

Proyectos de Ingeniería

Tema 5. Seguridad Industrial

SEGURIDAD INDUSTRIAL

1. ASPECTOS GENERALES
2. HIGIENE INDUSTRIAL
3. ANÁLISIS DE RIESGOS
4. ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS

PRINCIPALES DISPOSICIONES



- Ley 21/1992, de Industria → Aprobación del plan de seguridad
- Directiva 96/82/CE (Seveso II): Control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas

<https://www.youtube.com/watch?v=CfYVtFs4J0U>

→ **Dir. 2012/18/UE (Seveso III)**



- Real Decreto 1254/1999 → Informe de seguridad

→ **Modificado por R.D. 948/2005** → **R.D. 840/2015**



- Real Decreto 1196/2003: Directriz básica de protección civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves

→ Análisis del riesgo (4.4):

- a. Identificación de peligros de accidentes graves.
- b. Cálculo de consecuencias. Zonas de riesgo según valores umbrales.
- c. Cálculo de vulnerabilidad.
- d. Análisis cuantitativo de riesgos
- e. Relación de accidentes graves identificados.
- f. Medidas de prevención, control y mitigación.

PRINCIPALES DISPOSICIONES

Anexo I del Real Decreto 840/2015

ANEXO I

Sustancias peligrosas

A las sustancias peligrosas incluidas en las categorías de peligro enumeradas en la columna 1 de la parte 1 de este anexo se les aplicarán las cantidades umbral indicadas en las columnas 2 y 3 de la parte 1.

En caso de que una sustancia peligrosa esté incluida tanto en la parte 1 como en la parte 2 de este anexo, se aplicarán las cantidades umbral indicadas en las columnas 2 y 3 de la parte 2.

Parte 1

Categorías de sustancias peligrosas

La presente parte comprende todas las sustancias peligrosas incluidas en las categorías de peligro enumeradas en la columna 1:

Columna 1	Columna 2	Columna 3
Categorías de peligro de conformidad con el Reglamento (CE) n.º 1272/2008, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008.	Cantidades umbral (en toneladas) de las sustancias peligrosas a que se hace referencia en el artículo 3, apartado 10, a efectos de aplicación de los	Requisitos de nivel inferior
		Requisitos de nivel superior
Sección «H» – PELIGROS PARA LA SALUD		
H1 TOXICIDAD AGUDA – Categoría 1, todas las vías de exposición.	5	20
H2 TOXICIDAD AGUDA – Categoría 2, todas las vías de exposición – Categoría 3, vía de exposición por inhalación (véase la nota 7).	50	200
H3 TOXICIDAD ESPECÍFICA EN DETERMINADOS ÓRGANOS (STOT) – EXPOSICIÓN ÚNICA STOT SE Categoría 1.	50	200
Sección «P» – PELIGROS FÍSICOS		
P1a EXPLOSIVOS (véase la nota 8) – Explosivos inestables o – Explosivos de las divisiones 1.1, 1.2, 1.3, 1.5 o 1.6, o – Sustancias o mezclas que tengan propiedades explosivas de acuerdo con el método A.14 del Reglamento (CE) n.º 440/2008, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, (véase la nota 9) y no pertenezcan a las clases de peligro «peróxidos orgánicos» o «sustancias o mezclas que reaccionan espontáneamente».	10	50
P1b EXPLOSIVOS (véase la nota 8) Explosivos de la división 1.4 (véase la nota 10).	50	200
P2 GASES INFLAMABLES Gases inflamables de las categorías 1 ó 2.	10	50
P3a AEROSOLES INFLAMABLES Aerosoles «inflamables» de las categorías 1 ó 2, que contengan gases inflamables de las categorías 1 ó 2 o líquidos inflamables de la categoría 1.	150 (neto)	500 (neto)
P3b AEROSOLES INFLAMABLES Aerosoles «inflamables» de las categorías 1 ó 2, que no contengan gases inflamables de las categorías 1 ó 2 o líquidos inflamables de la categoría 1.	5.000 (neto)	50.000 (neto)

cve: BOE-A-2015-11268
Verificable en <http://www.boe.es>

Columna 1	Columna 2	Columna 3
Categorías de peligro de conformidad con el Reglamento (CE) n.º 1272/2008, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008.	Cantidades umbral (en toneladas) de las sustancias peligrosas a que se hace referencia en el artículo 3, apartado 10, a efectos de aplicación de los	Requisitos de nivel inferior
		Requisitos de nivel superior
Sección «E» – PELIGROS PARA EL MEDIOAMBIENTE		
P4 GASES COMBURENTES Gases comburentes de la categoría 1.	50	200
P5a LÍQUIDOS INFLAMABLES – Líquidos inflamables de la categoría 1, o – Líquidos inflamables de las categorías 2 ó 3 mantenidos a una temperatura superior a su punto de ebullición, u – Otros líquidos con un punto de inflamación ≤ 60 °C, mantenidos a una temperatura superior a su punto de ebullición (véase la nota 11).	10	50
P5b LÍQUIDOS INFLAMABLES – Líquidos inflamables de las categorías 2 ó 3 cuando las condiciones particulares de proceso, por ejemplo presión o temperatura elevadas, puedan crear peligros de accidentes graves, o – Otros líquidos con un punto de inflamación ≤ 60 °C cuando las condiciones particulares de proceso, por ejemplo presión o temperatura elevadas, puedan crear peligros de accidentes graves (véase la nota 11).	50	200
P5c LÍQUIDOS INFLAMABLES Líquidos inflamables de las categorías 2 ó 3 no comprendidos en P5a y P5b.	5.000	50.000
P6a SUSTANCIAS Y MEZCLAS QUE REACCIONAN ESPONTÁNEAMENTE y PERÓXIDOS ORGÁNICOS Sustancias y mezclas que reaccionan espontáneamente de los tipos A ó B o peróxidos orgánicos de los tipos A ó B.	10	50
P6b SUSTANCIAS Y MEZCLAS QUE REACCIONAN ESPONTÁNEAMENTE y PERÓXIDOS ORGÁNICOS Sustancias y mezclas que reaccionan espontáneamente de los tipos C, D, E ó F o peróxidos orgánicos de los tipos C, D, E, ó F.	50	200
P7 LÍQUIDOS Y SÓLIDOS PIROFÓRICOS Líquidos pirofóricos de la categoría 1 Sólidos pirofóricos de la categoría 1.	50	200
P8 LÍQUIDOS Y SÓLIDOS COMBURENTES Líquidos comburentes de las categorías 1, 2 ó 3, o Sólidos comburentes de las categorías 1, 2 ó 3.	50	200
Sección «O» – OTROS PELIGROS		
O1 Sustancias o mezclas con indicación de peligro EUH014.	100	500
O2 Sustancias y mezclas que, en contacto con el agua, desprenden gases inflamables de categoría 1.	100	500
O3 Sustancias o mezclas con indicación de peligro EUH029.	50	200

cve: BOE-A-2015-11268
Verificable en <http://www.boe.es>

PRINCIPALES DISPOSICIONES

Anexo I del Real Decreto 840/2015

Parte 2

Sustancias peligrosas nominadas

Columna 1	Número CAS (*)	Columna 2	Columna 3
Sustancias peligrosas		Cantidades umbral (toneladas) a efectos de la aplicación de los	
		Requisitos de nivel inferior	Requisitos de nivel superior
1. Nitrato de amonio (véase la nota 12)	--	5.000	10.000
2. Nitrato de amonio (véase la nota 13)	--	1.250	5.000
3. Nitrato de amonio (véase la nota 14)	--	350	2.500
4. Nitrato de amonio (véase la nota 15)	--	10	50
5. Nitrato de potasio (véase la nota 16)	--	5.000	10.000
6. Nitrato de potasio (véase la nota 17)	--	1.250	5.000
7. Pentaóxido de diarsénico, ácido arsénico (V) y/o sales	1303-28-2	1	2
8. Trióxido de arsénico, ácido arsenioso (III) y/o sales	1327-53-3		0,1
9. Bromo	7726-95-6	20	100
10. Cloro	7782-50-5	10	25
11. Compuestos de níquel en forma pulverulenta inhalable: monóxido de níquel, dióxido de níquel, sulfuro de níquel, disulfuro de triníquel, trióxido de diníquel	--		1
12. Etilenimina	151-56-4	10	20
13. Flúor	7782-41-4	10	20
14. Formaldehído (concentración ≥ 90 %)	50-00-0	5	50
15. Hidrógeno	1333-74-0	5	50
16. Ácido clorhídrico (gas licuado)	7647-01-0	25	250
17. Derivados de alquilplomo	--	5	50
18. Gases inflamables licuados de las categorías 1 ó 2 (incluido el GLP) y gas natural (véase la nota 18)	--	50	200
19. Acetileno	74-86-2	5	50
20. Óxido de etileno	75-21-8	5	50
21. Óxido de propileno	75-56-9	5	50
22. Metanol	67-56-1	500	5.000
23. 4,4'-metilén-bis (2-cloroanilina) y/o sus sales en forma pulverulenta	101-14-4		0,01
24. Isocianato de metilo	624-93-9		0,15
25. Oxígeno	7782-44-7	200	2.000
26. 2,4-diisocianato de tolueno 2,6-diisocianato de tolueno	584-84-9 91-08-7	10	100
27. Dicloruro de carbonilo (fosgeno)	75-44-5	0,3	0,75
28. Arsina (trihidruro de arsénico)	7784-42-1	0,2	1
29. Fosfina (trihidruro de fósforo)	7803-51-2	0,2	1
30. Dicloruro de azufre	10545-99-0		1
31. Trióxido de azufre	7448-11-9	15	75
32. Policlorodibenzofuranos y policlorodibenzodioxinas (incluida la TCDD) calculadas en equivalente de TCDD (véase la nota 20)	--		0,001

Columna 1	Número CAS (*)	Columna 2	Columna 3
Sustancias peligrosas		Cantidades umbral (toneladas) a efectos de la aplicación de los	
		Requisitos de nivel inferior	Requisitos de nivel superior
33. Los siguientes CARCINÓGENOS o las mezclas que contengan los siguientes carcinógenos en concentraciones superiores al 5 % en peso: 4-aminodifenilo y/o sus sales, triclorobenceno, bencidina y/o sus sales, éter bis (clorometílico), éter clorometílico y metílico, 1,2-dibromoetano, sulfato de dietilo, sulfato de dimetilo, cloruro de dimetil- carbamoilo, 1,2-dibromo-3-cloropropano, 1,2-dimetilhidracina, dimetilnitrosamina, triamida hexametilfosfórica, hidracina, 2-naftilamina y/o sus sales, 4-nitrodifenil o 1,3 propanosulfona	--	0,5	2
34. Productos derivados del petróleo y combustibles alternativos a) gasolinas y naftas b) querosenos (incluidos carburorreductores) c) gasóleos (incluidos los gasóleos de automoción, los de calefacción y los componentes usados en las mezclas de gasóleos comerciales) d) fuelóleos pesados e) combustibles alternativos a los productos mencionados en las letras a) a d) destinados a los mismos fines y con propiedades similares en lo relativo a la inflamabilidad y los peligros medioambientales	--	2.500	25.000
35. Amoníaco anhidro	7664-41-7	50	200
36. Trifluoruro de boro	7637-07-2	5	20
37. Sulfuro de hidrógeno	7783-06-4	5	20
38. Piperidina	110-99-4	50	200
39. Bis(2-dimetilaminoetil) (metil)amina	3030-47-5	50	200
40. 3-(2-etilhexiloxi)propilamina	5397-31-9	50	200
41. Mezclas(*) de hipoclorito de sodio clasificadas como peligrosas para el medio ambiente acuático en la categoría 1 de peligro agudo[H400] que contengan menos de un 5 % de cloro activo y no estén clasificadas en ninguna otra categoría de peligro en la parte 1 del anexo I. (*) Siempre que la mezcla, en ausencia de hipoclorito de sodio, no esté clasificada como peligrosa para el medio ambiente acuático en la categoría 1 de peligro agudo [H400].		200	500
42. Propilamina (véase la nota 20)	107-10-8	500	2.000
43. Acrilato de terc-butilo (véase la nota 21)	1663-39-4	200	500
44. 2-metil-3-butenonitrilo (véase la nota 21)	16529-56-9	500	2.000
45. Tetrahidro-3,5-dimetil-1,3,5-tiadiazina-2-tiona (dazomet) (véase la nota 21)	533-74-4	100	200
46. Acrilato de metilo (véase la nota 20)	96-33-3	500	2.000
47. 3-metilpiperidina (véase la nota 21)	108-99-6	500	2.000
48. 1-bromo-3-cloropropano (véase la nota 20)	109-70-8	500	2.000

(*) El número CAS se muestra solo a título indicativo.

TERMINOLOGÍA BÁSICA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

- **PELIGRO:** Todo aquello que puede producir un daño o deterioro de la calidad de vida individual o colectiva de las personas.
- **DAÑO:** Es la consecuencia producida por un peligro sobre la calidad de vida individual o colectiva de las personas
- **RIESGO:** Posibilidad de que un trabajador sufra un determinado daño derivado del trabajo.
- **PREVENCIÓN:** Conjunto de actividades o medidas adoptadas o previstas en todas las fases de la actividad de la empresa con el fin de evitar o disminuir los riesgos derivados del trabajo.
- **PROTECCIÓN:** Técnica de actuación sobre las consecuencias perjudiciales que un peligro puede producir sobre un individuo, colectividad, o su entorno, provocando daños.

TERMINOLOGÍA BÁSICA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

CONDICIONES DE TRABAJO: Conjunto de factores o variables, relativos tanto al contenido de la tarea como a la organización del trabajo, que están presentes en una situación laboral y que pueden afectar a la salud del trabajador.

Quedan específicamente incluidas en esta definición:

- a) Las características generales de los locales, instalaciones, equipos, productos y demás útiles existentes en el centro de trabajo.
- b) La naturaleza de los agentes físicos, químicos y biológicos presentes en el ambiente de trabajo y sus correspondientes intensidades, concentraciones o niveles de presencia.
- c) Los procedimientos para la utilización de los agentes citados anteriormente que influyan en la generación de los riesgos mencionados.

SEGURIDAD INDUSTRIAL

Proceso de mejora mediante mecanismos científicos y técnicos que preservan el funcionamiento correcto, libre de todo peligro, daño o riesgo, de los procedimientos fabriles y de las actividades humanas relacionadas.

Ley 21/1992, de Industria: La seguridad industrial tiene por objeto la prevención y limitación de riesgos, así como la protección contra accidentes y siniestros capaces de producir daños o perjuicios a las personas, flora, fauna, bienes o al medio ambiente, derivados de la actividad industrial o de la utilización, funcionamiento y mantenimiento de las instalaciones o equipos y de la producción, uso o consumo, almacenamiento o desecho de los productos industriales.

Técnicas Específicas de PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES:

1. **Seguridad en el trabajo:** Eliminar o disminuir el riesgo de que se produzca un accidente
2. **Higiene Industrial:** Previene la aparición de enfermedades profesionales estudiando y modificando el medio ambiente físico, químico o biológico del trabajo.
3. **Medicina del Trabajo:** Promoción de la salud, el tratamiento de enfermedades y las rehabilitaciones.
4. **Psicosociología:** Estudio de los factores de naturaleza psicosocial y organizativa existentes en el trabajo.
5. **Ergonomía:** Adecuación del trabajo a la persona.

HIGIENE INDUSTRIAL: Se define como una técnica no médica de prevención de las enfermedades profesionales, mediante el control en el medio ambiente de trabajo de los contaminantes que las producen.

- La higiene industrial se ocupa de las relaciones y efectos que produce sobre el trabajador el contaminante existente en el lugar de trabajo.
- Según la **American Industrial Hygienist Association (A.I.H.A.)**, Higiene Industrial es la “**Ciencia y arte dedicados al reconocimiento, evaluación y control de aquellos factores ambientales o tensiones emanados o provocados por el lugar de trabajo y que pueden ocasionar enfermedades, destruir la salud y el bienestar o crear algún malestar significativo entre los trabajadores o los ciudadanos de una comunidad**”.

OBJETIVOS DE LA HIGIENE INDUSTRIAL

1. Impedir que se produzcan contaminantes
2. Impedir que los contaminantes alcancen al trabajador
3. Conseguir que al trabajador le lleguen dosis mínimas del contaminante
4. Proteger al trabajador de los contaminantes que le alcanzan

Considerar estos objetivos EN FORMA JERARQUIZADA Y NUNCA COMO ALTERNATIVAS

SECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO:

1. **IDENTIFICAR** los diferentes agentes de riesgo
2. **MEDICIÓN** de la exposición al agente y aportación de datos complementarios que se precisen.
3. **VALORACIÓN** del riesgo de exposición, comparando las dosis de exposición con valores de referencia según criterios establecidos.
4. **CORRECCIÓN** de la situación.
5. **CONTROLES PERIÓDICOS** de la eficacia de las medidas preventivas adoptadas

CLASIFICACIÓN AGENTES CONTAMINANTES :

PUNTO VISTA HIGIENE INDUSTRIAL

TRES GRANDES GRUPOS

CONTAMINANTES QUÍMICOS: Corresponden a los diferentes productos químicos comercializados

CONTAMINANTES FÍSICOS: Corresponden a diferentes tipos de energía o manifestación de energía.

CONTAMINANTES BIOLÓGICOS: Corresponden a agentes vivos que contaminan el medio ambiente y pueden dar lugar a enfermedades infecciosas o parasitarias, alergias o toxicidad.

