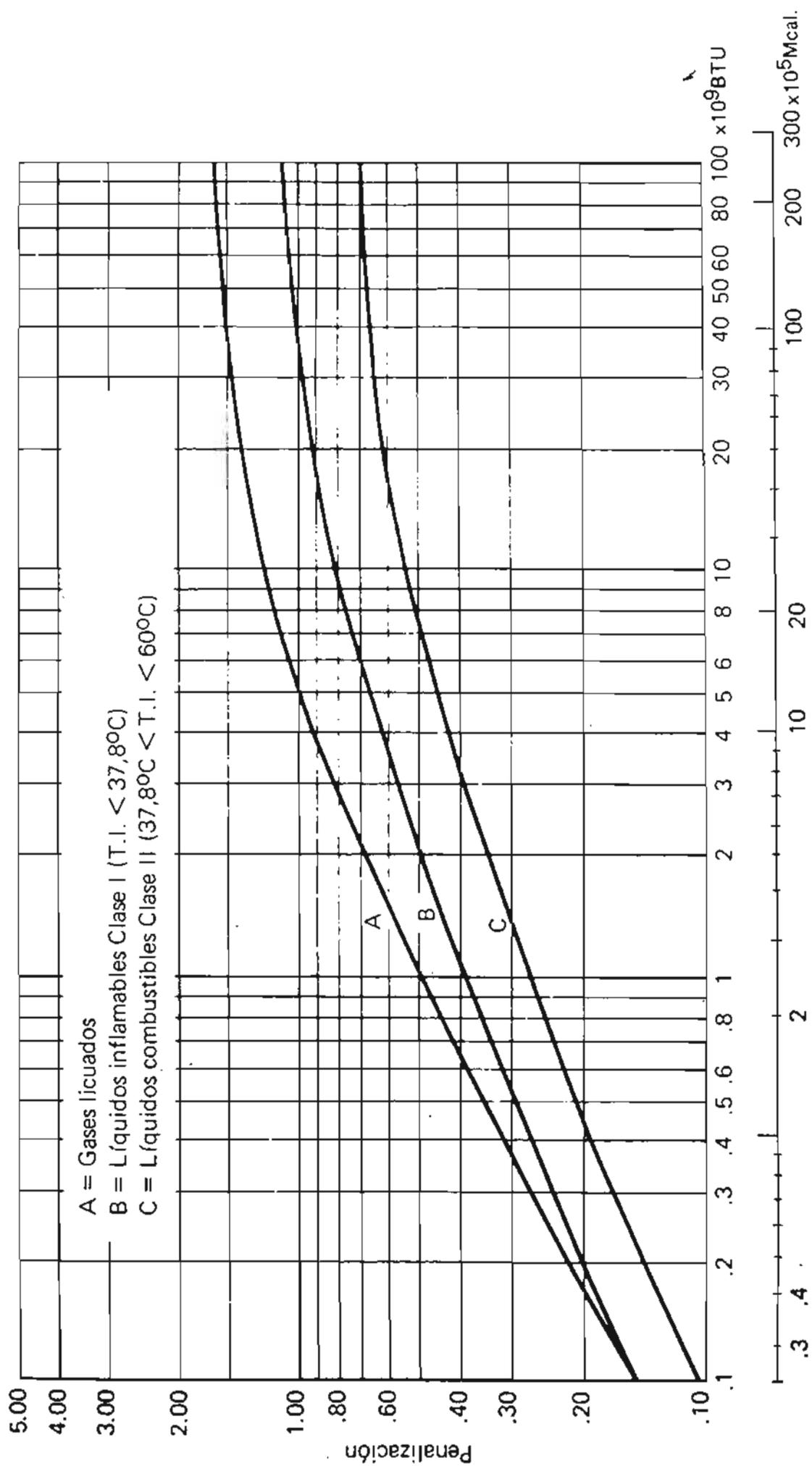


Figura 4 - Líquidos o gases en almacenamiento



A = Gases licuados
 B = Líquidos inflamables Clase I (T.I. < 37,8°C)
 C = Líquidos combustibles Clase II (37,8°C < T.I. < 60°C)

