

Lista de sustancias peligrosas y cantidades límites

(Extraída del anexo III de la Directiva del Consejo de las Comunidades Europeas (82/501/CEE).)

Lista de sustancias para la aplicación del artículo 5

Las cantidades que figuran a continuación se refieren a cada instalación o conjunto de instalaciones del mismo fabricante cuando la distancia entre las mismas no es suficiente para evitar, en circunstancias previsibles, un aumento de los riesgos de accidentes graves. En todo caso, estas cantidades se refieren a cada conjunto de instalaciones del mismo fabricante cuando la distancia entre las instalaciones sea inferior a aproximadamente 500 m.

Denominaciones	Cantidad (≥)	nm CAS	Núm CEE
1 4 Aminodifenilo	1 kg	92-67-1	
2 Bencidina	1 kg	92-87-5	612-042-00-2
3 Sales de bencidina	1 kg		
4 Dimetilnitrosamina	1 kg	62-75-9	
5 2-Naftilamina	1 kg	91-59-8	612-022-00-3
6 Bertho (pulverizado y/o compuestos)	10 kg		
7 Eterdiclorometílico	1 kg	542-88-1	603-046-00-5
8 1,3-Propanosultona	1 kg	1120-71-4	
9 2,3,7,8-Tetraclorodibenzo-p-dioxina (TCDD)	1 kg	1746-01-6	
10 Pentóxido de arsénico, ácido (V) arsénico y sus sales	500 kg		
11 Trióxido de arsénico, ácido (III) arsenioso y sus sales	100 kg		
12 Hidruro de arsénico (Arsina)	10 kg	7784-42-1	
13 Cloruro de N,N-dimetilcarbamilo	1 kg	79-44-7	
14 N-cloroformil-morfolina	1 kg	15159-40-7	
15 Dicloruro de carbono (Fosgeno)	750 kg	75-44-5	006-002-00-8
16 Cloro	25 t	7782-50-5	017-001-00-7
17 Sulfuro de hidrógeno	50 t	7783-06-04	016-001-00-4
18 Acilonitrilo	200 t	107-13-1	608-003-00-4
19 Cianuro de hidrógeno	20 t	74-90-8	006-006-00-X
20 Sulfuro de carbono	200 t	75-15-0	006-003-00-3
21 Bromo	500 t	7726-95-6	035-001-00-5
22 Amoníaco	500 t	7664-41-7	007-001-00-5
23 Acetileno (Etino)	50 t	74-86-2	601-015-00-0
24 Hidrógeno	50 t	1333-74-0	001-001-00-9
25 Óxido de etileno	50 t	75-21-8	603-023-00-X
26 Óxido de propileno	50 t	75-56-9	603-055-00-4
27 2-Ciano-2-propanol (Acetona cianhidreína)	200 t	75-86-5	608-004-00-X
28 2-Propenal (Acroleína)	200 t	107-02-8	605-008-00-3
29 2-Propeno-1-ol (Alcohol alílico)	200 t	107-18-6	603-015-00-6
30 Alilamina	200 t	107-11-9	612-046-00-4
31 Hidruro de antimonio (Estibina)	100 kg	7803-52-3	
32 Etilenimina	50 t	151-56-4	613-001-00-1
33 Formaldehído (concentración ≥ 90%)	50 t	50-00-0	605-001-01-2
34 Hidruro de fósforo (Fosfina)	100 kg	7803-51-2	
35 Bromometano (Bromuro de metilo)	200 t	74-83-9	602-002-00-3
36 Isocianato de metilo	150 kg	624-83-9	615-001-00-7
37 Óxidos de nitrógeno	50 t	11104-93-1	
38 Selenito de sodio	100 kg	10102-18-8	
39 Sulfuro de bis-(2-cloroetilo)	1 kg	505-60-2	
40 Fosacetum	100 kg	4104-14-7	015-092-00-8
41 Plomo tetraetilo	50 t	78-00-2	
42 Plomo tetrametilo	50 t	75-74-1	
43 Promunt (3,4-diclorofenil nitroourea)	100 kg	5836-73-7	
44 Clorfenviníós	100 kg	470-90-6	015-071-00-3
45 Crimidina	100 kg	535-89-7	613-004-00-8
46 Eter metílico monoclorado	1 kg	107-30-2	
47 Dimetilamida del ácido cianofosfórico	1 t	63917-41-9	
48 Carbofenotón	100 kg	785-19-6	015-044-00-6
49 Dialifós	100 kg	10311-84-9	015-088-00-6
50 Ciantoato	100 kg	3734-95-0	015-070-00-8
51 Armitón	1 kg	78-53-5	
52 Oxidisulfotón	100 kg	2497-07-6	015-096-00-X
53 Tiofosfato de 0,0-dietilo y de S-(etilsulfonil-metilo)	100 kg	2588-05-8	
54 Tiofosfato de 0,0-dietilo y de S-(etilsulfonil-metilo)	100 kg	2588-06-9	
55 Disulfotón	100 kg	298-04-4	015-060-00-3
56 Demetón	100 kg	8065-48-3	
57 Forato	100 kg	298-02-2	015-033-00-6
58 Tiofosfato de 0,0-dietilo y de S-(etilito-metilo)	100 kg	2600-69-3	
59 Ditiofosfato de 0,0-dietilo y de S-(isopropil-tioetilo)	100 kg	78-52-4	
60 Pirazoxón	100 kg	108-34-9	015-023-00-1
61 Fensulfotón	100 kg	115-90-2	015-090-00-7
62 Paraoxona (fosfato 0,0-dietilo y de 0-p-nitrofenilo)	100 kg	311-45-5	
63 Paratión	100 kg	56-38-2	015-034-00-1
64 Azinfosetil	100 kg	2642-71-9	015-056-00-1