CONTAMINANTES QUÍMICOS

SOLIDOS

LIQUIDOS

GASEOSOS

POLVO

HUMO

HUMO
METÁLICO

NIEBLA

BRUMA

SMOG

GAS

VAPOR

CLASIFICACIÓN POR PROPIEDADES TOXICOLÓGICAS:



Muy Tóxicos



Tóxicos



Nocivos



Corrosivos



Irritantes



Sensibilizantes

CLASIFICACIÓN POR CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS:



EXPLOSIVOS



COMBURENTES: En contacto con otras sustancias desprenden calor



EXTREMADAMENTE INFLAMABLES



FACILMENTE INFLAMABLES



INFLAMABLES

1. TERMINOLOGÍA BÁSICA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

ACCIDENTE GRAVE (R.D. 840/2015)

Cualquier suceso, como una emisión en forma de fuga o vertido, un incendio o una explosión importante, que resulte de un proceso no controlado durante el funcionamiento de cualquier establecimiento al que sea de aplicación este real decreto, que suponga un riesgo grave, inmediato o diferido, para la salud humana, los bienes, o el medio ambiente, dentro o fuera del establecimiento y en el que intervengan una o varias sustancias peligrosas. Se clasifican en las categorías siguientes:

- **Categoría 1:** aquellos para los que se prevea, como única consecuencia, daños materiales en el establecimiento accidentado y no se prevean daños de ningún tipo en el exterior de éste.
- **Categoría 2:** aquellos para los que se prevea, como consecuencias, posibles víctimas y daños materiales en el establecimiento; mientras que las repercusiones exteriores se limitan a daños leves o efectos adversos sobre el medio ambiente en zonas limitadas.
- **Categoría 3:** aquellos para los que se prevea, como consecuencias, posibles víctimas, daños materiales graves o alteraciones graves del medio ambiente en zonas extensas y en el exterior del establecimiento.

ASPECTOS GENERALES

NIVELES DE RIESGO

		Consecuencias		
		Ligeramente Dañino LD	Dañino D	Extremadamente Dañino ED
Probabilidad	Baja B	Riesgo trivial T	Riesgo tolerable TO	Riesgo moderado MO
	Media M	Riesgo torelable TO	Riesgo moderado MO	Riesgo importante I
	Alta A	Riesgo moderado MO	Riesgo importante I	Riesgo intolerable IN

ASPECTOS GENERALES

Riesgo	Acción y temporización
Trivial (T)	No se requiere acción específica.
Tolerable (TO)	No se necesita mejorar la acción preventiva. Sin embargo se deben considerar soluciones más rentables o mejoras que no supongan una carga económica importante. Se requieren comprobaciones periódicas para asegurar que se mantiene la eficacia de las medidas de control.
Moderado (M)	Se deben hacer esfuerzos para reducir el riesgo, determinando las inversiones precisas. Las medidas para reducir el riesgo deben implantarse en un período determinado. Cuando el riesgo moderado esta asociado con consecuencias extremadamente dañinas, se precisará una acción posterior para establecer, con más precisión, la probabilidad de daño como base para determinar la necesidad de mejora de las medidas de control.
Importante (I)	No debe comenzarse el trabajo hasta que se haya reducido el riesgo. Puede que se precisen recursos considerables para controlar el riesgo. Cuando el riesgo corresponda a un trabajo que se está realizando, debe remediarse el problema en un tiempo inferior al de los riesgos moderados.
Intolerable (IN)	No debe comenzar ni continuar el trabajo hasta que se reduzca el riesgo. Si no es posible reducir el riesgo, incluso con recursos ilimitados, debe prohibirse el trabajo.

TIPOS DE ACCIDENTES

ACCIDENTES QUÍMICOS

- Emisiones o fugas: escapes (gases o vapores) y derrames (líquidos).
- Intoxicación.
- Corrosión a personas.

ACCIDENTES TÉRMICOS:

- Incendios.
- Quemaduras por conducción (contacto), convección o radiación.

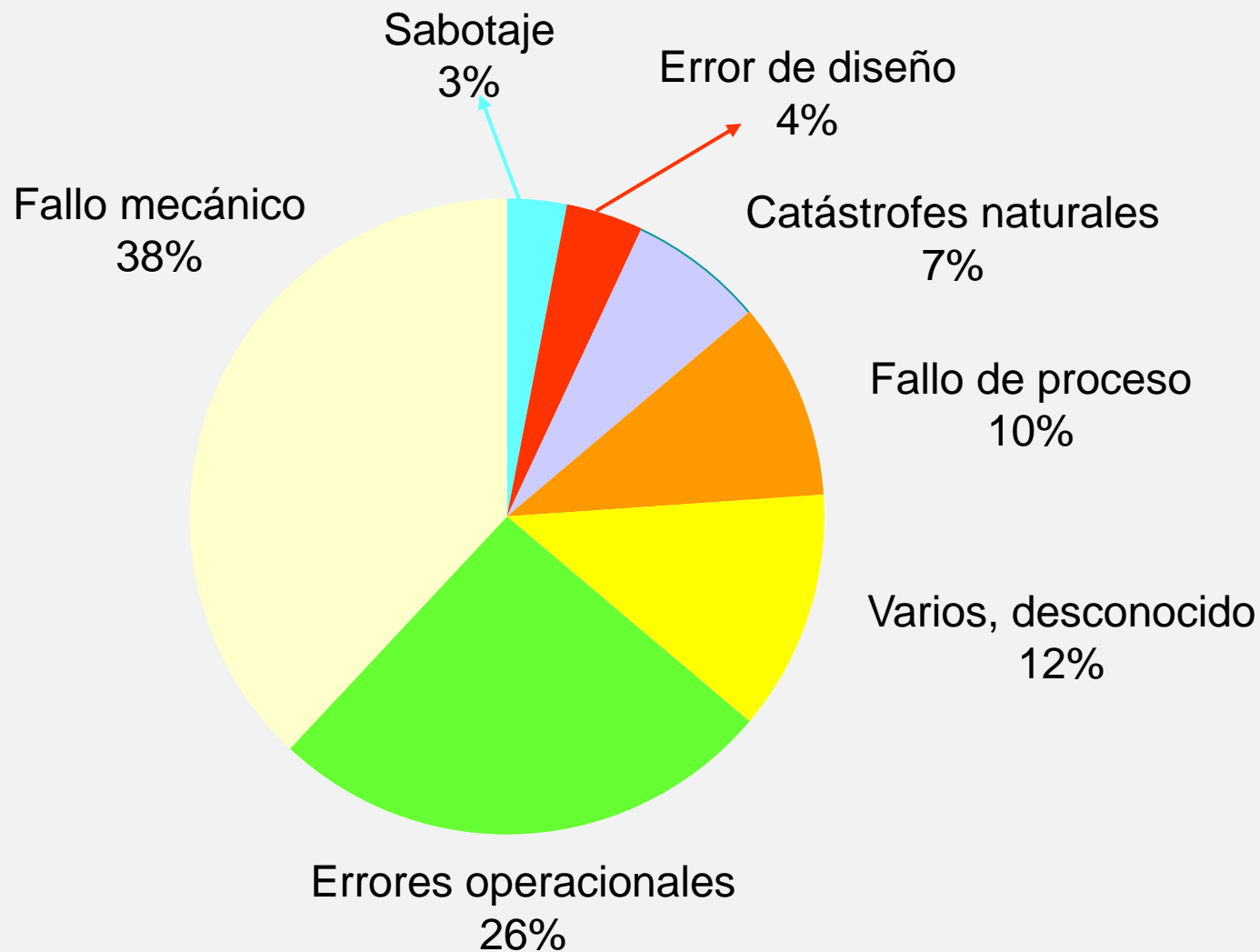
ACCIDENTES MECÁNICOS:

- Explosiones: onda de sobrepresión y proyectiles.
- Caída de objetos.
- Golpes y caídas personales.

ACCIDENTES ELÉCTRICOS:

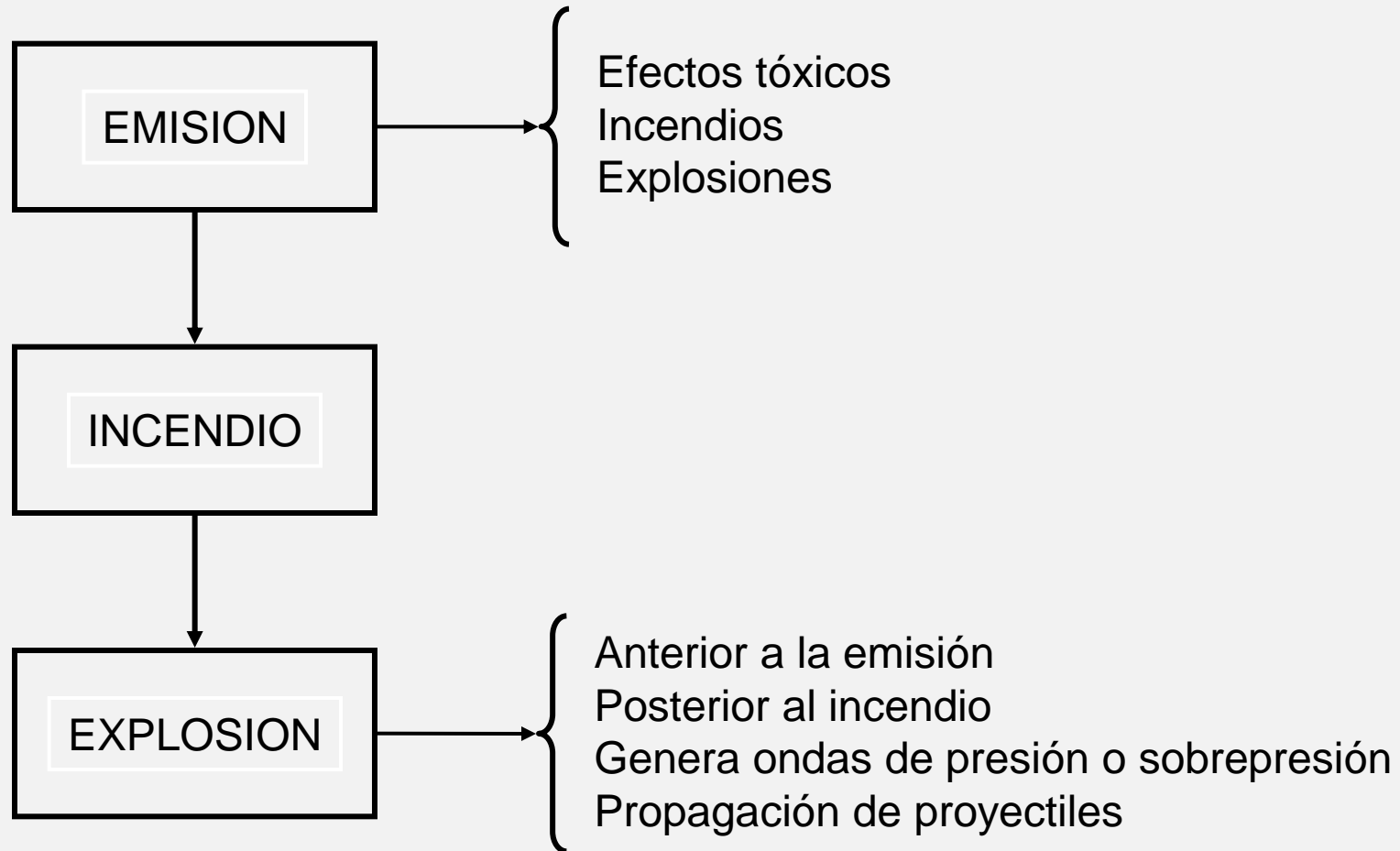
- Iniciadores de fuego y explosión.
- Electrocutación.

CAUSAS DE ACCIDENTES



SECUENCIA DE ACCIDENTES

Puede producirse total o parcialmente



TIPOLOGÍA DE ACCIDENTES. FUGAS

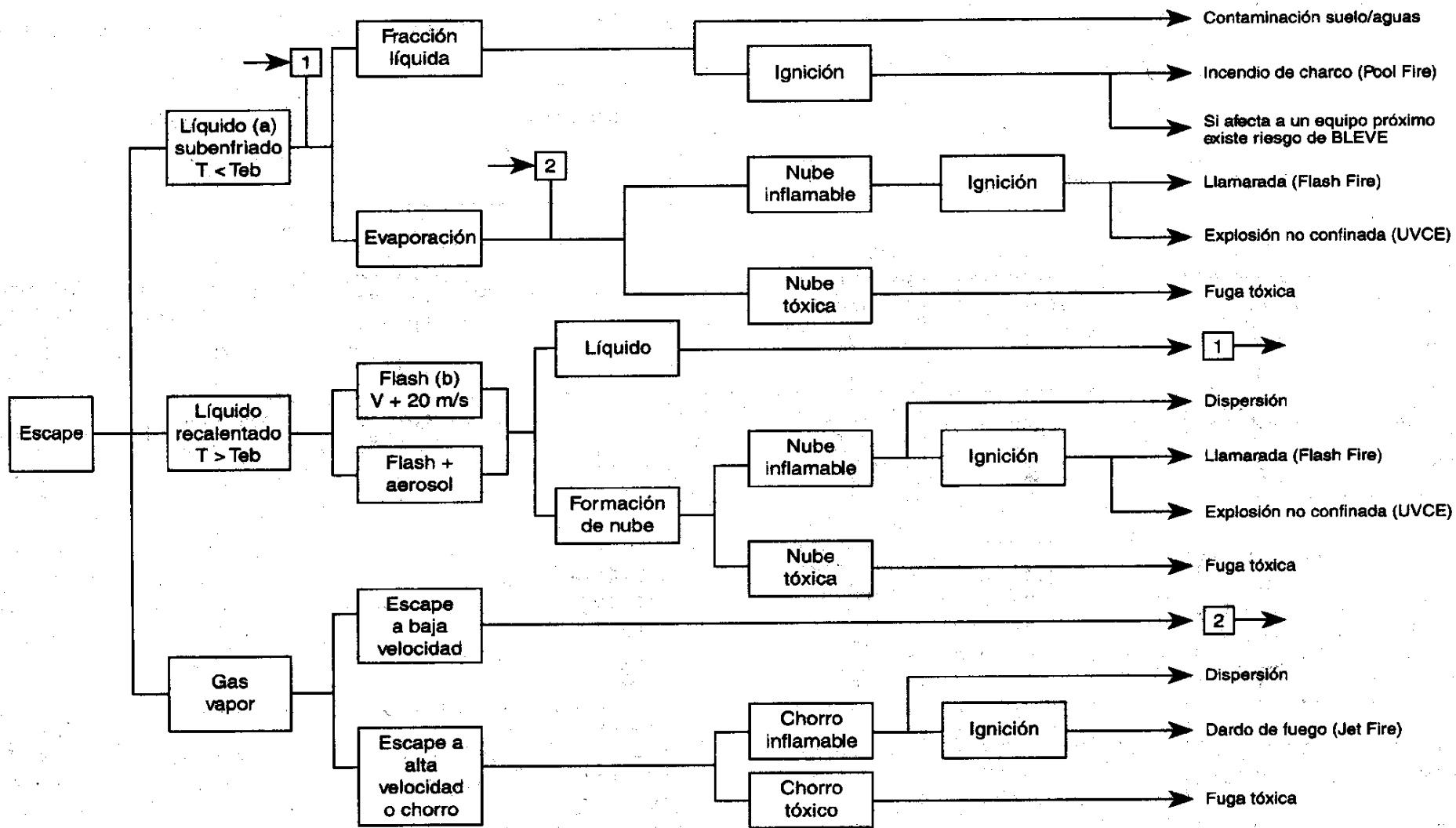
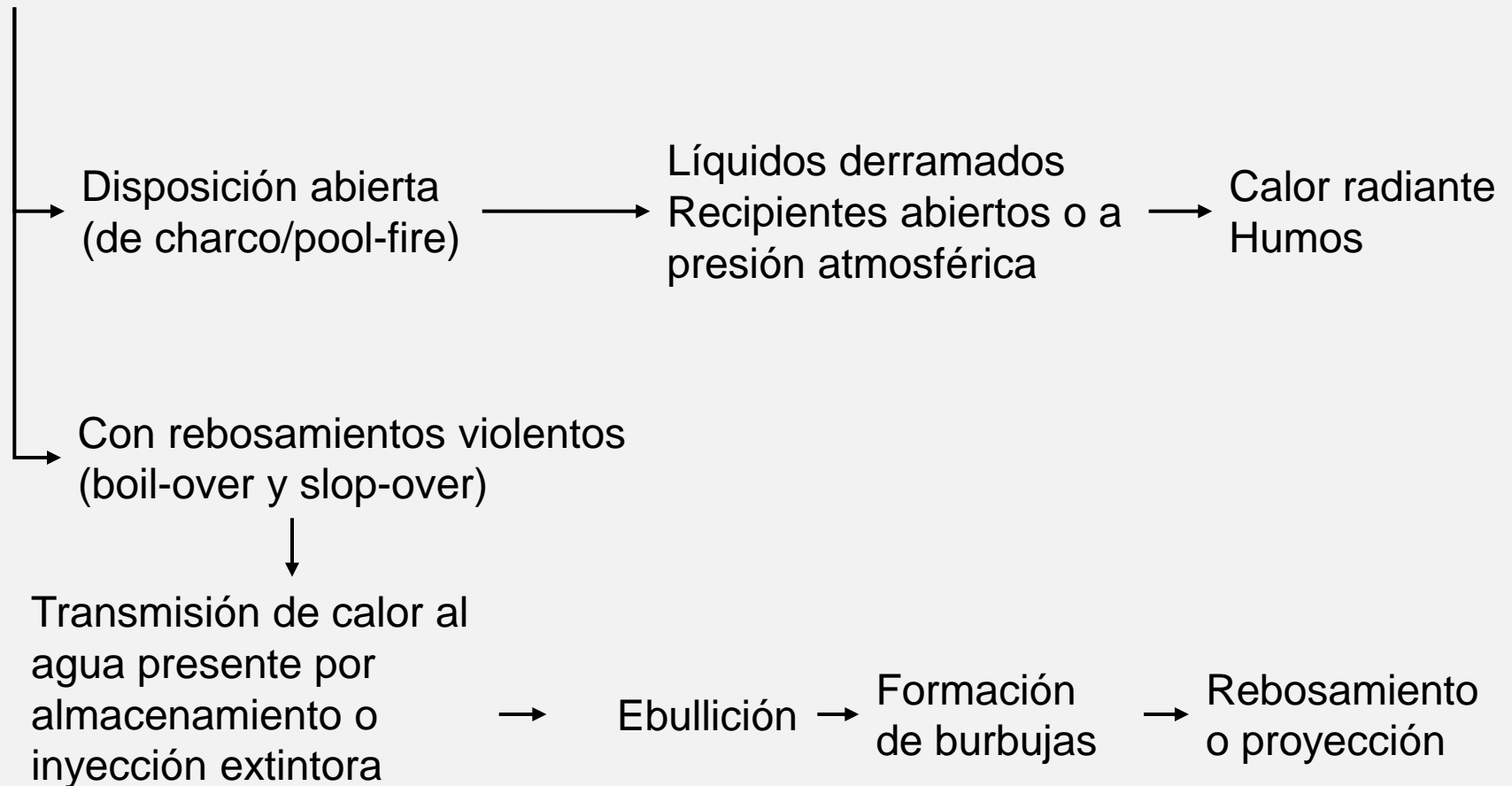