Figura 5 - Combustibles sólidos en almacenamiento

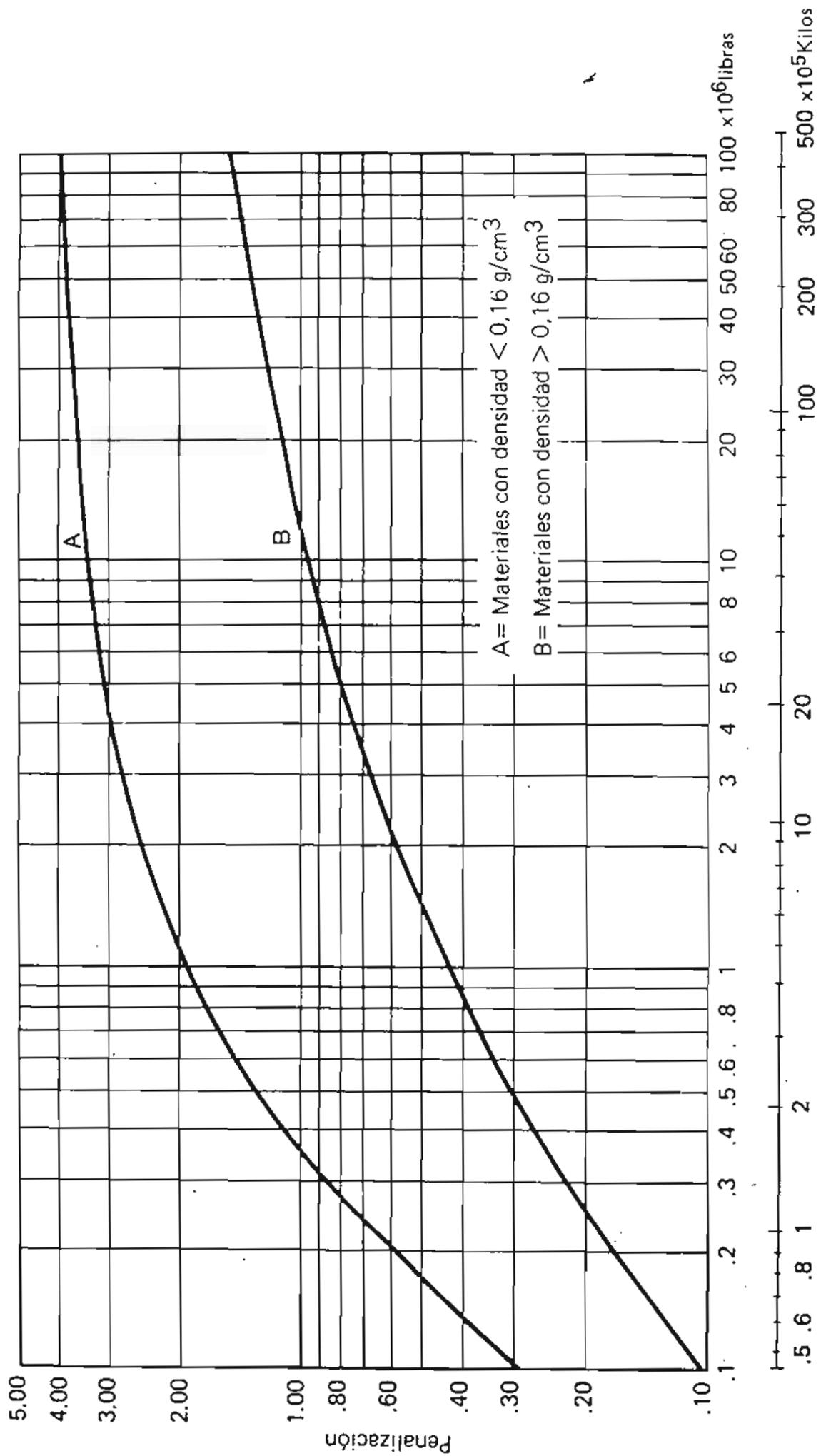


Figura 6 - Penalización por calentamiento por fuego (localizado en la planta de proceso)