Denominaciones	Cantidad (≥)	Núm CAS	Núm CEE
65 Ditionosfato de O,O-dietilo y de S-(propil-tioetilo)	100 kg	3309-68-0	
66 Tionacin	100 kg	297-97-2	
67 Carbofurano	100 kg	1563-66-2	006-026-00-9
68 Fosfamidón	100 kg	13171-21-6	015-022-00-6
69 Tripato (2,4-dimetil-1,3 ditiolano-2 carboxialdehído-0-(metilcarbamóilo) oxina	100 kg	26419-73-8	
70 Mevinfós	100 kg	7786-34-7	015-020-00-5
71 Paratión-metil	100 kg	298-00-0	015-035-00-7
72 Azinfós-metil	100 kg	86-50-0	015-039-00-9
73 Cicloheximida	100 kg	66-81-9	
74 Diafacinona	100 kg	82-66-6	
75 Tetrametilén disulfotetramina	1 kg	80-12-6	
76 EPN	100 kg	2104-64-5	015-036-00-2
77 Acido 4-fluorobutírico	1 kg	462-23-7	
78 Sales del ácido 4-fluorobutírico	1 kg		
79 Esteres del ácido 4-fluorobutírico	1 kg		
80 Amidas del ácido 4-fluorobutírico	1 kg		
81 Acido 4-fluorocrotónico	1 kg	37759-72-1	
82 Sales del ácido 4-fluorocrotónico	1 kg		
83 Esteres del ácido 4-fluorocrotónico	1 kg		
84 Amidas del ácido 4-fluorocrotónico	1 kg		
85 Acido fluoroacético	1 kg	144-49-0	607-081-00-7
86 Sales del ácido fluoroacético	1 kg		
87 Esteres del ácido fluoroacético	1 kg		
88 Amidas del ácido fluoroacético	1 kg		
89 Fluenetil	100 kg	4301-50-2	607-078-00-0
90 Acido 4-fluoro-2-hidroxi-butírico	1 kg		
91 Sales del ácido 4-fluoro-2-hidroxi-butírico	1 kg		
92 Esteres del ácido 4-fluoro-2-hidroxi-butírico	1 kg		
93 Amidas del ácido 4-fluoro-2-hidroxi-butírico	1 kg		
94 Acido fluorhídrico	50 t	7664-39-3	009-002-00-6
95 Hidroxiacetónitrilo (Nitrilo del ácido glicólico)	100 kg	107-16-4	
96 1,2,3,7,8,9 hexaclorodibenzo-p-dioxina	100 kg	19408-74-3	
97 Isodrin	100 kg	465-73-6	602-050-00-4
98 Hexametulfosforotriamida	1 kg	680-31-9	
99 Juglón (5-hidroxi-1 4-naftoquinona)	100 kg	481-39-0	
100 Cumafén (Warfarina)	100 kg	81-8-2	697-056-00-0
101 4,4 metilén-bis (2-cloroanilina)	10 kg	101-14-4	
102 Etión	100 kg	563-12-2	015-047-00-2
103 Aldicarb	100 kg	116-06-3	006-017-00-X
104 Niqueltetracarbonilo (níquel carbonilo)	10 kg	13463-39-3	028-001-00-1
105 Isobenzano	100 kg	297-78-9	602-053-00-0
106 Pentaborano	100 kg	19624-22-7	
107 Diacetato de 1-propeno-2-cloro-1,3-diol	10 kg	10118-72-6	
108 Propilenoamina	50 t	75-55-8	
109 Difluoruro de oxígeno	10 kg	7783-41-7	
110 Dicloruro de azufre	1 t	10545-99-0	016-013-00-X
111 Hexafluoruro de selenio	10 kg	7783-79-1	
112 Hidruro de selenio	10 kg	7783-07-5	
113 TEPP	100 kg	107-49-3	015-025-00-2
114 Sulfotep	100 kg	3689-24-5	015-027-00-3
115 Difemos	100 kg	115-26-4	015-061-00-9
116 Triciclohexisestani-1-H-1,1,2,4-triazol	100 kg	41083-11-8	
117 Trietilenmelamina	10 kg	51-18-3	
118 Cobalto en forma de metal, de óxidos, de carbonatos, de sulfuros, pulverizados	1 t		
119 Níquel en forma de metal, de óxidos, de carbonatos, de sulfuros, pulverizados	1 t		
120 Anabasma	100 kg	494-52-0	
121 Hexafluoruro de telurio	100 kg	7783-80-4	
122 Cloruro de triclorometilsulfenilo	100 kg	594-42-3	
123 1,2 Dibromoetano (Bromuro de etileno)	50 t	106-93-4	602-010-00-6
124 Sustancias inflamables según las letras c) e i) del Anexo IV	200 t		
125 Sustancias inflamables según las letras c) e ii) del Anexo IV	50000 t		