Figura tomada de J. M. Storch de Gracia, 1998

TIPOLOGÍA DE ACCIDENTES. INCENDIOS

1. LÍQUIDOS



TIPOLOGÍA DE ACCIDENTES. INCENDIOS

2. GASES O VAPORES

Nube abierta
(bola de fuego/fireball)

Radiación térmica muy intensa y de corta duración originada en una llama muy voluminosa.
Evolución a forma de hongo.
Sobrepresión no significativa

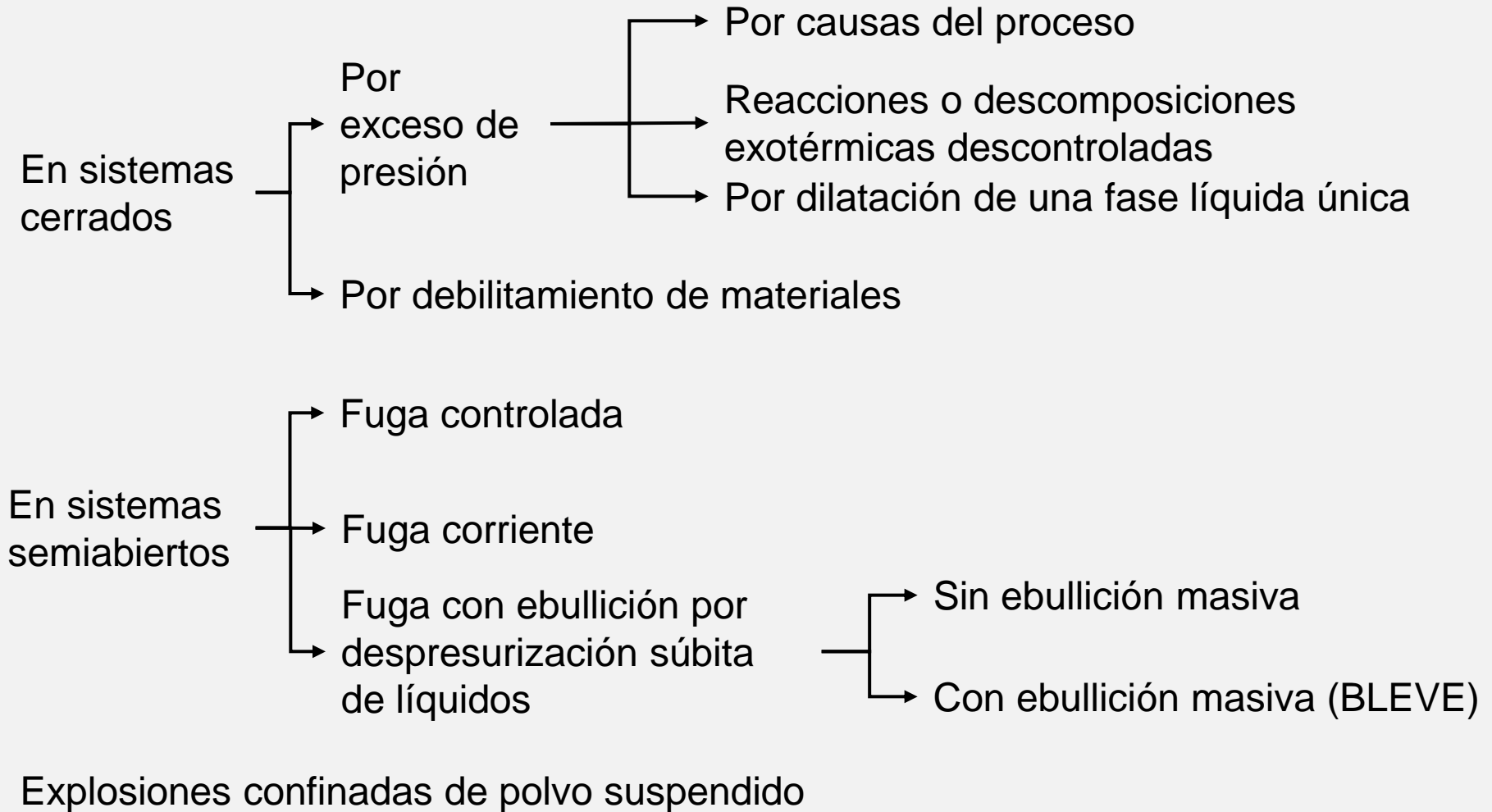


En fuga local presurizada
(dardo/jet-fire)

Peligro relativamente bajo.
Puede afectar a equipos colindantes.

TIPOLOGÍA DE ACCIDENTES. EXPLOSIONES

1. EXPLOSIONES INICIADORAS DE FUGAS



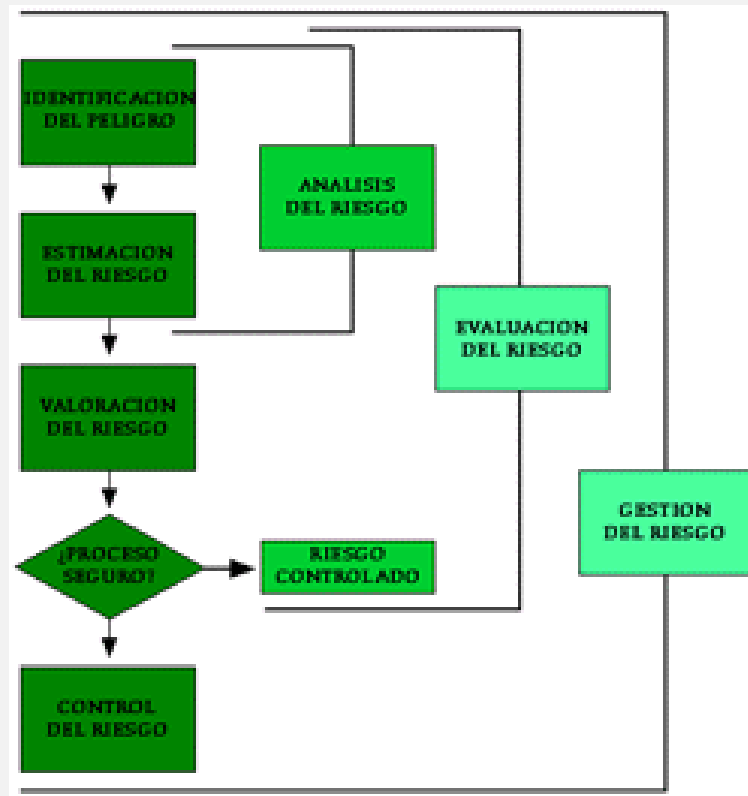
TIPOLOGÍA DE ACCIDENTES. EXPLOSIONES

2. EXPLOSIONES CONSECUENCIA DE FUGAS

- Ignición diferida de gases y vapores no confinados
- Ignición diferida de polvos y Nieblas no confinados

3. EXPLOSIONES CONSECUENCIA DE INCENDIOS

4. EXPLOSIONES CONSECUENCIA DE OTRAS EXPLOSIONES



Análisis de riesgos

OBJETIVOS DEL ANÁLISIS DE RIESGOS

- Identificar y medir los riesgos que representa una instalación industrial para las personas, el medio ambiente y los bienes materiales.
- Deducir los posibles accidentes graves que pudieran producirse.
- Determinar las consecuencias.
- Analizar las causas de dichos accidentes.
- Determinar la aceptabilidad o no de las instalaciones y operaciones.
- Definir medidas y procedimientos de prevención y protección para evitar y/o limitar las consecuencias de los accidentes.
- Cumplir los requisitos legales: Real Decreto 840/2015.

OBLIGACIÓN LEGAL

La identificación y evaluación de riesgos se recoge como obligatoria en el R. D. 840/2015 (BOE 21 de septiembre de 2015) por el que se aprueban las medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

Artículo 10º. Informe de seguridad.

b. Demostrar que se han identificado y evaluado los riesgos de accidentes, con especial rigor en los casos en los que éstos puedan generar consecuencias graves, y que se han tomado las medidas necesarias para prevenirlos y para limitar sus consecuencias sobre la salud humana, el medio ambiente y los bienes.

OBLIGACIÓN LEGAL

ANEXO II

INFORMACIÓN CONTEMPLADA EN EL ARTÍCULO 8, APARTADO 6, Y EN EL ARTÍCULO 10, APARTADO 1 A), RELATIVA AL SISTEMA DE GESTIÓN DE LA SEGURIDAD Y A LA ORGANIZACIÓN DEL ESTABLECIMIENTO CON MIRAS A LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES GRAVES

b. El sistema de gestión de seguridad contemplará los siguientes elementos:

- i. Organización y personal.
- ii. **La identificación y la evaluación de los riesgos de accidentes graves: la adopción y la aplicación sistemática de procedimientos para la identificación de los riesgos de accidente grave que se puedan producir en caso de funcionamiento normal o anormal, incluidas, cuando proceda, las actividades subcontratadas, así como la evaluación de su probabilidad y su gravedad.**
- iii. Control de la explotación.
- iv. Adaptación de las modificaciones.
- v. Planificación ante situaciones de emergencia.
- vi. Seguimiento de los objetivos fijados.
- vii. Auditoría y revisión.

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE RIESGOS

MÉTODOS
CUALITATIVOS

Identificar

Riesgos.

Efectos: incidentes y accidentes.

Causas: orígenes y fuentes de los riesgos

MÉTODOS
SEMICUANTITATIVOS

Comparar

Plantas existentes.

Situaciones antes y después de modificaciones.

Procesos diferentes.

Alternativas de diseño en un mismo proceso.

MÉTODOS
CUANTITATIVOS

Establecer la probabilidad de sucesos complejos (siniestros) a partir de los valores individuales de la probabilidad de fallo que corresponde a los elementos (equipo y humanos) implicados en los procesos.

MÉTODOS CUALITATIVOS

- Análisis histórico de riesgos
- Análisis preliminar de riesgos
- Listas de comprobación
- Análisis ¿Qué pasa si...?
- Análisis de los modos de fallos y sus efectos
- **Análisis funcional de operabilidad (HAZOP)**
- **Árboles de fallos** (puede ser también cuantitativo)
- Árboles de sucesos

ANÁLISIS HISTÓRICO DE RIESGOS

Estudio de accidentes producidos en instalaciones similares o asimilables a la de estudio. Desventaja: El establecimiento de situaciones de riesgo se basa en casos reales, pero en las fuentes de documentación no se cubren todos los casos posibles, sólo los producidos.

ETAPAS:

- Obtención de información.
- Estudio técnico de cada accidente para detectar puntos críticos (estadística)
- Adopción de medidas que neutralicen los riesgos.

TIPOS DE INFORMACIÓN:

- Bibliografía especializada.
- Bancos de datos
- Registro de accidentes de la propia empresa
- Informes de otros accidentes producidos

ANÁLISIS HISTÓRICO DE RIESGOS

Denominación banco de datos	Período y número de casos registrados	Accidentes	Procedencia de los datos	Observaciones
OSIRIS-1	3.000 (1970-1990)	Sustancias peligrosas. Transporte de mercancías peligrosas	General	País: Italia Idioma: Inglés
OSIRIS-2	2.500 (1977-1992)	Hidrocarburos	Oil Spill Intelligence Report, recopila todos los casos ocurridos en el mundo	País: Italia Actualizado cada año
MHIDAS	5.330 De forma continua desde 1985. Datos desde 1966 y algunos antes de esta fecha	Sustancias peligrosas: almacenamientos, transporte y proceso, principalmente instalaciones químicas y petroquímicas	Fuentes públicas generales	País: Reino Unido Idioma: inglés
FACTS	15.000 Creado en 1980, contiene datos desde 1930. La mayoría en el periodo 1960-1993	Sustancias peligrosas: almacenamientos, transporte, carga/descarga y uso	Fuentes públicas generales, informes técnicos de compañías privadas y organismos estatales	País: Holanda Idioma: inglés
WOAD	Desde 1983 Recoge datos del banco Det Norske Veritas desde 1975	Accidentes en plataformas petrolíferas	General	País: Noruega
SONATA	2.500 La mayoría es del periodo 1960-1980. Resto entre 1930-1960	Sustancias peligrosas: almacenamientos, transporte, carga/descarga y uso	Fuentes públicas	País: Italia No se actualiza Idioma: inglés

ANÁLISIS PRELIMINAR DE RIESGOS

ETAPAS:

- Detectar elementos de instalaciones/operaciones con sospecha de originar riesgo y accidentes.
- Proponer medidas que aumenten fiabilidad de dichos elementos, con la correspondiente reducción del riesgo asociado
- Proponer medidas para mitigar efectos.

TIPOS DE INFORMACIÓN:

- Ingeniería química y de materiales
- Descripción del proceso y equipos
- Vulnerabilidad del entorno

Similar al método AHR aunque no hace uso de informes sobre accidentes porque solo contempla el desarrollo y el proyecto de procesos y equipo nuevos (sin antecedentes)

Descripción del riesgo	Causa	Consecuencia	Medidas preventivas o correctivas
Fuga tóxica	1) Pérdida en depósito de almacenamiento	Peligro de muerte si la fuga es importante	a) Colocar sistemas de detección y alerta b) Minimizar la cantidad almacenada c) Desarrollar un procedimiento de inspección de los depósitos

LISTAS DE COMPROBACIÓN

El objetivo es:

- Comprobar cumplimiento de reglamentos y normas: aspectos técnicos y de seguridad
- Comprobar las especificaciones básicas de proceso y equipo a lo largo del desarrollo del proceso.

TIPOS DE INFORMACIÓN:

General sobre proceso y equipos para tener una idea de conjunto.

Es un método de estructura lineal con lista de cuestiones concretas , relativas a los aspectos de proceso y de riesgo, que cabe plantear para todas las etapas de un proyecto, de la operación de la planta, paradas, etc.

Suele ser la base para otros métodos de identificación de riesgos de mayor alcance.

ANÁLISIS ¿QUÉ PASA SI...?

Detección y análisis cualitativo de las desviaciones, respecto al comportamiento normal previsto, del proceso y sus variables, dando lugar a sucesos indeseables. Se analizan sus consecuencias y las medidas para eliminar o reducir el riesgo.

Se puede aplicar a cualquier instalación o área o proceso: instrumentación de un equipo, seguridad eléctrica, protección contra incendios, almacenamientos, sustancias peligrosas, etc. Las preguntas se formulan y aplican tanto a proyectos como a plantas en operación, siendo muy común ante cambios en instalaciones ya existentes.

¿Qué pasaría si ...?	Consecuencia	Recomendaciones
¿... se suministra un producto de mala calidad?	No identificada	--
¿... la concentración de fosfórico es incorrecta?	No se consume todo el amoníaco y hay una fuga en la zona de reacción	Verificar la concentración de fosfórico antes de la operación
¿... el fosfórico está contaminado?	No identificada	--
¿... no llega fosfórico al reactor?	El amoníaco no reacciona. Fuga en la zona de reacción	Alarma/corte del amoníaco por señal de falta de flujo en la línea de fosfórico al reactor
¿... demasiado amoníaco en el reactor?	Exceso de amoníaco. Fuga en la zona de reacción	Alarma/corte del amoníaco por señal de falta de flujo en la línea de fosfórico al reactor

ANÁLISIS DE LOS MODOS DE FALLOS Y SUS EFECTOS

Consiste en la elaboración de tablas o listas con los posibles fallos de componentes individuales, los modos de fallo, la detección y los efectos de cada fallo.

Los fallos que se pueden considerar son típicamente situaciones de anormalidad tales como:

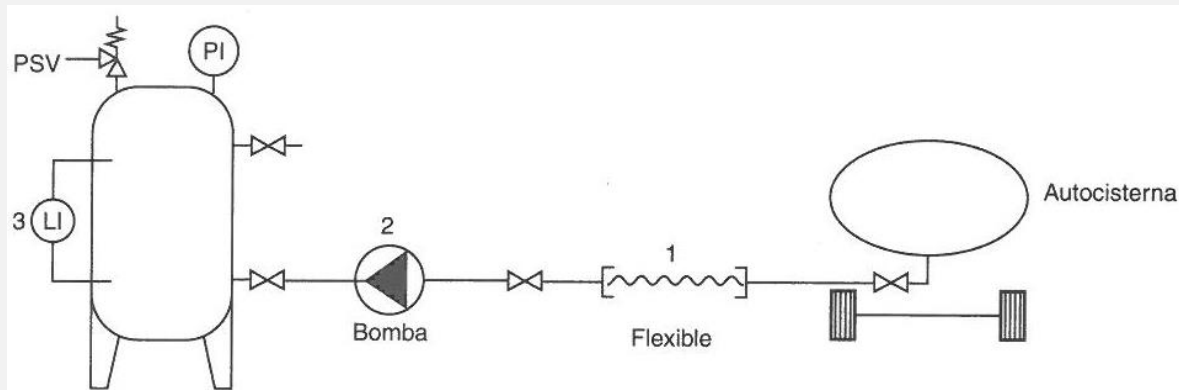
- Abierto, cuando normalmente debería estar cerrado
- Cerrado, cuando normalmente debería estar abierto
- Marcha, cuando normalmente debería estar parado
- Fugas, cuando normalmente deba ser estanco

Establece finalmente qué fallos individuales pueden afectar directamente o contribuir de una forma destacada al desarrollo de accidentes de una cierta importancia en la planta.

Es un método válido en las etapas de diseño, construcción y operación y se usa habitualmente como fase previa a la elaboración de árboles de fallos, ya que permite un buen conocimiento del sistema. Con ciertas limitaciones se puede usar como método alternativo al HAZOP.

ANÁLISIS DE LOS MODOS DE FALLOS Y SUS EFECTOS

Fecha:			Página: De:		
Planta:			Analista:		
Sistema:			Referencia:		
Identificación del elemento	Designación	Modo de fallo	Detección	Efectos	Índice de gravedad
1	Manguera flexible	Agujereada Taponada-aplastada Tipo equivocado	Visual Visual Visual (marcas)	Derrame ¿incendio? Falta o reducción de caudal Corrosión, rotura o contaminación	4 2 3



ANÁLISIS FUNCIONAL DE OPERATIVIDAD (AFO)

Del inglés: Hazard and operability (HAZOP)

Se basa en que los riesgos, accidentes o problemas de operación se producen como consecuencia de una desviación de las variables de proceso respecto a los valores normales en un sistema y etapa dados.