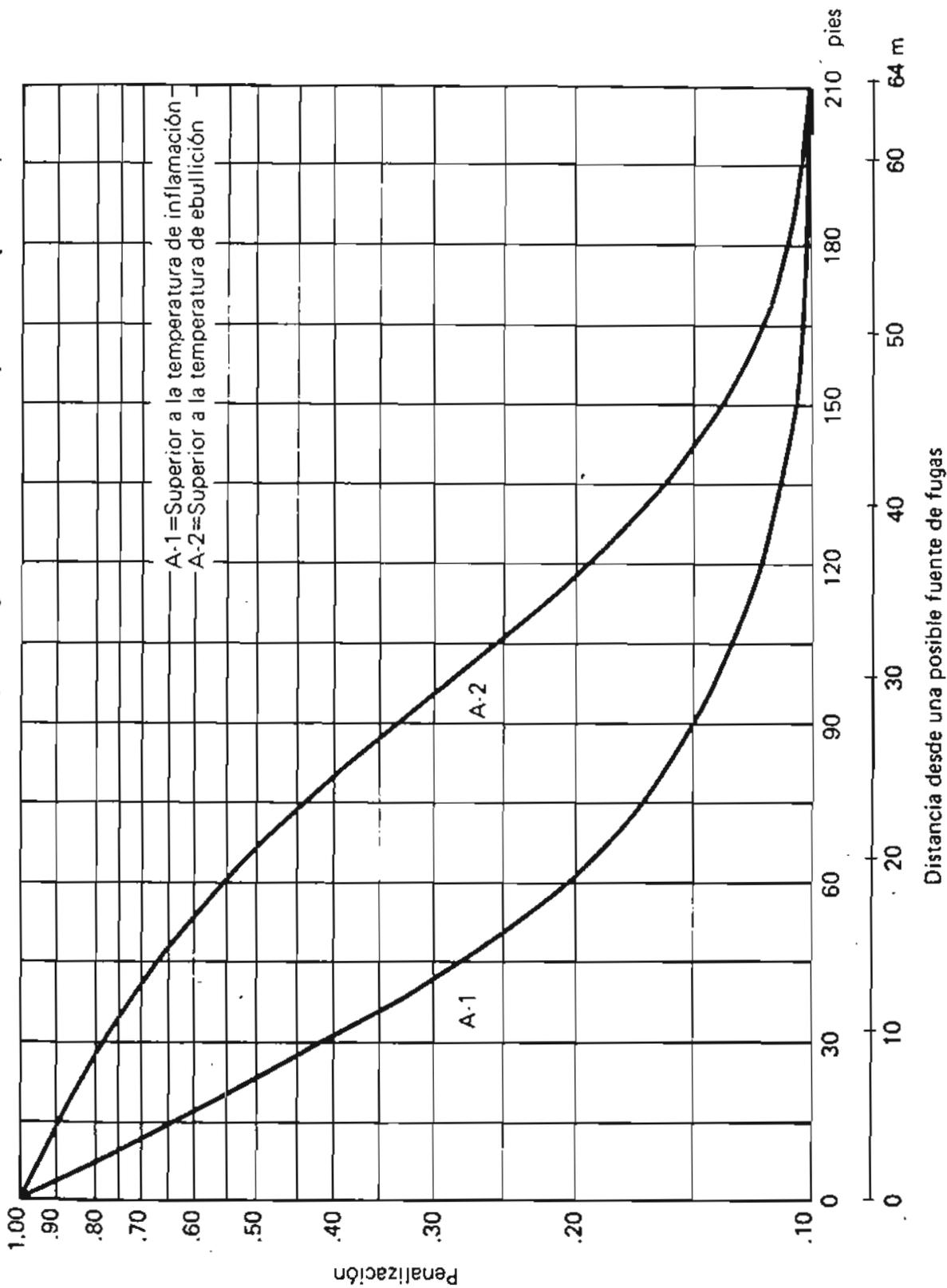


Figura 7 - Factor de riesgo de la unidad