Denominaciones	Cantidad (≥)	Núm. CAS	Núm. CEE
126. Diazodinitrofenol	10 t	7008-81-3	
127. Dinitrato de dietilenglicol	10 t	693-21-0	603-033-00-4
128. Sales de dinitrofenol	50 t		609-017-00-3
129. 1-Guanil-4-nitrosamina-guanil-1-tetraceno	10 t	109-27-3	
130. Bis (2,4,6-Trinitrofenil)-amina	50 t	131-73-7	612-018-00-1
131. Nitrato de hidrazina	50 t	13464-97-6	
132. Nitroglicerina	10 t	55-63-0	603-034-00-X
133. Tetranitrato de pentaeritritol	50 t	78-11-5	603-035-00-5
134. Ciclotrimetilen-trinitroamina	50 t	121-82-4	
135. Trinitroanilina	50 t	26952-42-1	
136. 2,4,6-Trinitroanisol	50 t	606-35-9	609-011-00-0
137. Trinitrobenceno	50 t	25377-32-6	609-005-00-8
138. Acido trinitrobenzoico	50 t	33860-50-5	
139. Clorotrimitobenceno	50 t	28260-61-9	610-004-00-X
140. N-Metil-2,4,6-Tetramitroanilina	50 t	479-45-8	612-017-00-6
141. 2,4,6-Trinitrofenol (Acido pícrico)	50 t	88-89-1	609-009-00-X
142. Trinitrocresol	50 t	28905-71-7	609-012-00-6
143. 2,4,6-Trinitrofenol	50 t	4732-14-3	
144. 2,4,6-Trinitroresorcinol (ácido estifínico)	50 t	82-71-3	609-018-00-9
145. 2,4,6-Trinitrotolueno	50 t	118-96-7	609-008-00-4
146. a) Nitrato de amonio ¹	2500 t		
b) Nitrato de amonio en forma de abono ²	5000 t	6484-52-2	
147. Nitrocelulosa (conteniendo más de 12,6% de nitrógeno)	100 t	9004-70-0	603-037-00-6
148. Dióxido de azufre	250 t	7446-09-05	016-011-00-9
149. Acido clorhídrico (gas licuado)	250 t	7647-01-0	017-002-00-2
150. Sustancias inflamables según las letras c) e iii) del Anexo IV	200 t		
151. Clorato de sodio	250 t	7775-09-9	017-005-00-9
152. Peroxiacetato de tercbutilo (concentración ≥ 70%)	50 t	107-71-1	
153. Peroxisobutirato de tercbutilo (concentración ≥ 80%)	50 t	109-13-7	
154. Peroximaleato de tercbutilo (concentración ≥ 80%)	50 t	1931-62-0	
155. Peroxisopropilcarbonato de tercbutilo (concentración ≥ 80%)	50 t	2372-21-6	
156. Peroxidicarbonato de dibencilo (concentración ≥ 90%)	50 t	2144-45-8	
157. Peroxisobutano de 2,2-bis tercbutilo (concentración ≥ 70%)	50 t	2167-23-9	
158. Peroxiciclohexano de 1,1-bis tercbutilo (concentración ≥ 80%)	50 t	3006-86-8	
159. Peroxidicarbonato de di-s-butilo (concentración ≥ 80%)	50 t	19910-65-7	
160. 2,2-dihidroperoxipropano (concentración ≥ 30%)	50 t	2614-76-8	
161. Peroxidicarbonato de di-n-propilo (concentración ≥ 80%)	50 t	16066-38-9	
162. 3,3,6,6,9,9-hexametil-1,2,4,5-tetroxaciononano (concentración ≥ 57%)	50 t	22397-33-7	
163. Peróxido de metiletilcetona (concentración ≥ 60%)	50 t	1338-23-4	
164. Peróxido de metilisobutilcetona (concentración ≥ 60%)	50 t	37206-20-5	
165. Acido peracético (concentración ≥ 60%)	50 t	79-21-0	607-094-00-8
166. Nitruro de plomo	50 t	13424-46-9	082-003-00-7
167. 2,4,6-Trinitroresorcinato de plomo (tricinato)	50 t	15245-44-0	609-019-00-4
168. Fulminato de mercurio, isocianato de mercurio	10 t	20820-45-5	080-005-00-2
169. Ciclotetrametilén tetranitroamina	50 t	2691-41-0	
170. 2,2',4,4',6,6'-Hexanitroestilbeno	50 t	20062-22-0	
171. 1,3,5-Triamino-2,4,6-Trinitrobenceno	50 t	3058-38-6	
172. Dinitrato de glicol	10 t	628-96-6	603-032-00-9
173. Nitrato de etilo	50 t	625-58-1	007-007-00-8
174. Picramato de sodio	50 t	831-52-7	
175. Nitruro de bario	50 t	18810-58-7	
176. Peróxido de disobutirilo (concentración ≥ 50%)	50 t	3437-84-1	
177. Peroxidicarbonato de etilo (concentración ≥ 30%)	50 t	14666-78-5	
178. Peroxipivalato de tercbutilo (concentración ≥ 77%)	50 t	927-07-1	
179. Oxígeno líquido	2000 t	7782-44-7	008-001-00-8
180. Trióxido de azufre	75 t	7446-11-9	

¹ Esto se aplicará al nitrato de amonio y a las mezclas de nitrato de amonio en las que el contenido de nitrógeno debido al nitrato de amonio sea superior al 28% en peso y a las disoluciones acuosas de nitrato de amonio en las que la concentración de nitrato de amonio sea superior al 90% en peso

² Esto se aplicará a los abonos simples a base de nitrato de amonio que se ajusten a la Directiva 80/876/CEE y a los abonos compuestos en los que el contenido de azufre debido al nitrato de amonio sea superior al 28% en peso (los abonos compuestos contienen nitrato de amonio mezclado con fosfato y/o potasa)

NB Los números CEE corresponden a los de la Directiva 67/548/CEE, incluidas sus modificaciones

Ejemplo de un método rápido de clasificación de las unidades/elementos de la planta

(Reproducido de la sección «Description of foreseeable hazards and of preventive provisions to control such hazards» en *Operational safety report. Guideline for the compilation*, Draft manual, Países Bajos, Dirección General del Trabajo, Inspección del Trabajo.)

Se describe a continuación un sistema rápido que puede utilizarse para clasificar los elementos separados de una planta de un complejo industrial. Esta es una versión simplificada del método establecido por la Dow Chemical Company. Además de este método de clasificación rápida, se dispone de otros métodos. En general, cuanto más laborioso es el método más seguros son los resultados como indicación de los riesgos.

1. Subdivisión de la instalación

Antes de aplicar índices de riesgo, la instalación de que se trate debe subdividirse en elementos o unidades lógicas e independientes. En general, una dependencia puede caracterizarse lógicamente por la índole del proceso que en ella se realiza. En algunos casos, la dependencia o unidad puede estar constituida por un elemento de la planta separado de los demás elementos por espacio o por muros de protección.

Un elemento de la planta puede ser también un aparato, instrumento, sección o sistema capaz de provocar un riesgo específico.

A continuación, se dan ejemplos de unidades o elementos lógicos e independientes:

- sección de alimentación,
- sección de calentamiento/sección de enfriamiento;
- sección de reacción;
- sección de compresión,
- sección de destilación;
- sección de lavado;
- sistema de recolección,
- sección de filtración;
- cisternas reguladoras;
- torre de granulación,
- sección de destrucción;
- sistema de inflamación;
- sistema de extracción o evacuación,
- sección de recuperación;
- sección de enfriamiento, etc

Con respecto a las instalaciones de almacenamiento, cada cisterna, depósito o silo se considera como una unidad separada.

En el caso de almacenamiento de sustancias peligrosas en unidades de embalaje (sacos, botellas, tambores, etc.), el total de las unidades de embalaje almacenadas en un local se considera como un elemento de la planta.

2. Determinación del índice de incendio y explosión (IyE) y del índice de toxicidad (T)

Para cada elemento separado de la planta que contenga sustancias inflamables o tóxicas, se puede determinar un índice de incendio y explosión (IyE) y/o un índice de toxicidad (T) de una manera derivada del método de determinación del índice de incendio y explosión establecido por la Dow Chemical Company (Estados Unidos)¹

El índice de incendio y explosión (IyE) se calcula a partir de la fórmula:

$$IyE = FM \times (1 + RGP_{tot}) \times (1 + REP_{tot}),$$

en la que:

FM = *factor material* = medida de la energía potencial de las sustancias peligrosas presentes (según los datos de la National Fire Protection Association (NFPA) (Asociación Nacional de Protección contra Incendios de los Estados Unidos) (véase la sección 3),

RGP_{tot} = *riesgos generales del proceso* = medida de los riesgos inherentes al proceso (derivados de la naturaleza y las características del proceso (véase la sección 4),

REP_{tot} = *riesgos especiales del proceso* = medida de los riesgos procedentes de la instalación específica (condiciones del proceso, naturaleza y dimensión de la instalación) (véase la sección 5).