El HAZOP cubre seguridad, medio ambiente, operaciones y mantenimiento.

La técnica consiste en analizar sistemáticamente las causas y las consecuencias de unas desviaciones de las variables de proceso, planteadas mediante unas “**palabras guía**”.

El método surgió en 1963 en la compañía Imperial Chemical Industries, que utilizaba técnicas de análisis crítico en otras áreas. Posteriormente se generalizó y actualmente es una de las herramientas más utilizadas internacionalmente en la identificación de riesgos en una instalación industrial.

ANÁLISIS FUNCIONAL DE OPERATIVIDAD (AFO)

Resumen del procedimiento para procesos continuos (**NTP-238: Los análisis de peligros y de operabilidad en instalaciones de proceso**)

ETAPAS:

1. **Definición del área de estudio.** Entidad funcional propia
2. **Definición de los nudos.** Puntos claramente localizados en el proceso, numerados en el sentido del proceso. HAZOP se aplica a estos puntos con sus variables asociadas.
3. **Aplicación de las palabras guía.** Concepto aplicado a una acción o a un parámetro.
4. **Definición de desviaciones a estudiar.** En cada nudo se plantean todas las desviaciones posibles que apliquen a la palabra guía de una determinada variable o actividad. Todas las combinaciones posibles.
5. **Sesiones HAZOP.** Realización sistemática del proceso anterior. Se determinan las causas, consecuencias y acciones a tomar.

ANÁLISIS FUNCIONAL DE OPERATIVIDAD (AFO)

ETAPAS:

6. **Informe final.** Consta de los siguientes documentos:

- Esquemas simplificados con la situación y numeración de los nudos de cada subsistema.
- Formatos de recogida de las sesiones con indicación de las fechas de realización y composición del equipo de trabajo.
- Análisis de los resultados obtenidos. Se puede llevar a cabo una clasificación cualitativa de las consecuencias identificadas.
- Listado de las medidas a tomar. Constituye una lista preliminar que debería ser debidamente estudiada en función de otros criterios (coste, otras soluciones técnicas, consecuencias en la instalación, etc.) y cuando se disponga de más elementos de decisión.
- Lista de los sucesos iniciadores identificados.

ANÁLISIS FUNCIONAL DE OPERATIVIDAD (AFO)

Palabra guía	Significado	Ejemplo de desviación	Ejemplo de causas originadoras
NO	Ausencia de la variable a la cual se aplica	No hay flujo en una línea	Bloqueo; fallo de bombeo; válvula cerrada o atascada; fuga; válvula abierta; fallo de control
MÁS	Aumento cuantitativo de una variable	Más flujo (más caudal)	Presión de descarga reducida; succión presurizada; controlador saturado; fuga; lectura errónea de instrumentos
		Más temperatura	Fuegos exteriores; bloqueo; puntos calientes; explosión en reactor; reacción descontrolada
MENOS	Disminución cuantitativa de una variable	Menos caudal	Fallo de bombeo; fuga; bloqueo parcial; sedimentos en línea; falta de carga; bloqueo de válvulas
		Menos temperatura	Pérdidas de calor; vaporización; venteo bloqueado; fallo de sellado
INVERSO	Analiza la inversión en el sentido de la variable. Se obtiene el efecto contrario al que se pretende	Flujo inverso	Fallo de bomba; sifón hacia atrás; inversión de bombeo; válvula antirretorno que falla o está insertada en la tubería de forma incorrecta
ADEMÁS DE	Aumento cualitativo. Se obtiene algo más que las intenciones del diseño	Impurezas o una fase extraordinaria	Entrada de contaminantes del exterior como aire, agua o aceites; productos de corrosión; fallo de aislamiento; presencia de materiales por fugas interiores; fallos de la puesta en marcha
PARTE DE	Disminución cualitativa. Parte de lo que debería ocurrir sucede según lo previsto	Disminución de la composición en una mezcla	Concentración demasiado baja en la mezcla; reacciones adicionales; cambio en la alimentación
DIFERENTE DE	Actividades distintas respecto a la operación normal	Cualquier actividad	Puesta en marcha y parada; pruebas e inspecciones; muestreo; mantenimiento; activación del catalizador; eliminación de tapones; corrosión; fallo de energía; emisiones indeseadas, etc.

HAZOP: ASPECTOS A CONSIDERAR

Sistemas a considerar	Líneas y válvulas, etc. Equipo, recipientes
Variables a considerar	Presión, variación de la presión (pérdidas de carga o Δp impulsión); temperatura, variación de temperatura; variaciones de volumen (dilatación, contracción); calor generado; calor transmitido; velocidad de reacción; densidad; viscosidad; composición; concentración; relaciones causa-efecto entre variables, etc.
Modos de operación	Operación normal Modo de puesta en marcha Modo de parada Modos de mantenimiento, construcción o inspección
Eventos iniciadores	Fallo humano Fallos de equipo, instrumentos o componentes Fallo de suministro Evento de emergencia o medio ambiental Otras causas de operación anormal incluyendo perturbaciones en los instrumentos

HAZOP: ASPECTOS A CONSIDERAR

Sistemas a considerar	Líneas y válvulas, etc. Equipo, recipientes
Efectos en la planta	Cambio en las condiciones químicas Cambio en las cantidades Cambio en las condiciones físicas
Condiciones peligrosas	Emisión de materias Cambio en las características peligrosas del material Se ha alcanzado el límite operativo Exposición a una fuente de energía, etc.
¿Cómo se detectarían las condiciones peligrosas?	Durante la operación normal Bajo fallo humano En otras circunstancias Bajo fallo de equipo
Acciones correctoras	Cambios en el diseño de proceso Cambio en los límites de operación Cambios en la fiabilidad del sistema Mejora en la contención de materiales Cambio en los sistemas de control Adición o eliminación de materias

Planta:							
Sistema:							
Nudo	Palabra guía	Desviación de la variable	Posibles causas	Consecuencias	Respuesta	Acciones a tomar	Comentarios

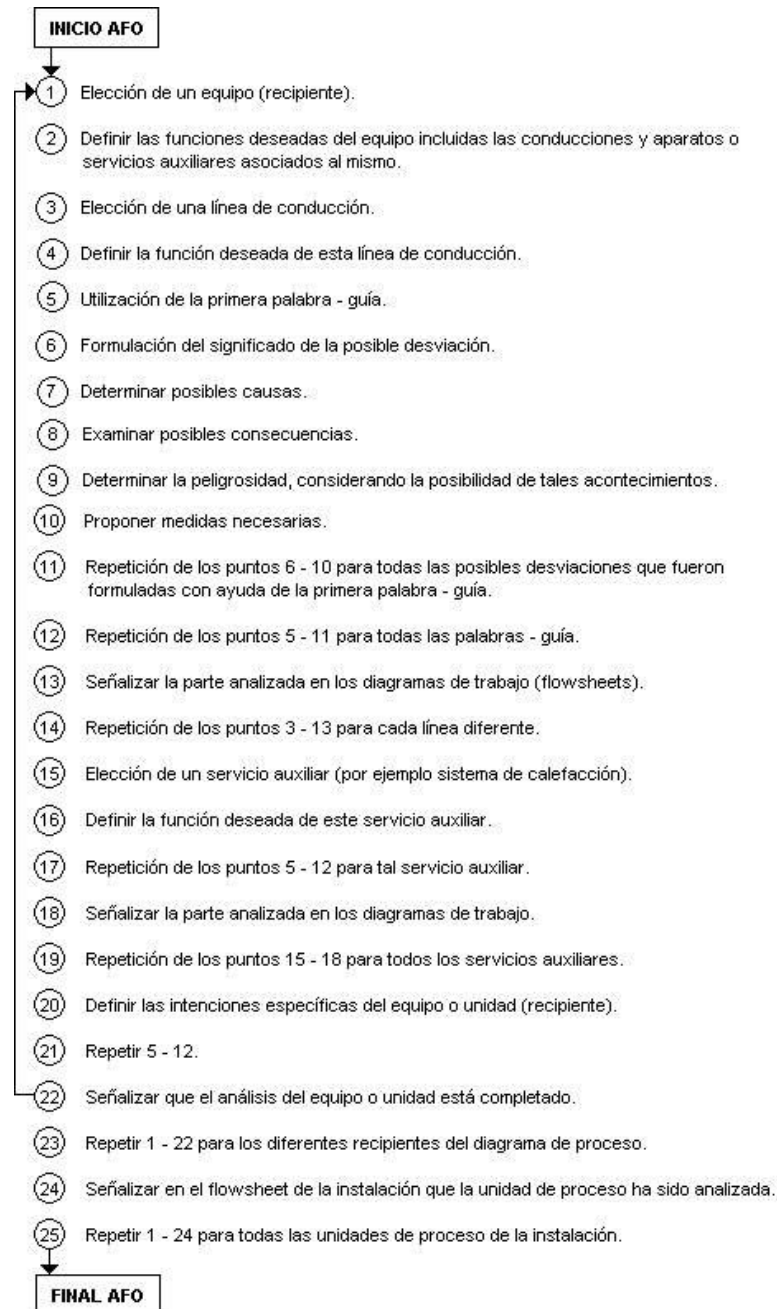


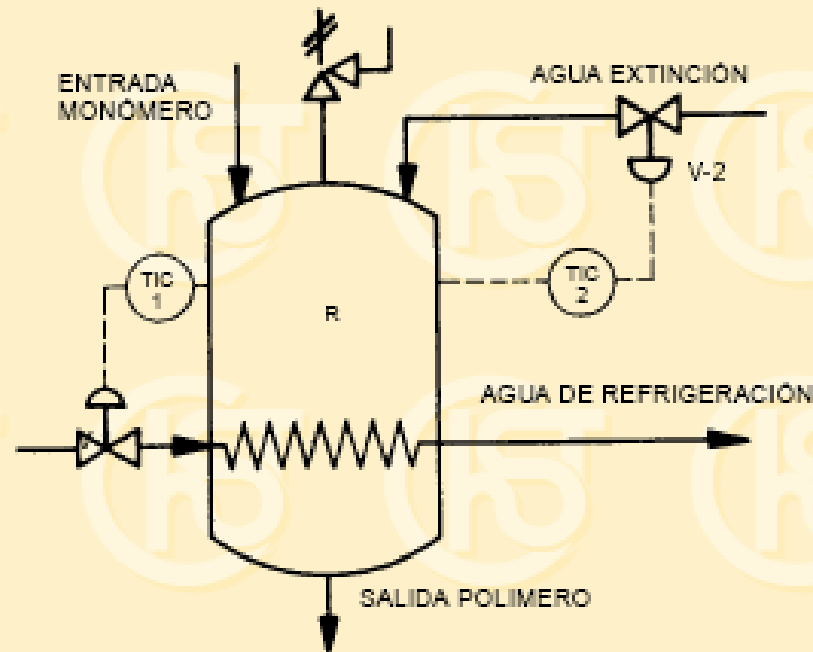
Figura tomada de la NTP 238
www.mtas.es/insht/ntp/ntp_238.htm

Funciones del coordinador/director del grupo

1. Recoger la información escrita necesaria de apoyo.
2. Planificar el estudio.
3. Organizar las sesiones de trabajo.
4. Dirigir los debates, procurando que nadie quede en un segundo término o supeditado a opiniones de otros.
5. Cuidar que se aplica correctamente la metodología, dentro de los objetivos establecidos, evitando la tendencia innata de proponer soluciones aparentes a problemas sin haberlos analizado suficientemente.
6. Recoger los resultados para su presentación.
7. Efectuar el seguimiento de aquellas cuestiones surgidas del análisis y que requieren estudios adicionales al margen del grupo.

Ejemplo 1

MUESTRA DE ANÁLISIS POR EL MÉTODO “HAZOP” (I)

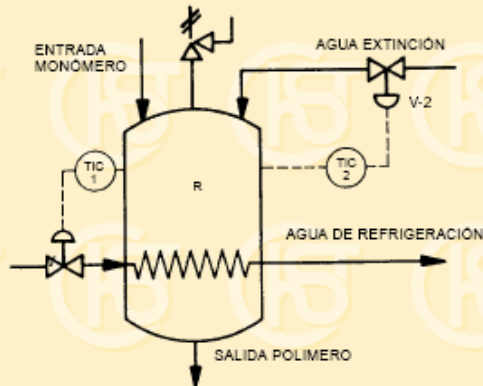


UNIDAD DE PROCESO: REACTOR QUÍMICO DE POLIMERIZACIÓN

PARTE A ANALIZAR: CONDUCCIÓN AGUA DE REFRIGERACIÓN

PARÁMETRO A CONSIDERAR: FLUJO

MUESTRA DE ANÁLISIS POR EL MÉTODO "HAZOP" (I)



UNIDAD DE PROCESO: REACTOR QUÍMICO DE POLIMERIZACIÓN
 PARTE A ANALIZAR: CONDUCCIÓN AGUA DE REFRIGERACIÓN
 PARÁMETRO A CONSIDERAR: FLUJO

8T. XII. 21

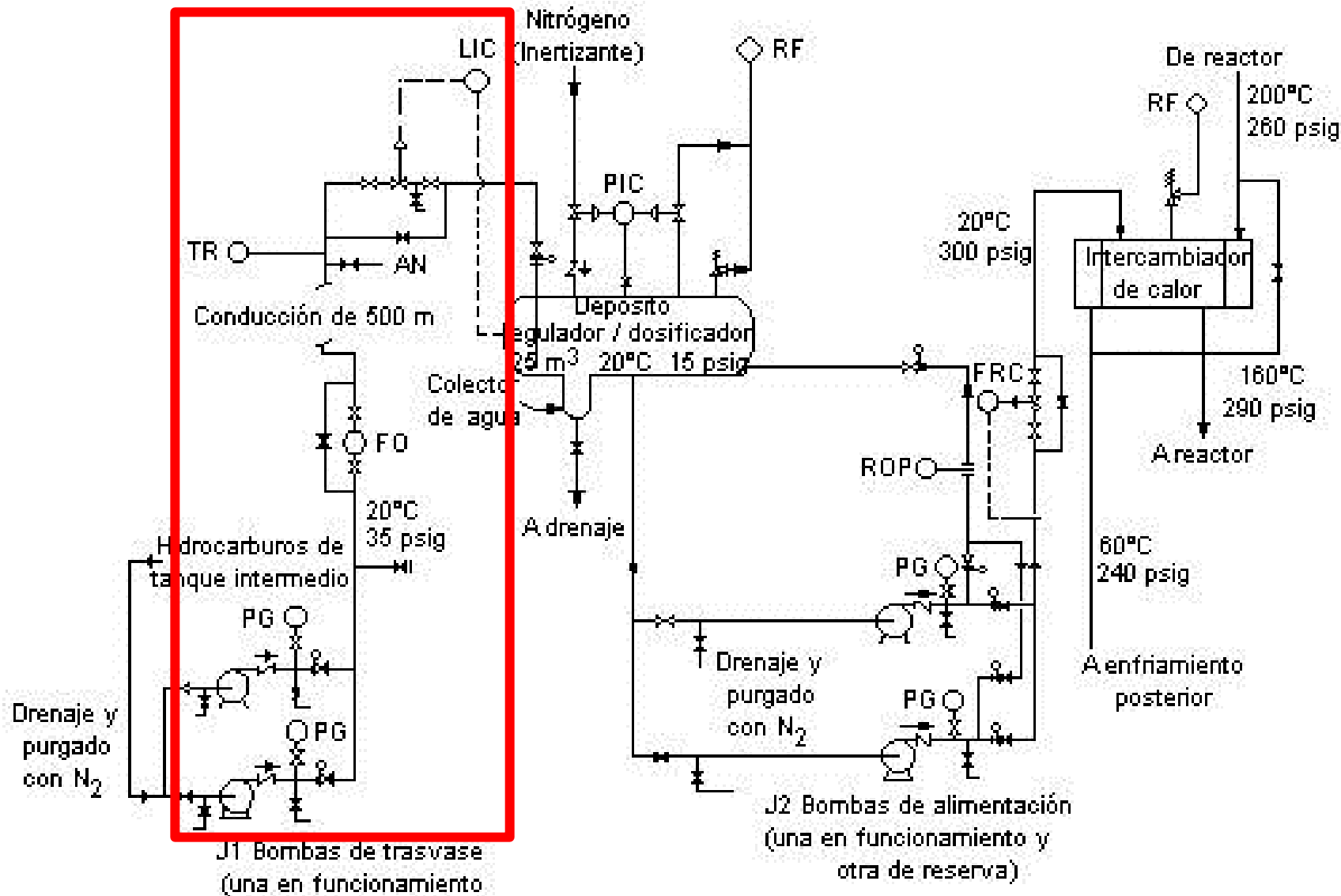
MUESTRA DE ANÁLISIS POR EL MÉTODO "HAZOP" (II)

PALABRA GUÍA	DESVIACIÓN	CONSECUENCIAS	CAUSAS	MEDIDAS PROPUESTAS
NO	No flujo	Ausencia refrigeración. Aumenta temperatura en R. Aumenta presión. Posible explosión de R. Posible fuga de gas.	1 Fallo Bomba. 2 Válvula V-1 estropeada, cerrada (o TIC-1 falla en posición de cerrado). 3 Obstrucción en el circuito.	Instalar bomba adicional. Introducir la comprobación de V-1 y TIC-1 en manual de operaciones. Introducir la comprobación periódica del circuito de refrigeración en el manual.
MENOS	Poco caudal	Idem que NO	Idem que NO	Idem que NO
OTRO	Circula otro fluido	Corrosión del circuito (posible). Posible falta de refrigeración.	Conexión errónea en el circuito.	Introducir la comprobación del circuito después de cualquier reparación en el manual.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO