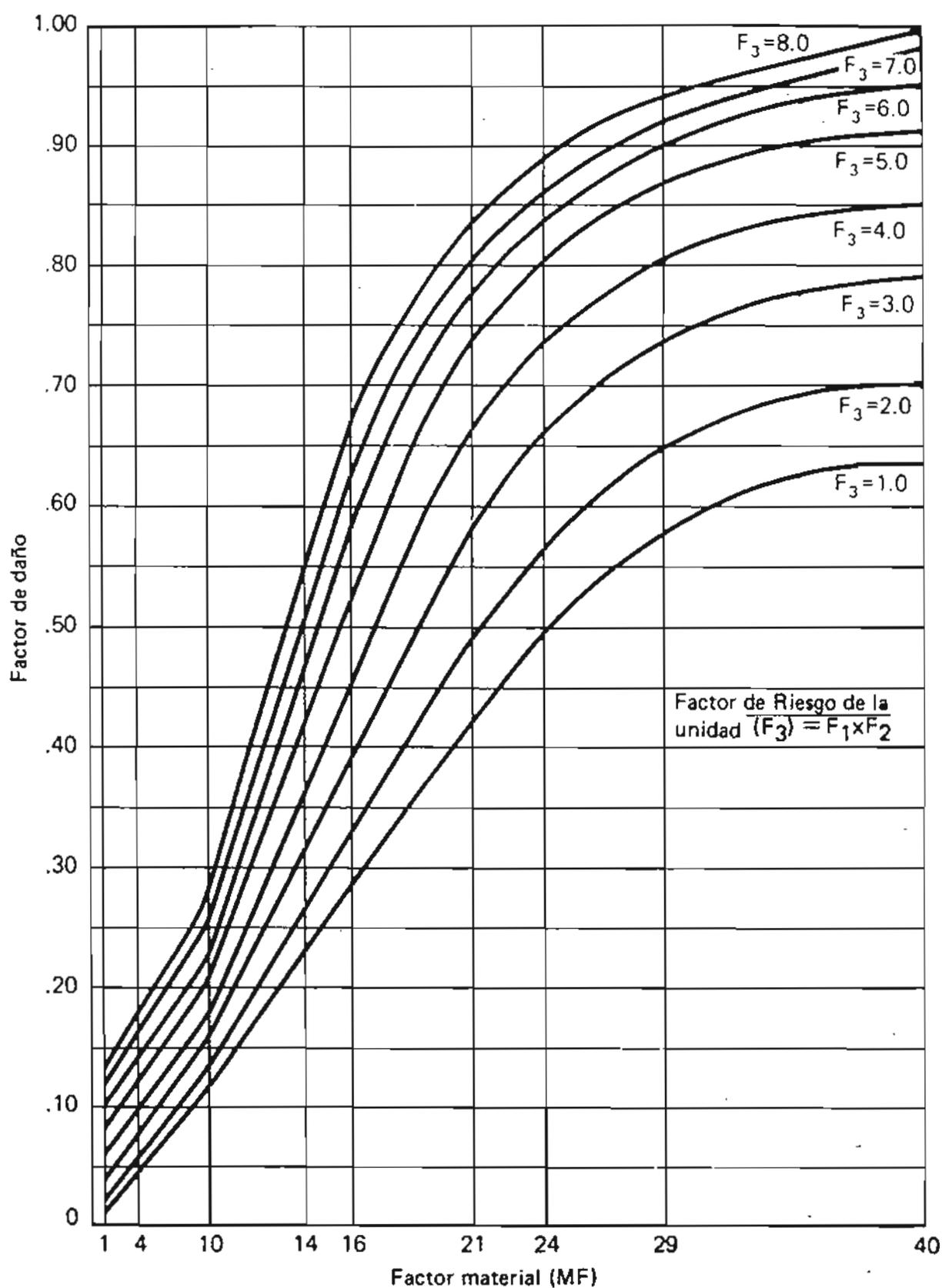


Figura 8 - Area de exposición