El índice de toxicidad (T) se calcula a partir de la fórmula.

$$T = \frac{T_h + T_s}{100} (1 + RGP_{tot} + REP_{tot}),$$

en la que.

T_h = *factor toxicidad* (obtenido de los datos de la NFPA) (véase la sección 6),

T_s = *suplemento* del valor CMA (véase la sección 6).

Para RGP_{tot} y REP_{tot} se aplican los mismos valores que para la determinación del índice de incendio y explosión.

Para la determinación del índice de IyE, por un lado y de T, por el otro, se puede utilizar el formulario que figura en el cuadro 2.1.

Cuando existe más de una sustancia peligrosa en un elemento de la planta, se debe determinar un índice de

incendio y explosión (IyE) y/o un índice de toxicidad (T), si se desea con ayuda del formulario, para cada sustancia.

Al determinar la categoría del riesgo del elemento de la planta, se aplican los valores máximos encontrados para IyE o T, respectivamente.

Cuadro 2.1. Determinación del índice de incendio y explosión (IyE) y del índice de toxicidad (T)

Localización		Nombre	Fecha
Planta	Unidad	Numero	A cargo de
MATERIALES Y PROCESOS*			
Materiales		Disolventes	
Factor material FM (ver cuadro 1, apendice a) →			
RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (RGP)		4	Penalización
Reacciones exotérmicas		4,1	0,20
Reacciones endotérmicas		4,2	
Transferencia y manejo materiales		4,3	
Unidades de proceso cerradas		4,4	
Añádase RGP _{tot} →			
(1 + RGP _{tot}) × FM = subfactor →			
RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO (REP)		5	
Temperatura del proceso (usar sólo penalización superior)		5,1	
- Superior al punto de inflamación			0,25
- Superior al punto de ebullición			0,60
- Superior al punto de autoignición			0,75
Presión baja (inferior a la atmosférica/sub-atmosférica)		5,2	
- Riesgo de formación de peróxido			0,50
- Sistemas de acopio de hidrogeno			0,50
- Destilación en el vacío a una presión absoluta inferior a 0,67 bar			0,75
Operación en o cerca condiciones inflamabilidad		5,3	
- Líquidos inflamables y GLP almacenados en tanques en el exterior			0,50
- Confianza en instrumentos y/o N ₂ o purga de aire para quedar fuera del campo de inflamabilidad			0,75
- Siempre en condiciones de inflamabilidad			1,00
Presión de servicio		5,4	
Temperatura baja		5,5	
- Entre 0 y -30 °C			0,30
- Inferior a -30 °C			
Cantidad de material inflamable		5,6	
- En proceso			
- Almacenado			
Corrosión y erosión		5,7	
Fugas por uniones y empaquetaduras		5,8	
Añádase REP →			
(1 + REP _{tot}) × subfactor = índice de incendio y explosión (IyE)			
INDICE DE TOXICIDAD (T) (véase 6)			
$\frac{T_h + T_s}{100} \times (1 + RGP_{tot} + REP_{tot}) = T$		→	
* La palabra «proceso» incluye el manejo y el almacenamiento			
** Consultar las secciones 4 y 5 con respecto a la penalización que se ha de utilizar. Para varios riesgos del proceso la penalización que se ha de utilizar es fija y se puede tomar de la columna precedente «penalización»			

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

3. Determinación del factor material (FM)

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

El factor material se determina utilizando únicamente dos propiedades, la inflamabilidad² y la reactividad, caracterizadas por la inestabilidad y la reactividad al agua de la sustancia química. En el apéndice 2a) se enumeran los factores correspondientes a muchos materiales. El factor material se debe determinar con respecto a todas las sustancias peligrosas que existen en el elemento de la planta.

El factor material puede calcularse a partir del cuadro 2.2, utilizando el valor numérico de la inflamabilidad y de la reactividad dados por la NFPA³

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

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

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

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

- punto de inflamación inferior a -20 °C,
- calor de la combustión 30,703 kJ/g ,
- peso molecular 58,
- el calor de combustión es, por tanto, $30,703 \times 58 = 1780,78 \text{ kJ/mol}$,
- presión barométrica 0,746 (27 °C),
- temperatura de descomposición: 675 °C

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

$$H_{cv} = 1780,78 \times 0,746 = 1326 \text{ kJ bar/mol}$$

aproximadamente

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

La temperatura adiabática de descomposición es la siguiente.

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

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

4. Determinación de los riesgos generales del proceso

4.1. Reacciones exotérmicas

- 4.1.1. Se penaliza con 0,20:
- combustión = la combustión de combustible sólido, líquido o gaseoso con aire como en un horno.

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

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

Cuadro 2.2. Determinación del factor material

		Tiempo adiabático de descomposición (T_a)											
		< 830	830-935	935-1010	1010-1080	>1080							
		reactividad											
		N_r											
		0	1	2	3	4							
Punto de inflamación °C	H_{cv} kJ bar/mol	N_i	inflamabilidad										
								0	1	2	3	4	
								1	4	14	24	29	40
								2	10	14	24	29	40
								3	16	16	24	29	40
4	21	21	24	29	40								
Factor Material FM													

están determinados por el empleo de hidrógeno bajo presión y a una temperatura relativamente elevada.

- b) *hidrólisis* = reacción de un compuesto con agua, tal como la fabricación de ácido sulfúrico o fosfórico a partir de sus óxidos;
- c) *alquilación* = adición de un grupo alquilo a un compuesto para formar varios compuestos orgánicos;
- d) *isomerización* = reagrupamiento de los átomos en una molécula orgánica, por ejemplo, cambio de una cadena lineal en una molécula ramificada o desplazamiento de un enlace doble; los riesgos dependerán de la estabilidad y de la reactividad de las sustancias químicas utilizadas y pueden en algunos casos exigir una penalización de 0,50;
- e) *sulfonación* = introducción de un radical SO_3H en una molécula orgánica mediante reacción con H_2SO_4 ,
- f) *neutralización* = reacción entre un ácido y una base para dar una sal y agua.

4.1.3. Se penalizan con 0,50

- a) *esterificación* = reacción entre un ácido y un alcohol o un hidrocarburo insaturado, riesgo moderado, salvo en casos en que el ácido es altamente reactivo o cuando el material que reacciona es inestable, en cuyo caso la penalización se debe aumentar a 0,75 o 1,25;
- b) *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, ácidos hipoclorosos y sus sales, aumentar la penalización a 1,00;
- c) *polimerización* = unión conjunta de moléculas para formar cadenas u otras uniones; el calor debe disiparse para mantener la reacción bajo control,
- d) *condensación* = unión conjunta de dos o más moléculas orgánicas con desprendimiento de H_2O , HCl u otros compuestos.