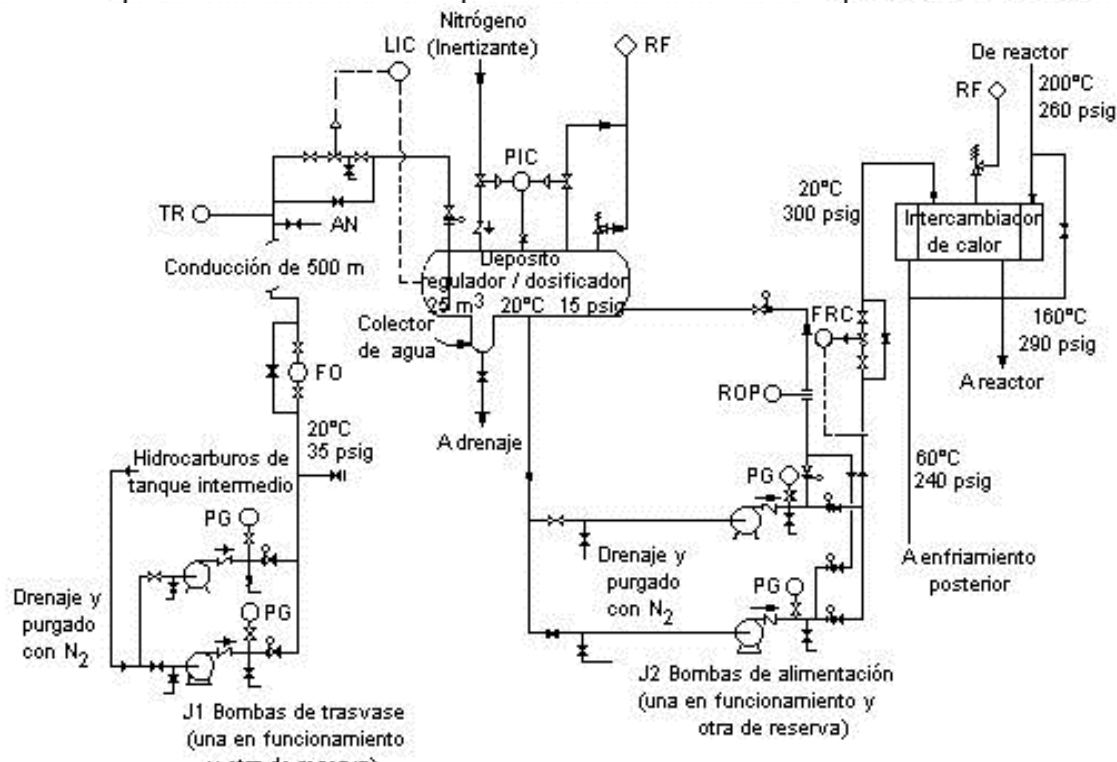
8T. XII. 22

Ejemplo 2. UNIDAD DE DIMERIZACIÓN DE OLEFINA



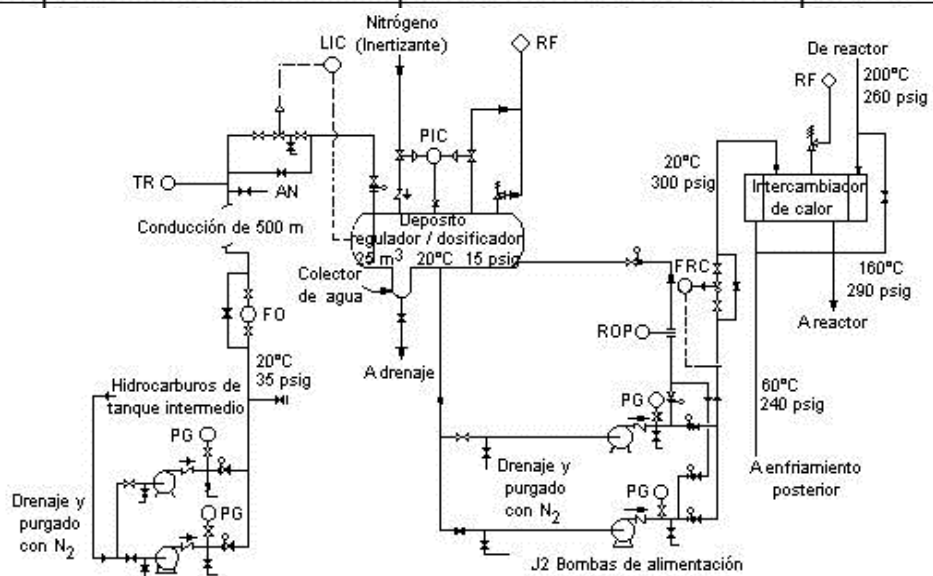
HAZOP: Línea entre tanque intermedio y depósito dosificador-regulador

LINEA COMPRENDIDA ENTRE EL TANQUE INTERMEDIO Y EL DEPÓSITO DOSIFICADOR - REGULADOR				
Palabras Guía	Perturbación	Causas posibles	Repercusiones	Medidas necesarias
NO	No flujo	1. Inexistencia de hidrocarburo en tanque intermedio.	Paralización del proceso de reacción esperado. Formación de polímero en el intercambiador de calor.	a) Asegurar buena comunicación con el operado del tanque intermedio. b) Instalar alarma de nivel mínimo LIC en depósito regulador.
		2. J1-Bomba falla (fallo de motor, circuito de maniobra, etc)	Como para 1.	Cubierto por b)
		3. Conducción bloqueada, válvula cerrada por error, o LCV falla cerrando paso fluido.	Como para 1. J1- Bomba sobrecargada.	c) Instalar sistema de desconexión automática para protección de bombas. d) Verificar el diseño de los filtros de las bombas J1.
		4. Rotura de conducción	Como para 1. Hidrocarburo descargado en área adyacente a vía pública.	Cubierto por b) e) Implantar inspección regular de la conducción mediante rondas periódicas.



LINEA COMPRENDIDA ENTRE EL TANQUE INTERMEDIO Y EL DEPÓSITO DOSIFICADOR - REGULADOR

Palabras Guía	Perturbación	Causas posibles	Repercusiones	Medidas necesarias
MAS	Más flujo	5. LCV falla abierta o el by-pass de LCV se abre por error.	Incompleta separación de la fase acuosa en el depósito, generando problemas en la reacción posterior.	f) Instalar alarma de nivel máximo y verificar la sección del rebosadero controlado. g) Implantar sistema de enclavamiento-bloqueo en el by-pass (LCV) cuando no deba usarse. h) Ampliar la capacidad de aspiración de la Bomba J2 respecto a la Bomba J1
	Más presión	6. Válvula de aislamiento de conducción cerrada por error o LCV cierra estando la Bomba J1 en funcionamiento.	Conducción sometida a sobrepresión generando posibles fugas y roturas	j) Cubierta por c), excepto cuando la desconexión esté bloqueada o aislada. Verificar conducción, FQ y dimensiones bridas y reducir la velocidad de respuesta de LCV si es necesario. Instalar un indicador de presión en LCV y otro independiente en el depósito regulador.
	Más temperatura	7. Dilatación térmica en una conducción o válvula de aislamiento debida a fuego o fuerte radiación solar. 8. Elevada temperatura en tanque intermedio.	Rotura de conducción o fuga en brida. Excesiva presión en línea de trasvase y depósito regulador.	k) Instalar sistema de alivio de dilataciones térmicas y sobrepresiones en tramos de la conducción (la descarga en proximidades a viales debe ser considerada tras su estudio). L) Verificar si hay adecuadas precauciones frente a elevadas temperaturas en el tanque intermedio. Si no, instaladas.



Ejemplo 2. UNIDAD DE DIMERIZACIÓN DE OLEFINA

LINEA COMPRENDIDA ENTRE EL TANQUE INTERMEDIO Y EL DEPÓSITO DOSIFICADOR - REGULADOR				
Palabras Guía	Perturbación	Causas posibles	Repercusiones	Medidas necesarias
Menos	Menos flujo	9. Fuga en brida o válvula.	Pérdida de materias junto a vía pública.	Cubierto por e) y las comprobaciones j)
	Menos temperatura	10. Condiciones invernales.	Colector de agua y tubería de drenaje congelada.	m) Colector y válvula de drenaje calorifugada mediante vapor.
Mayor que	Presencia de ácidos orgánicos	11. Perturbaciones en las columnas de destilación interiores al tanque intermedio.	Incremento del grado de corrosión de la instalación	n) Necesario verificación de la idoneidad de materiales de construcción.
Parte de	Alta concentración de agua en el suministro	12. Nivel de agua alto en tanque intermedio.	Llenado del colector más rápidamente de lo previsto. Incremento de la posibilidad de paso de agua a la reacción posterior.	p) Adecuar sistema para eliminación de agua del tanque intermedio, antes de acceder al depósito regulador. Instalar alarma de nivel máximo en colector.
	Alta concentración de alkanos o alkenos volátiles no deseados en el suministro	13. Perturbaciones en las columnas de destilación anteriores al tanque intermedio.	Más elevadas presiones	q) Verificar que el diseño del depósito regulador y tuberías asociadas sea capaz de resistir y liberar sobrepresiones generadas por la presencia de hidrocarburos más volátiles.
Otro	Mantenimiento / intervenciones en operaciones de mantenimiento y limpieza	14. Presencia de atmósferas peligrosas por fallos en equipos, de organización o errores humanos.	Deflagraciones, explosiones al no ser la instalación completamente drenada o purgada.	r) Instalarlos suficientes puntos de drenaje y purga de N ₂ , considerando también las líneas de instrumentación, de regulación y control del proceso y el depósito regulador. Implantar sistema de autorizaciones de trabajo y verificar la idoneidad del mismo.

ANÁLISIS POR ÁRBOLES DE FALLOS (AAF)

En inglés, Fault tree analysis (FTA)

- **Técnica deductiva** que se centra en un suceso accidental particular (accidente)
- Determina las causas que han producido dicho accidente.
- Nació en la década de los años 60 para la verificación de la fiabilidad de diseño del cohete Minuteman y ha sido ampliamente utilizado en el campo nuclear y químico.
- Puede proporcionar resultados tanto cualitativos mediante la búsqueda de caminos críticos, como cuantitativos, en términos de probabilidad de fallos de componentes.





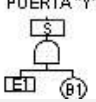






ANÁLISIS POR ÁRBOLES DE FALLOS (AAF)

En inglés, Fault tree analysis (FTA)

Consiste en descomponer sistemáticamente un suceso complejo en sucesos intermedios hasta llegar a sucesos básicos, ligados normalmente a fallos de componentes, errores humanos, errores operativos, etc.

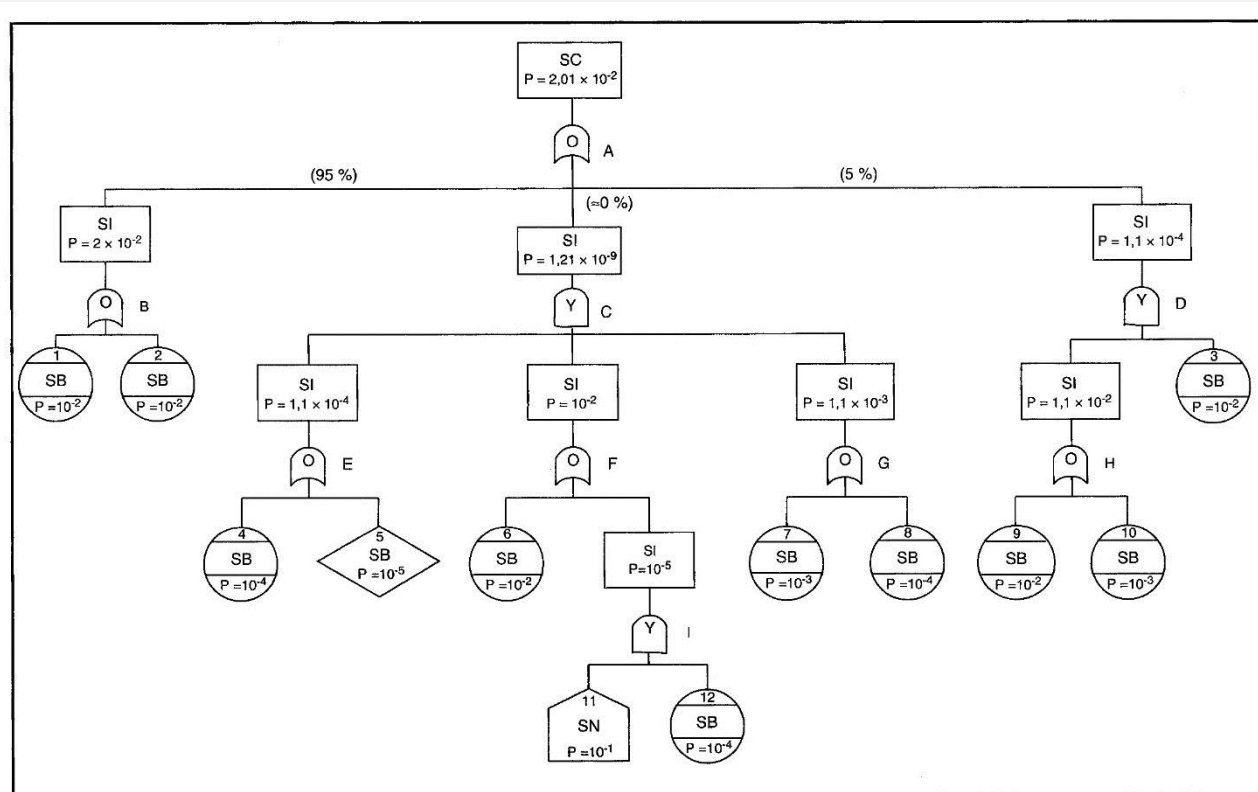
Se utilizan símbolos lógicos para expresar relaciones o interacciones.

- a) Relación causa-efecto: líneas
- b) Sucesos
- c) Puertas lógicas

SÍMBOLOS	SIGNIFICADO DEL SÍMBOLO
	SUCESO BÁSICO. No requiere de posterior desarrollo al considerarse un suceso de fallo básico.
	SUCESO NO DESARROLLADO. No puede ser considerado como básico, pero sus causas no se desarrollan, sea por falta de información o por su poco interés.
	SUCESO INTERMEDIO. Resultante de la combinación de sucesos más elementales por medio de puertas lógicas. Asimismo se representa en un rectángulo el "suceso no deseado" del que parte todo el árbol.
	PUERTA "Y"  El suceso de salida (S) ocurrirá si, y sólo si ocurren todos los sucesos de entrada (E1 B1).
	PUERTA "O"  El suceso de salida (S) ocurrirá si ocurren uno o más de los sucesos de entrada (E1 B1).
	SÍMBOLO DE TRANSFERENCIA. Indica que el árbol sigue en otro lugar.
	PUERTA "Y" PRIORITARIA. El suceso de salida ocurrirá si, y sólo si todas las entradas ocurren en una secuencia determinada, que normalmente se especifica en una elipse dibujada a la derecha de la puerta.
	PUERTA "O" EXCLUSIVA. El suceso de salida ocurrirá si lo hace una de las entradas, pero no dos o más de ellas.
	PUERTA DE INHIBICIÓN. La salida ocurrirá si, y sólo si lo hace su entrada y además se satisface una condición dada (X).

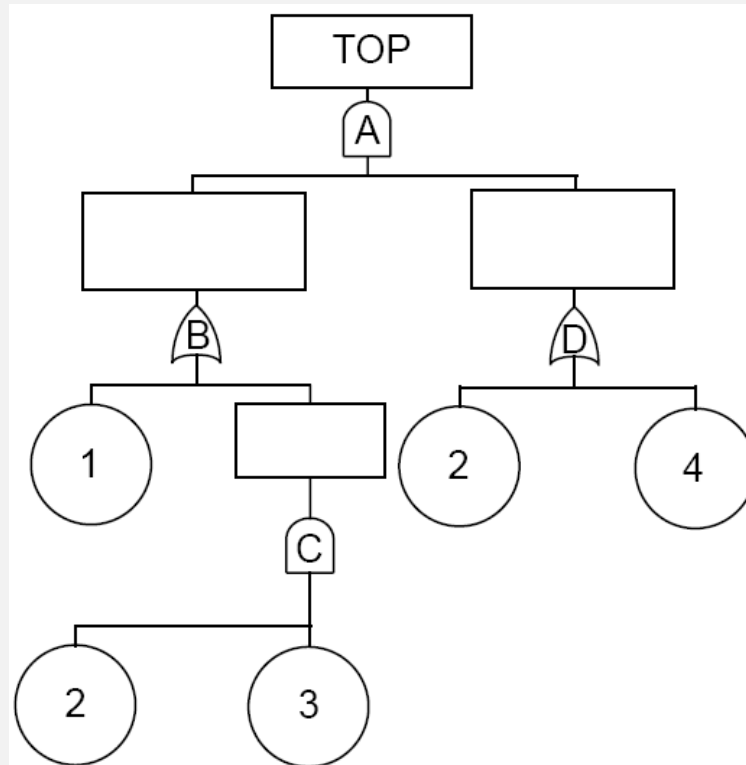
ANÁLISIS CUANTITATIVO POR ÁRBOL DE FALLOS

1. Búsqueda de datos probabilísticos para los sucesos básicos.
2. Homogeneización de los datos.
3. Deducción de la probabilidad del suceso capital a partir de las propiedades individuales de los sucesos básicos: (Puertas "O": suma, Puertas "Y": producto)