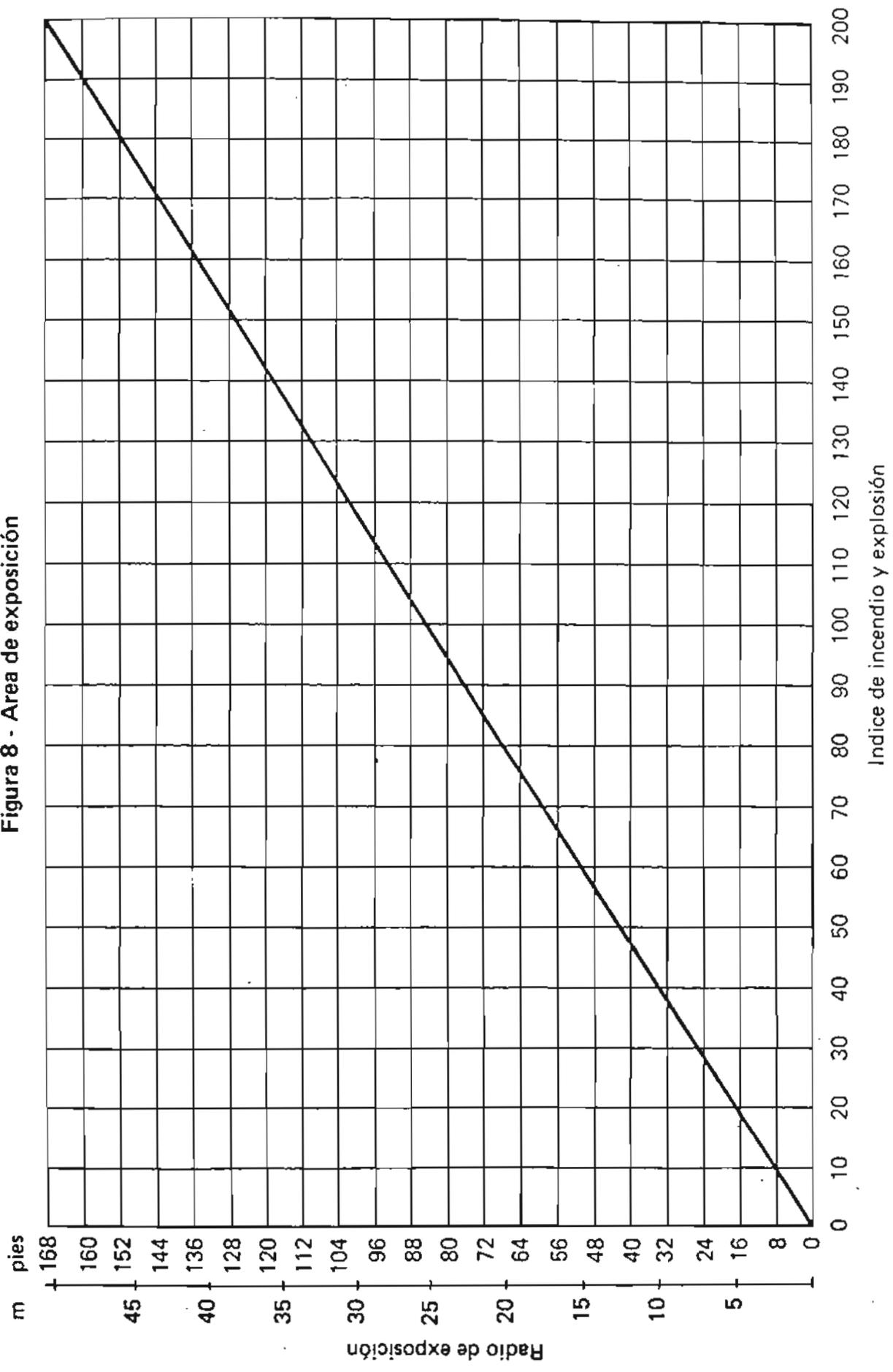


Figura 9 - Factor de bonificación