4.1.4 Se penalizan con 1,00

- *halogenación* = introducción de átomos de halógenos (flúor, cloro, bromo o yodo) en una molécula orgánica, este proceso es a la vez fuertemente exotérmico y corrosivo

4.1.5. Se penalizan con 1,25.

- *nitración* = sustitución de un átomo de hidrógeno de un compuesto por un grupo nitro, reacción fuertemente exotérmica, posiblemente con subproductos explosivos.

Los controles de temperatura deben ser buenos, las impurezas pueden actuar como catalizadores de una nueva oxidación, o nitración, y se puede producir una rápida descomposición.

4.2. Reacciones endotérmicas

Las reacciones endotérmicas se penalizan con 0,20.

Son ejemplos de reacciones endotérmicas:

- a) *calcinación* = calentamiento de un material para eliminar la humedad u otro material volátil,
- b) *electrólisis* = separación de iones mediante la corriente eléctrica; existen riesgos debido a la presencia de productos inflamables o altamente reactivos;
- c) *pirólisis o cracking* = descomposición térmica de moléculas grandes por temperaturas elevadas, presión y un catalizador; la regeneración del catalizador por medio de un proceso de combustión separado puede resultar peligrosa.

Si se utiliza el proceso de combustión como una fuente de energía para la calcinación, la pirólisis o el cracking, la penalización debe ser de 0,40

4.3. Manejo y transferencia de materiales

- a) Carga y descarga de materiales peligrosos, especialmente con respecto a los riesgos que entraña la conexión y desconexión de líneas de transferencia de camiones, vagones cisterna y barcasas: *penalización 0,50.*
- b) El almacenamiento en locales y patios (con excepción del almacenamiento en tanques al aire libre) de materiales peligrosos en bidones, bombonas, tanques de transporte, etc
 - materiales con una temperatura de proceso (almacenamiento) inferior al punto de ebullición atmosférico *penalización 0,30,*
 - materiales con temperatura de proceso (almacenamiento) superior al punto de ebullición atmosférico *penalización 0,60.*

Las penalizaciones arriba mencionadas se aplican debido a la posible exposición en el manejo y el riesgo potencial de incendio. Se aplican independientemente de la cantidad (con respecto a la cual se indica una penalización en otro lugar)

4.4. Unidades de proceso en un edificio

Las unidades de proceso que están situadas en un edificio y en las que se procesan y/o almacenan materiales peligrosos representan un mayor riesgo debido a la obstrucción de la ventilación natural:

- líquidos inflamables que estén a una temperatura superior al punto de inflamación, pero inferior al punto de ebullición. *penalización 0,30,*
- líquidos inflamables o gases licuados de petróleo a una temperatura superior al punto de ebullición. *penalización 0,60*

4.5. Otras penalizaciones

El embalaje, el llenado de tambores, sacos o cajas con sustancias peligrosas, el uso de centrífugas, la mezcla de lotes en aparatos abiertos, o la realización de más de una reacción en el mismo aparato: *penalización 0,50.*

5. Determinación de los riesgos especiales del proceso

5.1. Temperatura del proceso

- a) Se debe aplicar una *penalización de 0,25* cuando la temperatura del proceso o las condiciones de manejo están por encima del punto de inflamación del material.
- b) Se debe aplicar una *penalización de 0,60* cuando la temperatura del proceso o las condiciones de manejo están por encima del punto de ebullición.
- c) Algunos materiales como el hexano y el disulfuro de carbono tienen temperaturas de autoignición bajas y pueden entrar en ignición por contacto con líneas de vapor caliente *penalización 0,75*

5.2. Presión baja

No es necesario aplicar penalización a los procesos que se realizan a la presión atmosférica o subatmosférica, a condición de que una entrada de aire en el sistema no pueda crear un riesgo. Ejemplo: la destilación en el vacío de glicoles.

- a) Cuando un escape en el circuito puede crear un riesgo, aplicar una *penalización de 0,50.* Ejemplo: manipulación de materiales pirofóricos, diolefinas con riesgo de formación de peróxido y polimerización catalizada
- b) Los sistemas de recolección de hidrógeno requieren una *penalización de 0,50*
- c) Cualquier destilación en el vacío a una presión atmosférica inferior a 0,67 *debe penalizarse con 0,75* si el aire o contaminantes que entren en el sistema pueden crear un riesgo

5.3. Operación en condiciones de inflamabilidad o cercanas a ella

- a) El almacenamiento de líquidos inflamables requiere una *penalización de 0,50* para los tanques al aire libre, si la mezcla gas-aire en el interior del tanque es en general inflamable o está cerca de las condiciones de inflamabilidad
- b) Para los procesos u operaciones que pueden hallarse cerca de los límites de la inflamabilidad y donde es necesario el uso de unos instrumentos y/o nitrógeno o aire de depuración para mantenerse fuera de los límites de explosión, *la penalización debe ser de 0,75.* Ejemplos. oxidación del tolueno al ácido benzoico, disolución del caucho, oxidación directa en el proceso del óxido de etileno.
- c) Para los procesos que normalmente se llevan a cabo en condiciones de inflamabilidad, se ha de aplicar una *penalización de 1,00* Ejemplos: destilación y almacenamiento de óxido de etileno

5.4. Presiones de alivio

Cuando se opera a presión superior a la atmosférica hace falta aplicar una penalización que aumentará en función del incremento de la presión.