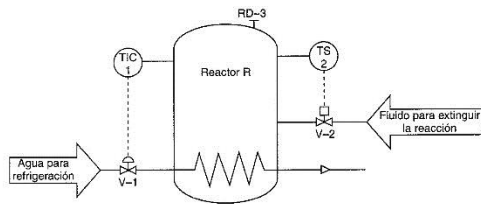


ANÁLISIS CUANTITATIVO POR ÁRBOL DE FALLOS

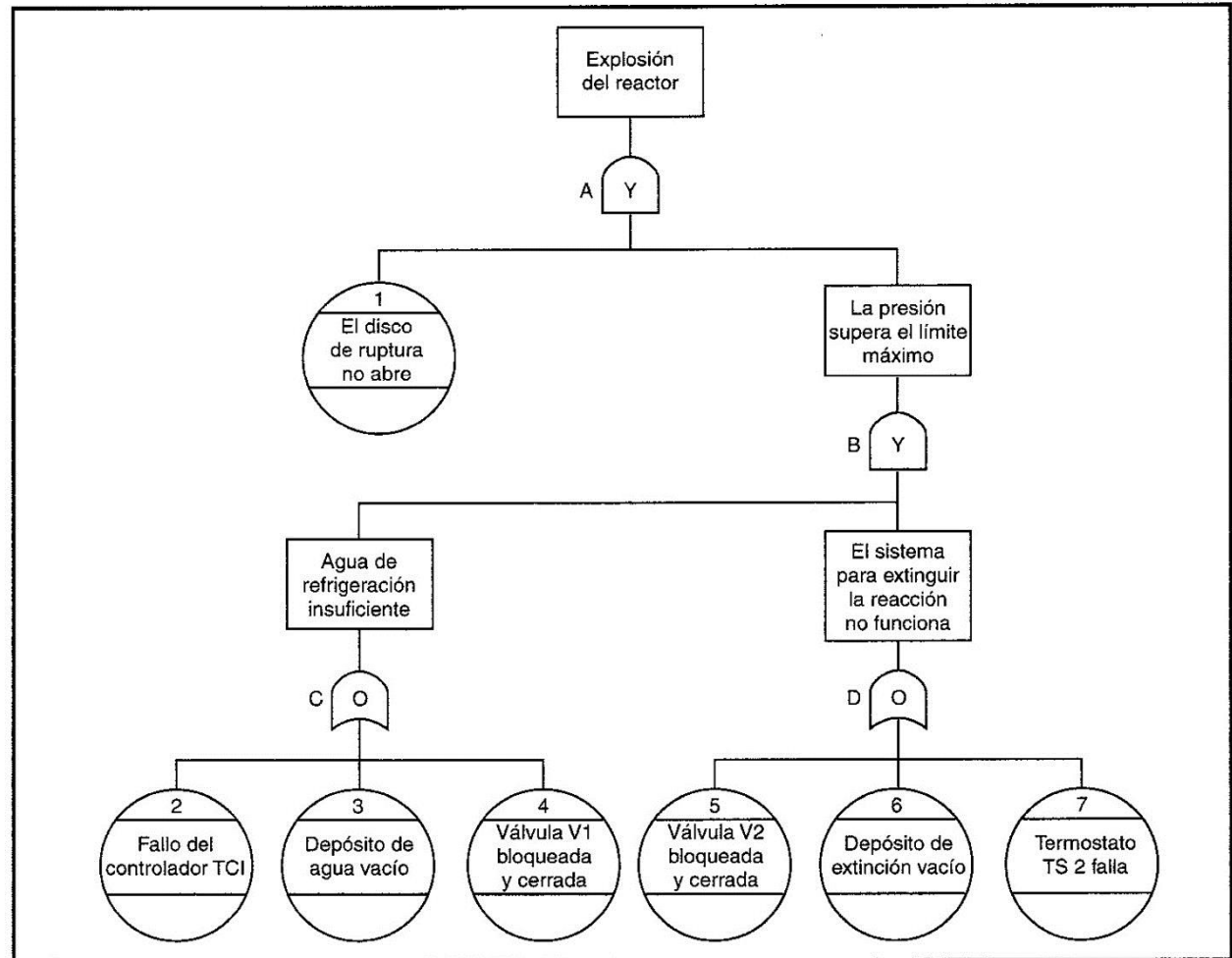
4. Determinación del conjunto mínimo de fallos o conjunto crítico de fallos
 - a) Asignar letras a las puertas lógicas.
 - b) Asignar números a los sucesos básicos. Si uno aparece más de una vez, asignar el mismo número
 - c) Construir una matriz empezando por la puerta superior



ÁRBOLES DE FALLOS



R Reactor con reacción exotérmica
 TIC-1 Controlador de temperatura
 TS-2 Termostato
 RD-3 Disco de ruptura

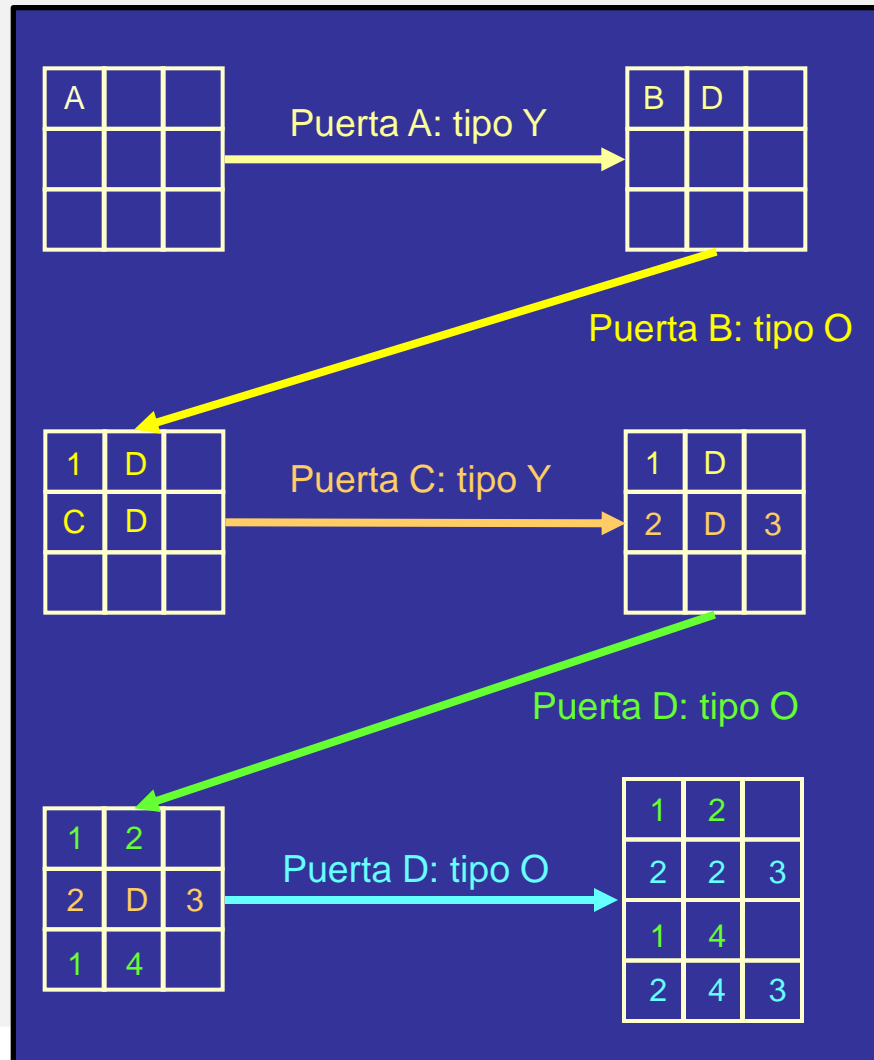
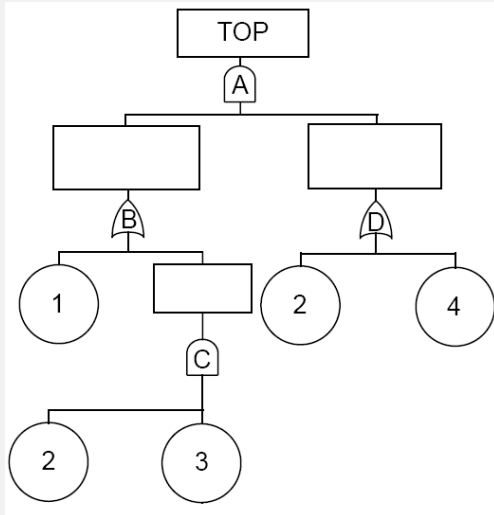


ANÁLISIS CUANTITATIVO POR ÁRBOL DE FALLOS

CONSTRUCCIÓN DE LA MATRIZ

Puerta Y: sustituir en filas

Puerta O: sustituir en columnas



ANÁLISIS CUANTITATIVO POR ÁRBOL DE FALLOS

DETERMINACION DEL CONJUNTO MINIMO DE FALLOS

1	2	
2	2	3
1	4	
2	4	3

2	2	3
---	---	---

Es combinación de

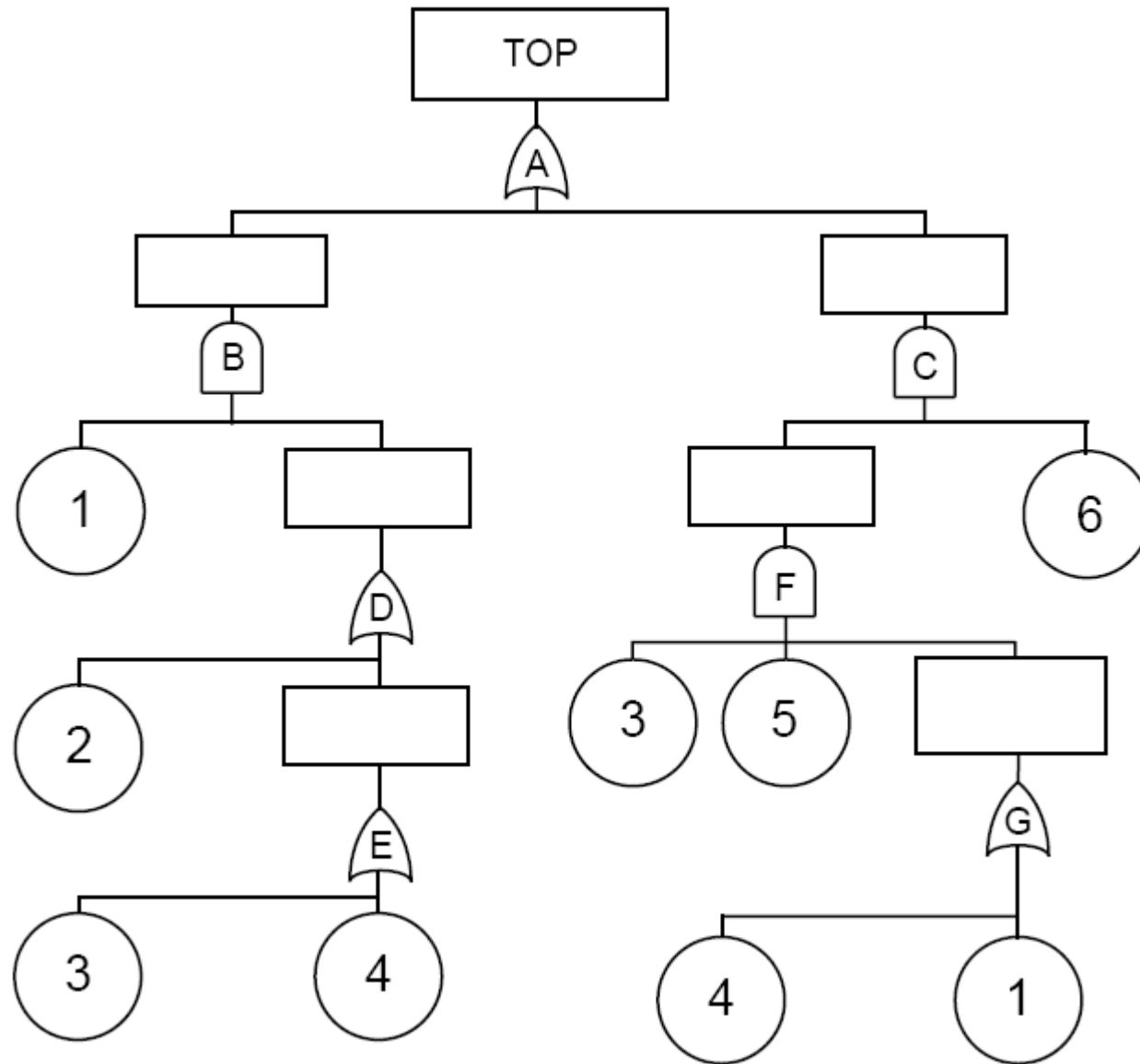
2	3
---	---

1	2	
2	X	3
1	4	
2	4	3

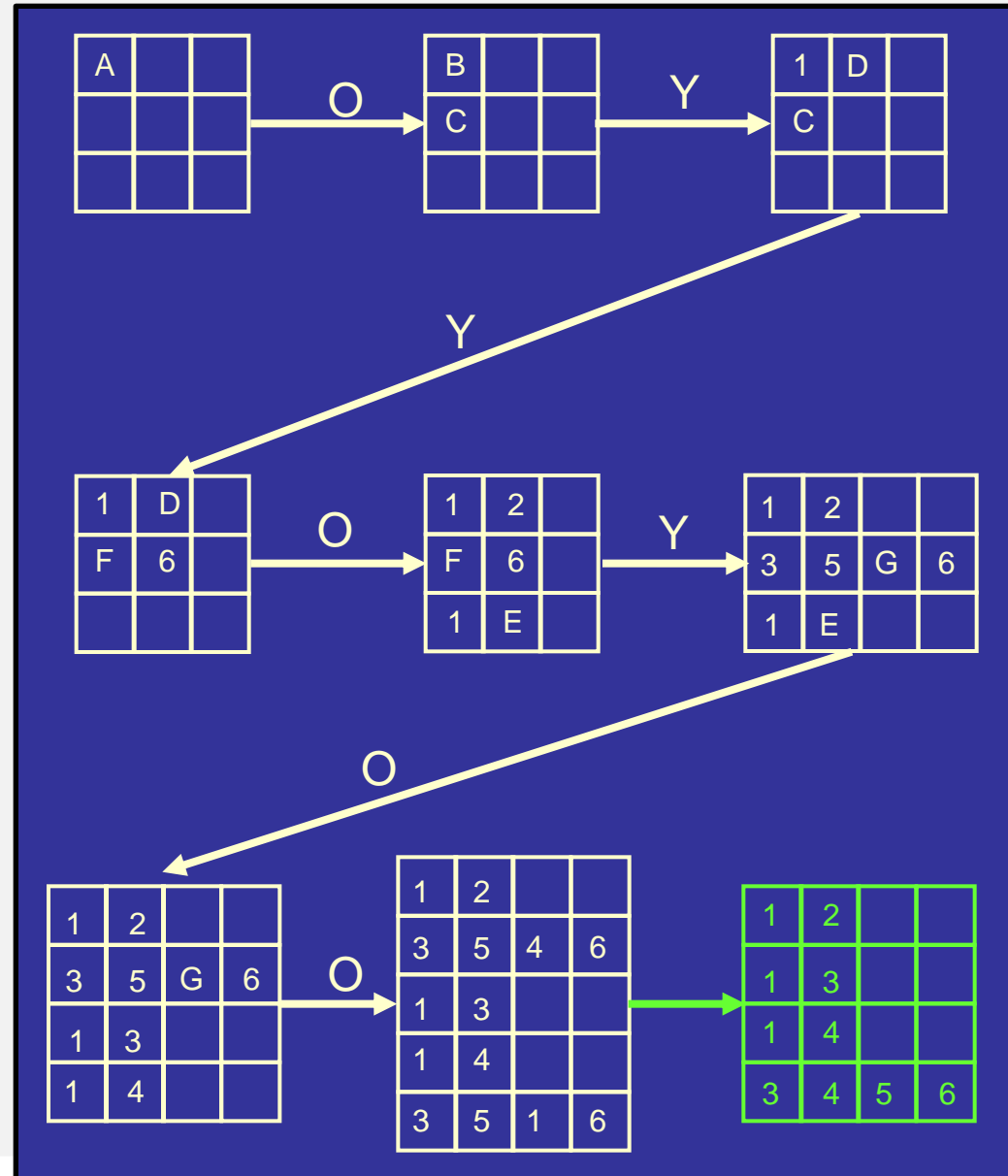
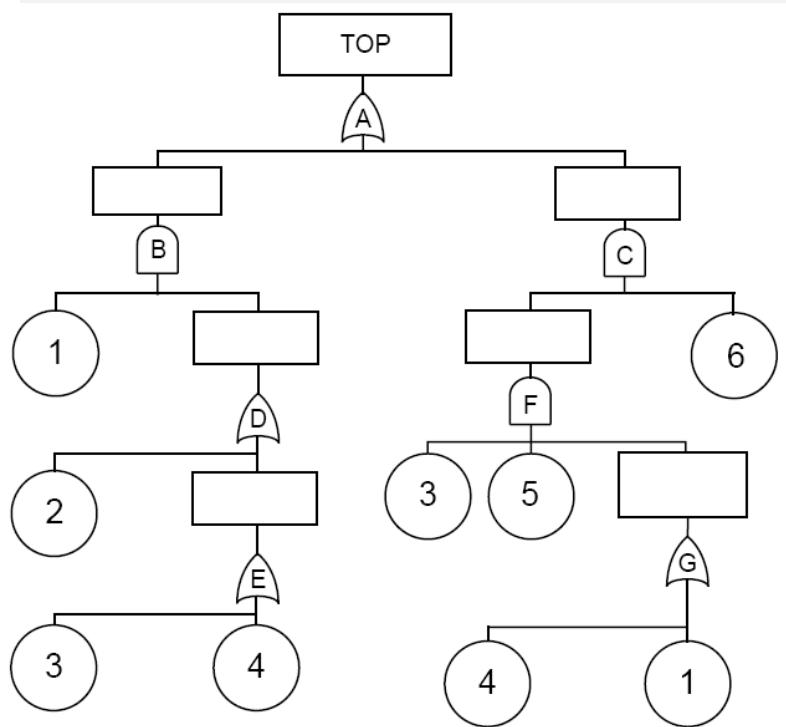
1	2	
2	3	
1	4	
2	X	X

1	2
2	3
1	4

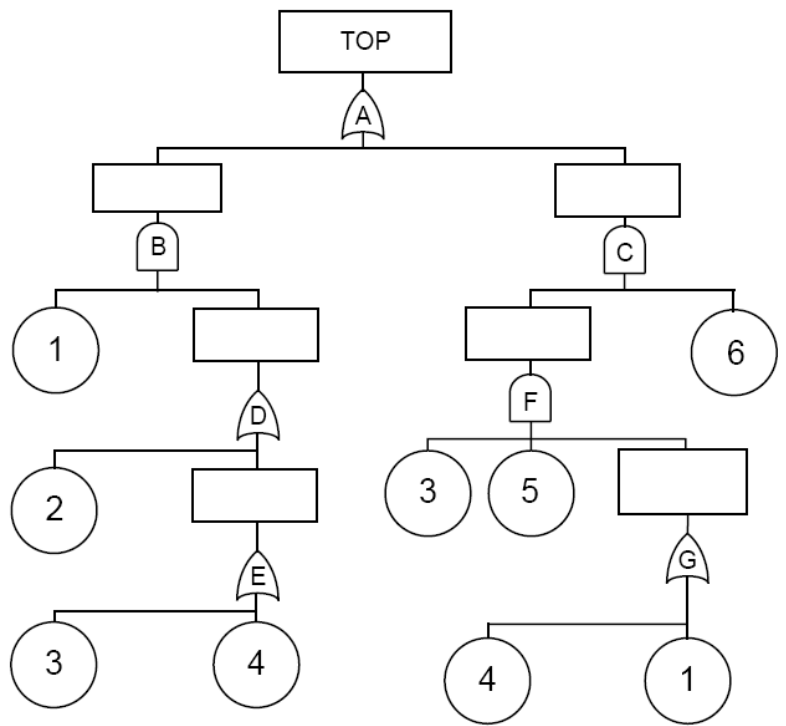
Análisis cuantitativo por árbol de fallos