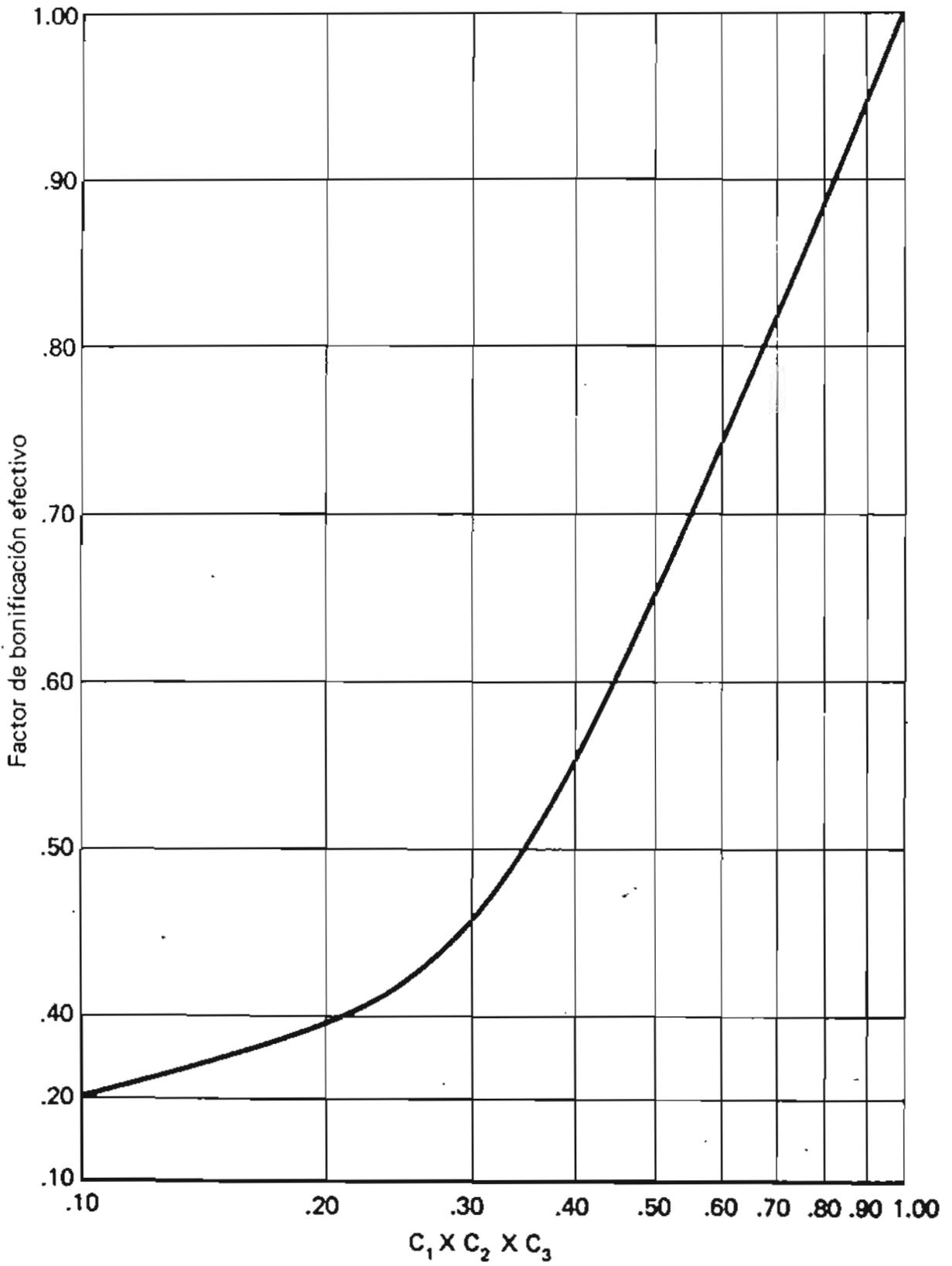


Figura 10 - Máximos días probables perdidos (MPDO)