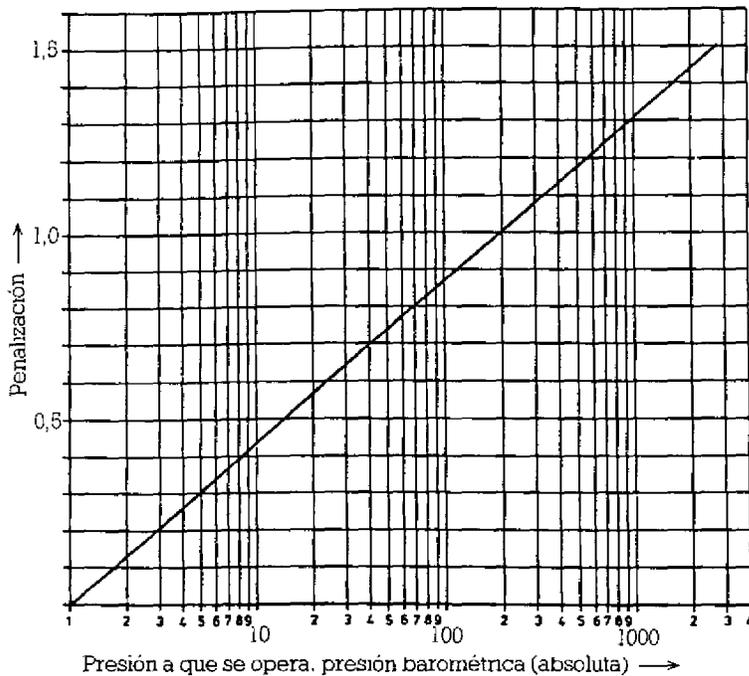
La penalización que se ha de aplicar se indica en la figura 2.1.

La penalización Y puede también calcularse con la fórmula $Y = 0,435 \log P$, en la que P es la presión absoluta a que se fija la válvula de seguridad, expresada en bars

La curva de penalización de la figura 2.1. se aplica a líquidos inflamables y combustibles y debe corregirse para otras sustancias, de la manera siguiente.

- a) para materiales altamente viscosos como alquitranes, betunes, lubricantes pesados y asfaltos, *multiplíquese la penalización por 0,7,*

Figura 2.1. Penalización por la presión a que se opera



- b) para gases comprimidos, multiplíquese la penalización por 1,2,
- c) para gases licuados inflamables y presurizados, multiplíquese la penalización por 1,3,
- d) las penalizaciones no son aplicables a las operaciones de extrusión o moldeo.

5.5. Baja temperatura

- a) Para procesos que operan a entre 0 °C y -30 °C, añádase 0,30.
- b) Para procesos que operan a temperaturas inferiores a -30 °C, añádase 0,50

La finalidad de esta clasificación es tener en cuenta la posible fragilidad. Además, en caso de escapes, el líquido frío entrará en contacto con el medio ambiente relativamente caliente, lo que puede provocar una considerable evaporación

5.6. Cantidad de material inflamable

(Figuras 2.2. y 2.3.)

5.6.1. En proceso

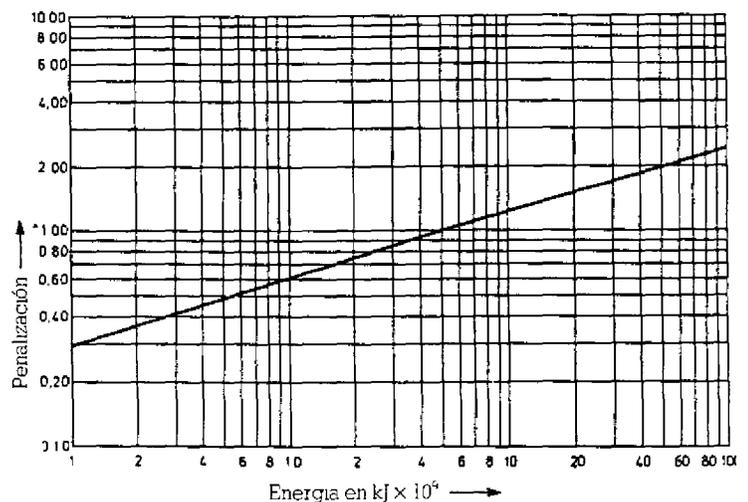
Para calcular la penalización, multiplíquense los kilogramos del material en proceso por el calor de la combustión expresado en kJ/kg. La figura 2.2 indica la

penalización apropiada. La penalización Y se puede asimismo calcular a partir de la fórmula:

$$\log Y = 0,305 \log eQ - 2,965$$

en la que e = calor de la combustión del material en kJ/kg, y Q = cantidad de material inflamable en kg

Figura 2.2. Penalización por la cantidad de energía presente en el material inflamable en proceso



Utilícese la cantidad de material contenido en la unidad de proceso mayor o del conjunto de unidades de proceso conectadas, siempre que esa cantidad pueda liberarse en su totalidad debido a un acontecimiento indeseado

5.6.2. En almacenamiento

Con respecto a las sustancias inflamables en almacenamiento, la penalización que se ha de aplicar con respecto a la cantidad presente en un tanque se determina de acuerdo con la indicada en la figura 2.3. Se ha de hacer un distinción entre el gas licuado presurizado (curva A) y los líquidos inflamables (B).

La penalización Y se puede calcular asimismo con la fórmula

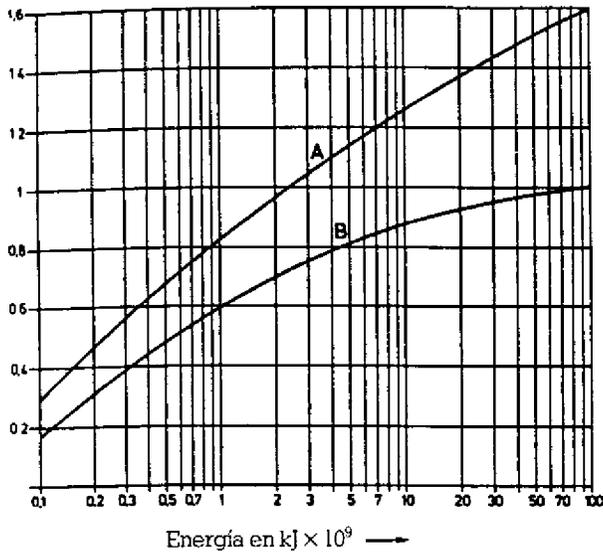
$$Y = \sqrt{185 - \left\{ \log \left(\frac{eQ \cdot 10^9}{700000} \right) \right\}^2} - 11,45$$

para el gas licuado presurizado (curva A), e

$$Y = \sqrt{55 - \left\{ \log \left(\frac{eQ \cdot 10^9}{270} \right) \right\}^2} - 6,4$$

para los líquidos inflamables (curva B)

Figura 2.3. Penalización por la cantidad de energía presente en el material inflamable en almacenamiento



Curva A: gas licuado presurizado
 Curva B: líquidos inflamables

5.7. Pérdida de material debido a la corrosión y la erosión

Este riesgo se debe evaluar con respecto a la corrosión interna y externa. Aspectos que se han de tomar en consideración:

- la influencia de impurezas menores en los fluidos de los procesos sobre la corrosión;
- la corrosión externa por resquebrajamiento de la pintura y el revestimiento;
- la exposición a daños de los recubrimientos resistentes (plásticos, ladrillos, etc.) por agrietamiento en uniones, empalmes o poros