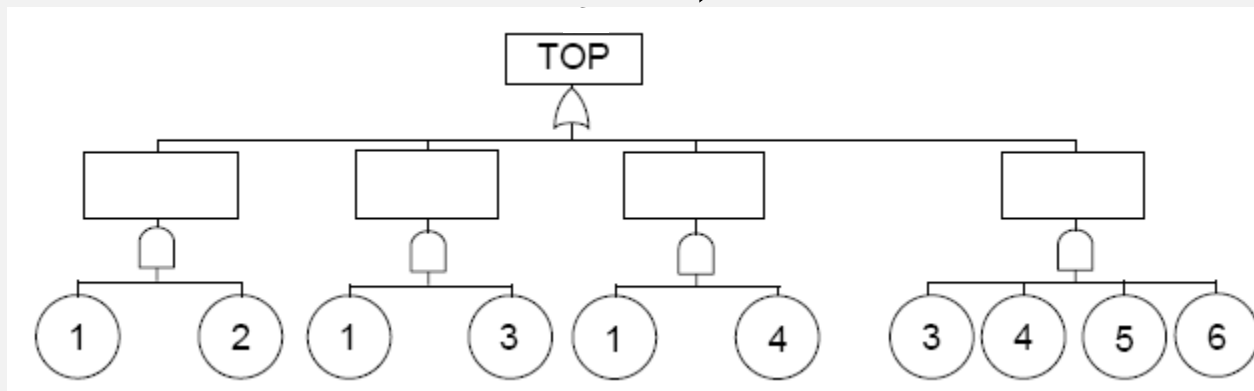
Análisis cuantitativo por árbol de fallos



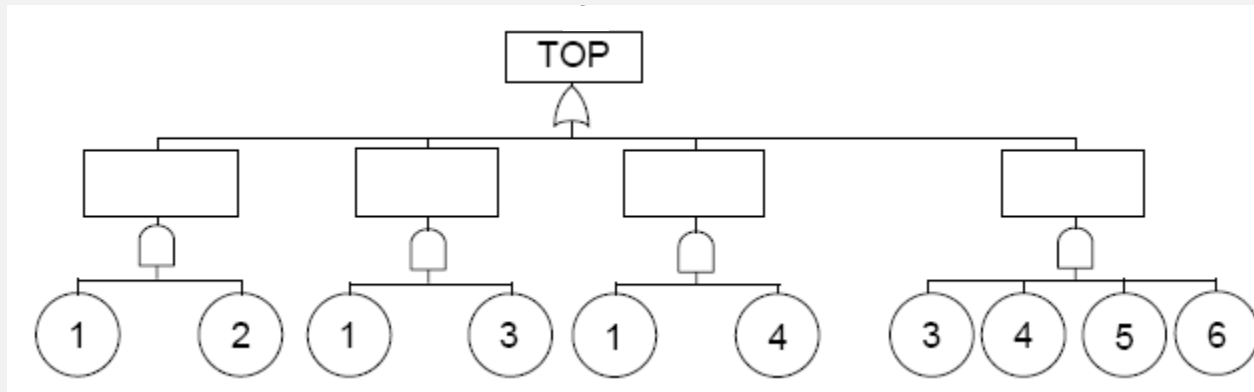
ANÁLISIS CUANTITATIVO POR ÁRBOL DE FALLOS



1	2		
1	3		
1	4		
3	4	5	6



ANÁLISIS CUANTITATIVO POR ÁRBOL DE FALLOS



La probabilidad del suceso capital no deseado es:

$$P_T = \sum P_k = P_1 \cdot P_2 + P_1 \cdot P_3 + P_1 \cdot P_4 + P_3 \cdot P_4 \cdot P_5 \cdot P_6$$

ANÁLISIS CUANTITATIVO POR ÁRBOL DE FALLOS

1	2		
1	3		
1	4		
3	4	5	6

Un “conjunto mínimo de fallos” corto indica alta vulnerabilidad

Un “conjunto mínimo de fallos” largo indica baja vulnerabilidad

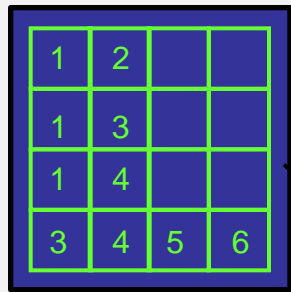
La presencia de muchos “conjuntos mínimos de fallos” indica alta vulnerabilidad.

Un único “conjunto mínimo de fallos” muestra un único punto de fallo potencial.

ANÁLISIS CUANTITATIVO POR ÁRBOL DE FALLOS

IMPORTANCIA CUANTITATIVA DE LOS CONJUNTOS MÍNIMOS DE FALLOS

Indica la probabilidad de que cuando se ha producido el suceso capital sea debido a un “conjunto mínimo de fallos”



$$I_k = \frac{P_k}{P_T}$$

$$I_{(3,4,5,6)} = \frac{P_{(3,4,5,6)}}{P_T} = \frac{P_3 \cdot P_4 \cdot P_5 \cdot P_6}{P_T} = \frac{P_3 \cdot P_4 \cdot P_5 \cdot P_6}{P_1 \cdot P_2 + P_1 \cdot P_3 + P_1 \cdot P_4 + P_3 \cdot P_4 \cdot P_5 \cdot P_6}$$

Este análisis cuantitativo permite clasificar por su importancia las contribuciones al fallo del sistema.

En general los “conjuntos mínimos de fallos” cortos tienen mayor importancia.

ANÁLISIS CUANTITATIVO POR ÁRBOL DE FALLOS

IMPORTANCIA CUANTITATIVA DE LOS SUCESOS

Es la probabilidad numérica de que cuando se ha producido el suceso capital sea debido a un suceso básico.

Número de "conjuntos mínimos de fallos" que contienen el suceso básico e

$$I_e = \sum^{N_e} I_{ke} = \sum^{N_e} \frac{P_{ke}}{P_T}$$

Importancia de los "conjuntos mínimos de fallos" que contienen el suceso básico e

1	2		
1	3		
1	4		
3	4	5	6

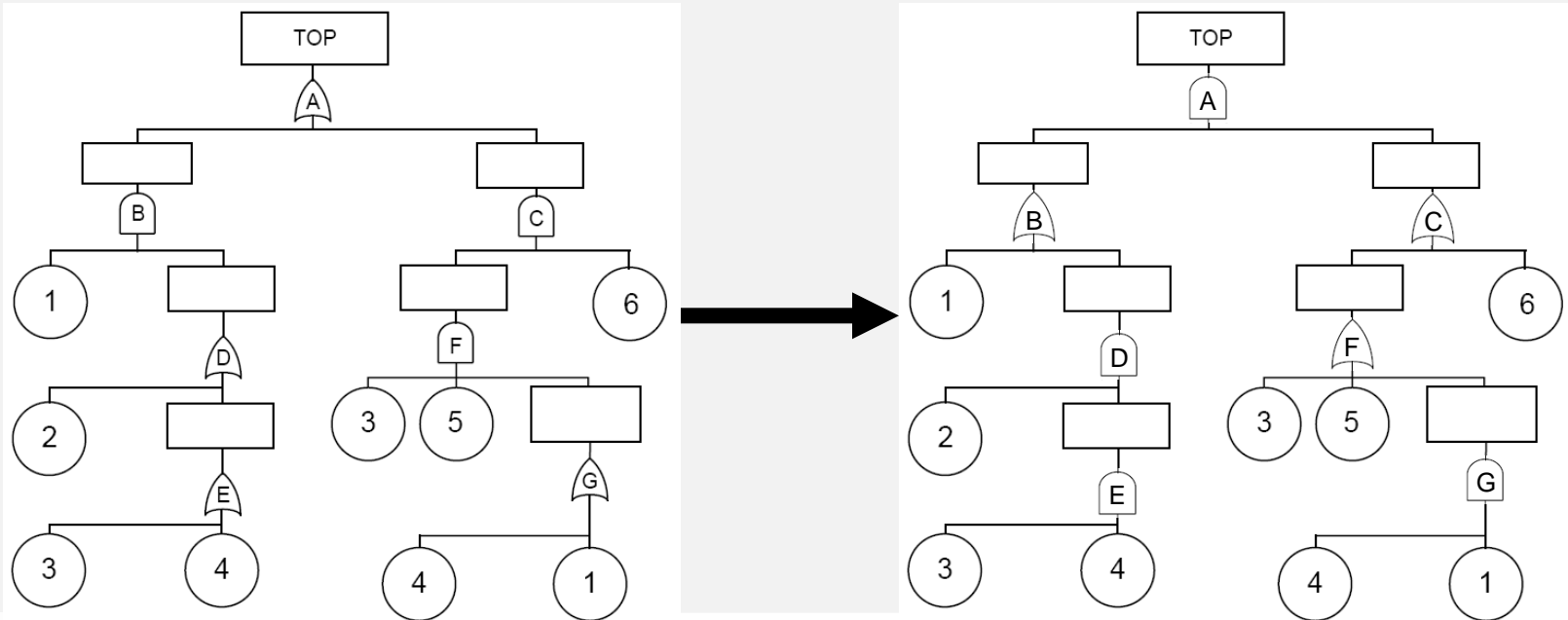
$$\left\{ \begin{array}{l} I_1 = \frac{(P_1 \cdot P_2) + (P_1 \cdot P_3) + (P_1 \cdot P_4)}{P_T} \\ I_3 = \frac{(P_1 \cdot P_3) + (P_3 \cdot P_4 \cdot P_5 \cdot P_6)}{P_T} \end{array} \right.$$

ANÁLISIS CUANTITATIVO POR ÁRBOL DE FALLOS

CONJUNTO DE PASO O DE SEGURIDAD

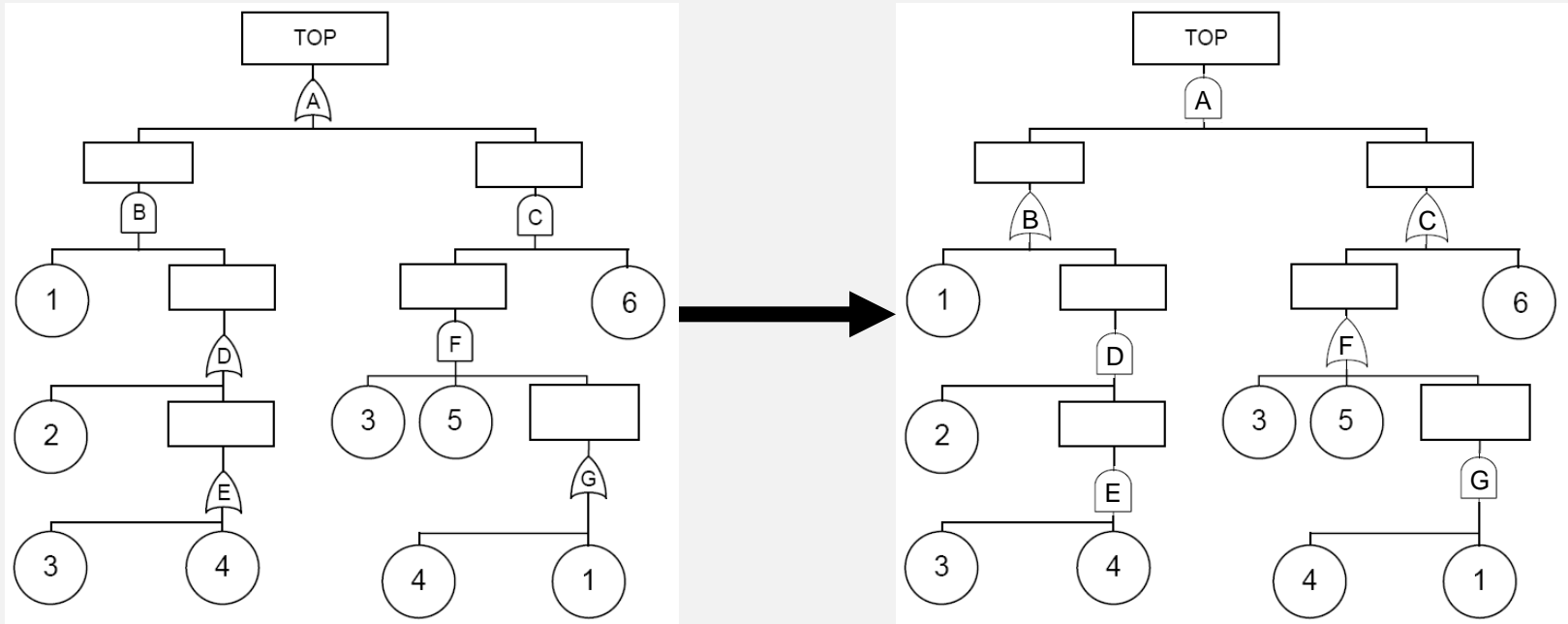
Es el grupo de sucesos básicos que, si no ocurre ninguno, garantizan que el suceso capital no ocurrirá.

Se obtiene cambiando en el grafo las puertas “Y” por “O” y viceversa. Se sigue la metodología para la determinación de los “conjuntos mínimos de fallos”.

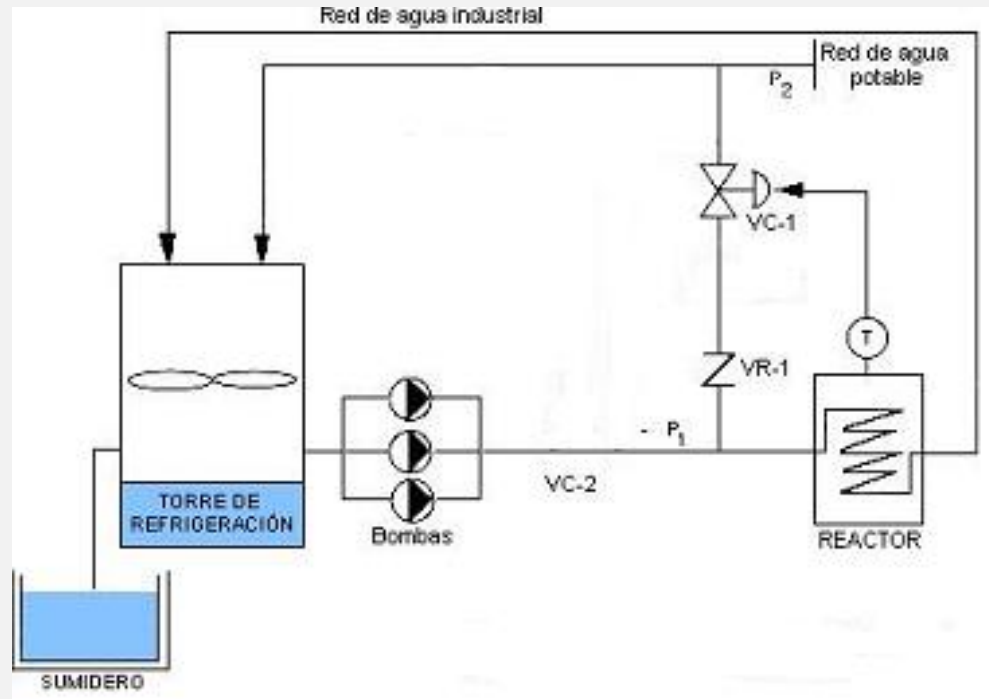


ANÁLISIS CUANTITATIVO POR ÁRBOL DE FALLOS

CONJUNTO DE PASO O DE SEGURIDAD



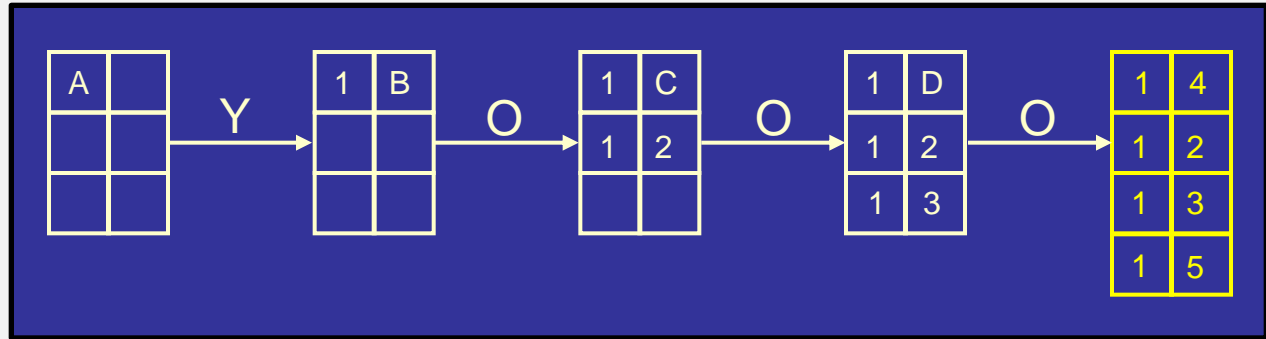
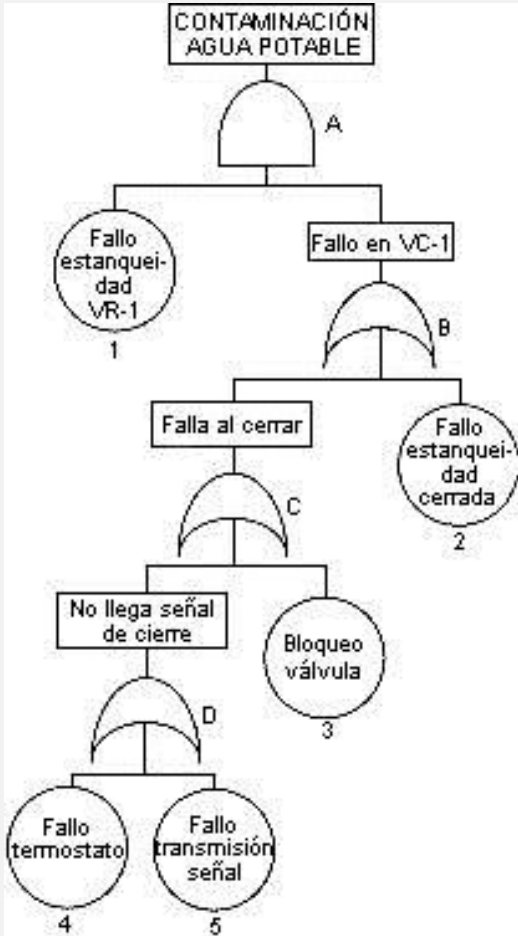
ANÁLISIS CUANTITATIVO POR ÁRBOL DE FALLOS