Se aplican las penalizaciones siguientes:

- a) velocidad de corrosión inferior a 0,5 mm/año con riesgo de picadura o erosión local: 0,10;
- b) velocidad de corrosión entre 0,5 mm y 1 mm/año: 0,20;
- c) velocidad de corrosión superior a 1 mm/año: 0,50

5.8. Fugas a través de uniones y empaquetaduras

Los obturadores⁴, 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 con el diseño y los materiales elegidos, según se indica a continuación:

- a) la bomba y los prensaestopos que pueden dar lugar a fugas de pequeña importancia: 0,10;
- b) todos los procesos que normalmente producen problemas de fugas en bombas y uniones con bridas: 0,20;
- c) los procesos en que los fluidos por su naturaleza son penetrantes, dispersiones abrasivas que causan continuos problemas de estanqueidad: 0,40;
- d) ventanillas de observación, dispositivos de fuelles y juntas de dilatación: 1,50.

6. Determinación del índice de toxicidad (T)

El índice de toxicidad se basa primordialmente en las cifras índices de los riesgos para la salud establecidas por la NFPA. En el apéndice 2a) se dan algunas de estas cifras que van de 0 a 4, para varios materiales

En lo que respecta a los materiales no incluidos en este cuadro, cabe remitirse a las publicaciones de la NFPA (véase la nota 3 del presente apéndice).

Las cifras de la NFPA se plasman en un factor de toxicidad T_n, con arreglo al cuadro 2.3.

Cuadro 2.3. Relación entre las cifras de riesgos de la NFPA y el factor de toxicidad (T_n)

Índice de la NFPA	Factor de toxicidad (T _n)
0	0
1	50
2	125
3	250
4	325

Además, el factor de toxicidad se ha de correlacionar con el valor CMA de la sustancia tóxica añadiéndole una penalización T_s, que se da en el cuadro 2.4

Cuadro 2.4. Penalización T_s correspondiente al valor CMA

Cma ppm	Penalización T _s
≤ 5	125
5-50	75
> 50	50

El índice de toxicidad (T) se calcula a continuación, a partir de la fórmula siguiente.

$$T = \frac{T_h + T_s}{100} (1 + RGP_{tot} + REP_{tot})$$

De esta manera se determina el material que da el máximo valor de $T_h + T_s$.

RGP_{tot} = total de las penalizaciones del riesgo general del proceso (véase la sección 4);

REP_{tot} = total de las penalizaciones del riesgo especial del proceso (véase la sección 5).

7. Clasificación en categorías de riesgos

Comparando los índices IyE y/o T con los criterios indicados en el cuadro 2.5, la unidad de que se trate se clasifica en alguna de las tres categorías establecidas con este fin. La categoría I es la categoría de los elementos de la planta con el menor riesgo potencial y la categoría III la que representa los mayores riesgos potenciales.

Cuadro 2.5. Categorías de los elementos de la planta

	Índice de incendio y explosión (IyE)	Índice de toxicidad (T)
Categoría I	$F < 65$	$T < 6$
Categoría II	$65 \leq F < 95$	$6 \leq T < 10$
Categoría III	$F \geq 95$	$T \geq 10$

En los casos en que se ha de hallar un índice de incendio y explosión y un índice de toxicidad para una categoría, se adopta el índice más elevado.

Notas

¹ Dow Chemical Company *Fire and explosion index hazard classification guide* (Midland, Michigan, cuarta edición, mayo de 1976)

² A este respecto, una sustancia se considera inflamable si la temperatura del proceso es superior o igual a la del punto de inflamación

³ National Fire Protection Association (Asociación Nacional de Protección contra los Incendios). *Identification of the fire hazard of materials*, NFPA núms 704M, 325M y 49

⁴ En principio, esto se aplica sólo a los obturadores para el sellado de partes o conexiones móviles que se deben abrir con regularidad

**Cifras relativas a los riesgos
de accidentes y factores
materiales derivados de los
datos de la Asociación
Nacional de Protección
contra Incendios de los
Estados Unidos (NFPA)**

Compuesto	Clasificación NFPA			Factor material	Compuesto	Clasificación NFPA			Factor material
	Salud	Incendio	Reactividad			Salud	Incendio	Reactividad	
Acete mineral	0	1	0	4	n-Butil-éter	2	3	0	16
Acetaldehído	2	4	2	24	Carbonato de dietilo	2	3	1	16
Acetato de t-amilo	1	3	0	16	Carbonato de etileno	2	1	1	14
Acetato n-butilo	1	3	0	16	Carburo cálcico	1	4	2	24
Acetato de etilo	1	3	0	16	Ciclobutano	1	4	0	21
Acetato de isopropilo	1	3	0	16	Ciclohexano	1	3	0	16
Acetato de metilo	1	3	0	16	Ciclohexanol	1	2	0	10
Acetato de vinilo	2	3	3	24	Ciclopropano	1	4	0	21
Acetileno	1	4	3	29	Cloroacetato de metilo	2	2	1	14
Acetona	1	3	0	16	1-Clorobutano	2	3	0	16
Acetonitrilo	2	3	1	16	Cloroestireno	2	2	2	24
Acido acético	2	2	1	14	c-Clorofenol	3	2	0	10
Acido acetilsalicílico	1	1	0	4	Cloroformo	2	0	0	0
Acido acrílico	3	2	2	24	Cloro-metil-etil-éter	2	1	0	4
Acido benzoico	2	1	0	4	Cloropicrina	4	0	3	29
Acido cianúrico	2	0	1	14	1-Cloropropano	2	3	0	16
Acido 3,5 diclorosalicílico	0	1	0	4	Cloruro de acetilo	3	3	2	24
Acido esteárico	1	1	0	4	Cloruro de alilo	3	3	1	16
Acido paracético	3	2	4	40	Cloruro de bencilo	3	2	1	14
Acido sulfhídrico	3	4	0	21	Cloruro de etilo	2	4	0	21
Acilamida	2	1	1	14	Cloruro de isopropilo	2	4	0	21
Acilato de etilo	2	3	2	24	Cloruro metileno	2	0	0	0
Acilonitrilo	4	3	2	24	Cloruro de metilo	2	4	0	21
Acroleína	3	3	2	24	Cloruro de vinilideno	2	4	2	24
Alcohol alílico	3	3	1	16	Cloruro de vinibencilo	2	1	0	4
Alcohol butílico	1	3	0	16	Cloruro de vinilo	2	4	1	21
Alcohol etílico	0	3	0	16	Combustible Diesel	0	2	0	10
Alcohol isobutílico	1	3	0	16	Combustible para cohetes	1	3	0	16
Alcohol propargílico	3	3	3	29	c-Cresol	2	2	0	10
Alumina	3	3	1	16	Cumarina	2	1	0	4
Alil-éter	3	3	2	24	Cumeno	2	3	0	16
Amoníaco	3	1	0	4	Dibutil-éter	2	3	0	16
Anhídrido acético	2	2	1	14	Diciclopentadieno	1	3	1	16
Anhídrido maleico	3	1	1	14	c-Diclorobenceno	2	2	0	10
Azufre	2	1	0	4	c-Diclorobenceno	2	2	0	10
Benceno	2	3	0	16	1,2-Dicloroetileno	2	3	2	24
Benzaldehído	2	2	0	10	1,2-Dicloropropeno	2	3	0	16
Bisfenol A	2	1	0	4	2,3-Dicloropropeno-crudo	2	3	0	16
Bromobenceno	2	2	0	10	Dicloruro de etileno	2	3	0	16
Bromuro de butilo	2	3	0	16	Dicloruro de propileno	2	3	0	16
Bromuro de etilo	2	3	0	16	Dicromato sódico	1	0	1	14
Bromuro de propargilo	4	3	4	40	Dietanolamina	1	1	0	4
1,3-Butadieno	2	4	2	24	Dietilamina	2	3	0	16
Butano	1	4	0	21	Dietilamina triamina	3	1	0	4
1-Buteno	1	4	0	21	Dietil-benceno	2	2	0	10
n-Butilamina	2	3	0	16	Dietilenglicol	1	1	0	4
Butileno	1	4	0	21					

Compuesto	Clasificación NFPA			Factor material	Compuesto	Clasificación NFPA			Factor material
	Salud	Incendio	Reactividad			Salud	Incendio	Reactividad	
Diétil-éter	2	4	1	21	Isopropanol	1	3	0	16
Disobutileno	1	3	0	16	Isopropil-éter	2	3	1	16
Disopropilbenceno	0	2	0	10	Magnesio	0	1	2	24
Dimetilamina (anhidro)	3	4	0	21	Metano	1	4	0	21
2,2-Dimetilpropanol	2	3	0	16	Metanol	1	3	0	16
n-Dinitrobenceno	3	1	4	40	Metil-acetileno	2	4	2	24
2,4-Dinitrofenol	3	1	4	40	Metilamina	3	4	0	21
m-Dioxano	2	3	0	16	Metil-ciclohexano	2	3	0	16
Dióxido de azufre	2	0	0	0	Metil-estireno	2	2	0	10
Dióxido de cloro	3	4	3	24	Metil-éter	2	4	0	21
Dioxolano	2	3	2	24	Metil-etil-cetona	1	3	0	16
Dipropilenglicol	0	1	0	4	Metil-hidracina	3	3	1	16
Disulfuro de carbono	2	3	0	16	Metil-isobutil-cetona	2	3	0	16
Divinil-benceno	1	2	2	24	Metil-mercaptano	2	4	0	21
Divinil-éter	2	3	2	24	Monoclorobenceno	2	3	0	16
Dowtherm A	2	1	0	4	Monoetanolamina	2	2	0	10
Epiclorhidrina	3	3	2	24	Monóxido de carbono	2	4	0	21
Estearato bórico	0	1	0	4	Nafta	1	3	0	16
Estearato cálcico	0	1	0	4	Naftaleno	2	2	0	10
Estearato de cinc	0	1	0	4	Nitrato de butilo	1	3	3	29
Estireno	2	3	2	24	Nitrato de etilo	2	4	4	40
Etano	1	4	0	21	Nitroetano	1	3	3	29
2-Etanolamina	2	2	0	10	Nitroglicerina	2	2	4	40
Etilamina	3	4	0	21	Nitrometano	1	3	4	40
Etil-benceno	2	3	0	16	Nitropropano	1	2	3	29
Etilendiamina	3	2	0	10	2-Nitrotolueno	2	1	4	40
Etilenglicol	1	1	0	4	Octano	0	3	0	16
Etilenmina	3	3	2	24	Oxido de butileno	3	3	2	24
Etileno	1	4	2	24	Oxido de difenilo	1	1	0	4
Etil-propil-éter	1	3	0	16	Oxido de etileno	2	4	3	29
o-Fenilfenol	3	1	0	4	Oxido de propileno	2	4	2	24
Fenol	3	2	0	10	Pentano	1	4	0	21
Formaldehído	2	4	0	21	Perclorato potásico	1	0	2	24
Glicerna	1	1	0	4	Peróxido de acetilo	1	2	4	40
Heptano	1	3	0	16	Peróxido de bencilo	1	4	4	40
n-Hexanol	2	2	0	10	Peróxido de t-butilo	1	3	3	29
Hexano	1	3	0	16	Peróxido de di-t-butilo	1	3	4	40
Hidracina	3	3	2	24	Peróxido de dicumilo	0	2	3	29
Hidrógeno	0	4	0	21	Peróxido de dietilo	0	4	4	40
Hidroperóxido t-butilo	1	4	4	40	Peróxido de laurilo	0	2	3	29
Hidroperóxido de cumeno	1	2	4	40	Propano	1		0	21
Isobutano	1	4	0	21	Propilenglicol	0	1	0	4
Isopentano	1	4	0	21	Propileno	1	4	1	21
					Propionitrilo	4	3	1	16

Compuesto	Clasificación NFPA			Factor material
	Salud	Incendio	Reactividad	
Tolueno	2	3	0	16
1,2,3-Triclorobenceno	2	1	0	4
1,1,1-Tricloroetano	3	1	0	4
Tricloroetileno	2	1	0	4
Trietanolamina	2	1	1	14
Trietilaluminio	3	3	3	29
Trietilamina	2	3	0	16
Trietilenglicol	1	1	0	4
Trisobutilaluminio	3	3	3	29
Trisopropanol-amina	2	1	0	4
Trisopropil-benceno	2	3	0	16
Trimetilaluminio	3	3	3	29
Trimetilamina	2	4	0	21
Tnpropil-amina	2	2	0	10
Vinil-acetileno	1	4	3	29
Vinil-álil éter	2	3	3	24
Vinilciclohexano	2	3	2	24
Vinil-enil-éter	2	4	2	24
Vinil-tolueno	2	2	1	14
Xileno	2	3	0	16