Fallo de válvula de retención VR por retroceso del fluido	10 ⁻²
Fallo de estanqueidad de VC en posición de cierre	10 ⁻³
Posibilidad de bloqueo de las válvulas neumáticas VC al abrir o cerrar	10 ⁻³
Fallo del termostato de regulación de VC	10 ⁻³
Fallo de transmisión de señal del termostato o presostato	10 ⁻⁴
Fallo presostato	10 ⁻³
Fallo señal acústica de alarma	10 ⁻²
Posibilidad de actuación no correcta ante alarma	10 ⁻²

Ejemplo tomado de NTP 333 de www.mtas.es/insht/ntp/ntp_333.htm

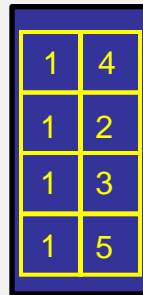
ANÁLISIS CUANTITATIVO POR ÁRBOL DE FALLOS



$$P_T = P_1 \cdot P_2 + P_1 \cdot P_3 + P_1 \cdot P_4 + P_1 \cdot P_5$$

$$P_T = 10^{-2} \cdot 10^{-3} + 10^{-2} \cdot 10^{-3} + 10^{-2} \cdot 10^{-3} + 10^{-2} \cdot 10^{-4}$$

$$P_T = 3,1 \cdot 10^{-5}$$



→ ALTA VULNERABILIDAD

ANÁLISIS CUANTITATIVO POR ÁRBOL DE FALLOS

IMPORTANCIA CUANTITATIVA DE CONJUNTOS MINIMOS DE FALLOS

$$I_{(1,2)} = \frac{P_{(1,2)}}{P_T} = \frac{10^{-2} \cdot 10^{-3}}{3,1 \cdot 10^{-5}} = 0,32 \quad I_{(1,3)} = \frac{P_{(1,3)}}{P_T} = \frac{10^{-2} \cdot 10^{-3}}{3,1 \cdot 10^{-5}} = 0,32$$

$$I_{(1,4)} = \frac{P_{(1,4)}}{P_T} = \frac{10^{-2} \cdot 10^{-3}}{3,1 \cdot 10^{-5}} = 0,32 \quad I_{(1,5)} = \frac{P_{(1,5)}}{P_T} = \frac{10^{-2} \cdot 10^{-4}}{3,1 \cdot 10^{-5}} = 0,03$$

IMPORTANCIA CUANTITATIVA DE SUCESOS

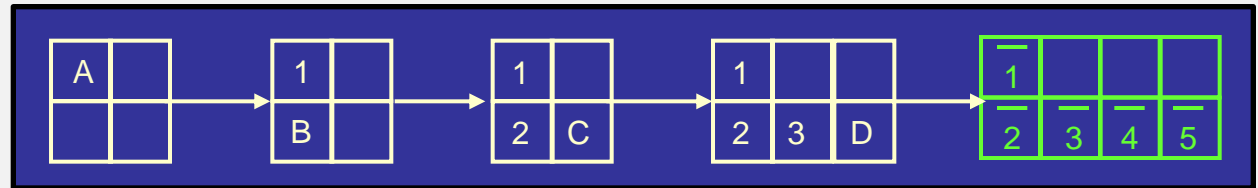
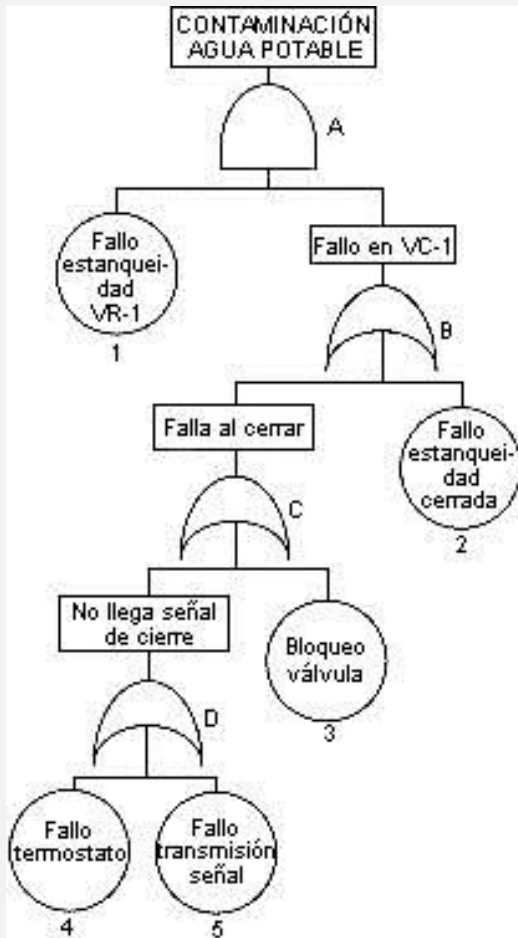
$$I_1 = \frac{(P_1 \cdot P_2) + (P_1 \cdot P_3) + (P_1 \cdot P_4) + (P_1 \cdot P_5)}{P_T} = \frac{3,1 \cdot 10^{-5}}{3,1 \cdot 10^{-5}} = 1$$

$$I_2 = \frac{(P_1 \cdot P_2)}{P_T} = \frac{10^{-2} \cdot 10^{-3}}{3,1 \cdot 10^{-5}} = 0,32 \quad I_3 = \frac{(P_1 \cdot P_3)}{P_T} = \frac{10^{-2} \cdot 10^{-3}}{3,1 \cdot 10^{-5}} = 0,32$$

$$I_4 = \frac{(P_1 \cdot P_4)}{P_T} = \frac{10^{-2} \cdot 10^{-3}}{3,1 \cdot 10^{-5}} = 0,32 \quad I_5 = \frac{(P_1 \cdot P_5)}{P_T} = \frac{10^{-2} \cdot 10^{-4}}{3,1 \cdot 10^{-5}} = 0,03$$

ANÁLISIS CUANTITATIVO POR ÁRBOL DE FALLOS

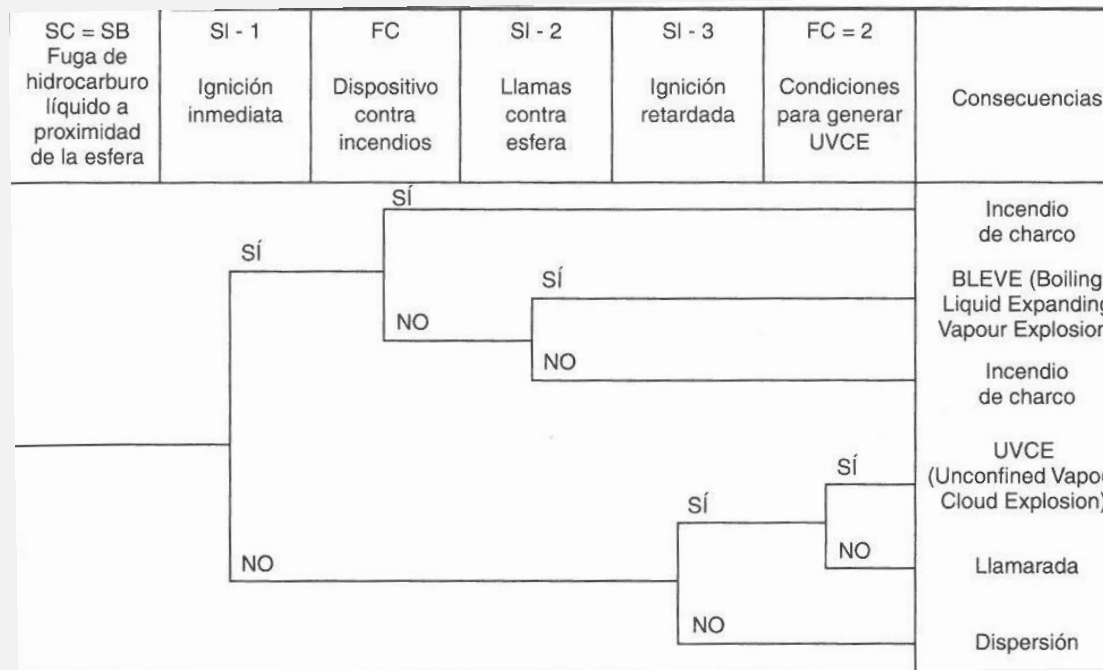
CONJUNTO DE SEGURIDAD



ÁRBOLES DE SUCESOS

Partiendo de sucesos básicos (causas iniciadoras) se predicen por vía deductiva otros sucesos complejos que pueden ser los accidentes.

Partiendo del suceso iniciador, se plantean sistemáticamente dos bifurcaciones: en la parte superior se refleja el éxito o la ocurrencia del suceso condicionante y en la parte inferior se representa el fallo o no ocurrencia del mismo. Un ejemplo se presenta en el esquema inferior.



SB: Suceso básico

SI: Sucesos intermedios

FC: Factores condicionantes



Análisis de consecuencias

CÁLCULO DE CONSECUENCIAS

REAL DECRETO 1196/2003, de 19 de septiembre, por el que se aprueba la Directriz básica de protección civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas.

4.4.2 Cálculo de consecuencias.

El cálculo de consecuencias se basará en la estimación de los valores que puedan alcanzar, espacial y temporalmente las variables representativas de los fenómenos peligrosos, incluyendo los parámetros medioambientales, derivados de los accidentes graves postulados, aplicando para ello modelos de cálculo adecuados.

Se considerarán, asimismo, aquellos accidentes que puedan producirse por efecto dominó, y los que tengan consecuencias medioambientales.

Para facilitar su comprensión, los resultados del análisis de consecuencias se representarán, indicando las zonas de intervención y de alerta de acuerdo con los valores umbrales indicados en el artículo 2 de esta directriz.

4.4.3 Cálculo de vulnerabilidad.

Una vez estimadas, para cada accidente grave, las magnitudes de los fenómenos peligrosos, se llevará a cabo un análisis de la vulnerabilidad que estos valores suponen para las personas, el medio ambiente y los bienes.

Para ello, se emplearán metodologías probabilísticas del tipo Análisis Probit (Probability Unit), en función de la disponibilidad y desarrollo de éstas.

FENÓMENOS PELIGROSOS

Los diversos tipos de accidentes graves pueden producir los siguientes fenómenos peligrosos para personas, el medio ambiente y los bienes:

- De tipo mecánico: ondas de presión y proyectiles.
- De tipo térmico: radiación térmica.
- De tipo químico: nube tóxica o contaminación del medio ambiente provocada por la fuga o vertido incontrolado de sustancias peligrosas.

FENÓMENOS PELIGROSOS

Suceso inicial

Tipo de accidente

Consecuencia

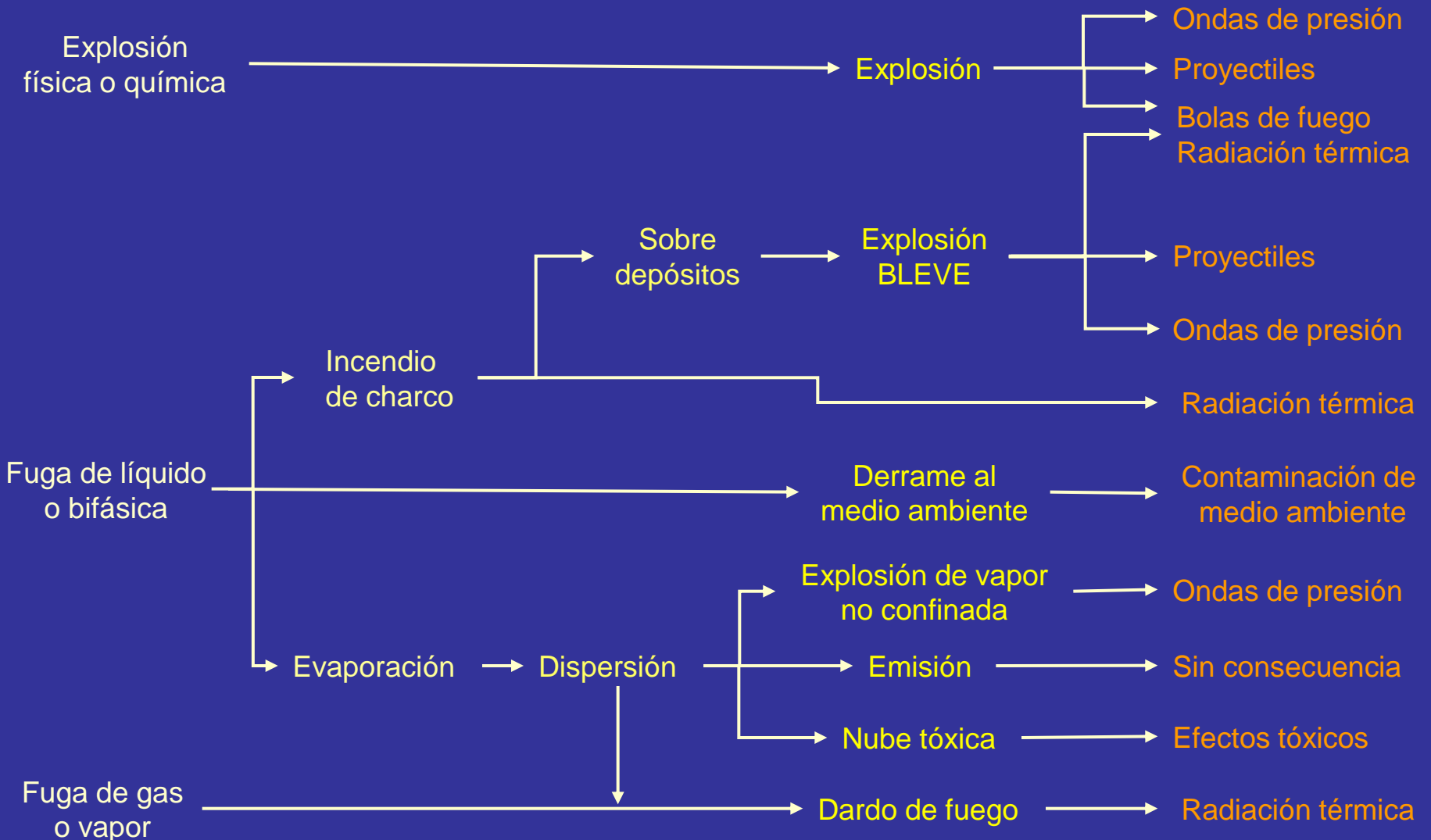


Figura tomada de www.unizar.es/guiar/1/Accident/An_conse/Metodos.htm

FENÓMENOS MECÁNICOS PELIGROSOS

Las ondas de presión son provocadas por las explosiones o equilibrio rápido entre una masa de gases a presión elevada y la atmósfera que la envuelve.

En el caso de que la energía necesaria para la expansión del gas proceda de un fenómeno físico, se dice que la explosión es física y se requiere que el producto esté confinado en un recipiente estanco (denominándose estallido).

Si la energía procede de una reacción química, se trata de una explosión química (o explosión, simplemente). En este caso la explosión puede ocurrir aunque el producto no esté confinado.

Una explosión confinada, o estallido, puede originar fragmentos del continente, y una no confinada, de sólidos de las inmediaciones del punto en que se ha producido la explosión. Estos fragmentos o proyectiles están dotados de gran cantidad de movimiento y sus dimensiones y alcance son variados pero limitados.

FENÓMENOS MECÁNICOS PELIGROSOS

EFFECTOS DE LAS ONDAS DE PRESIÓN

- 1. Efectos primarios:** los efectos primarios de la onda de presión tienen su origen en las compresiones y expansiones del aire atmosférico que pueden producir fenómenos de deformación y vibratorios que afecten a las estructuras de edificios e instalaciones y a los organismos vivos.
- 2. Efectos secundarios:** los efectos secundarios de la onda de presión tienen lugar cuando las deformaciones y tensiones dinámicas producidas superan las características de resistencia de las estructuras y éstas fallan. El fallo o rotura de las estructuras origina la formación de fragmentos que, por el impulso recibido de la onda de presión, actúan a su vez como proyectiles, cuyo impacto causa daños mecánicos adicionales.
- 3. Efectos terciarios:** los efectos terciarios de la onda de presión consisten en los daños causados por el desplazamiento del cuerpo de seres vivos e impacto de éste contra el suelo u otros obstáculos.

FENÓMENOS TÉRMICOS PELIGROSOS

Son provocados por la oxidación rápida, no explosiva, de sustancias combustibles, produciendo llama, que puede ser estacionaria (incendio de charco, dardo de fuego) o progresiva (llamarada, bola de fuego), pero que en todos los casos disipa la energía de combustión mayoritariamente por radiación que puede afectar a seres vivos e instalaciones materiales.

Si la materia sobre la que incide el flujo de radiación térmica no puede disiparlo a la misma velocidad que lo recibe, éste provoca un incremento de su temperatura. Si este incremento no se limita, se producen alteraciones irreversibles y catastróficas, que pueden culminar en la combustión o fusión y volatilización de la materia expuesta.

FENÓMENOS QUÍMICOS PELIGROSOS

Se incluyen aquí las nubes tóxicas o la contaminación del medio ambiente debida a fugas o vertidos incontrolados de sustancias peligrosas.

Estas sustancias químicas, directa o indirectamente, a través de reacciones secundarias inmediatas o diferidas, pueden producir efectos muy diversos en función de la categoría de la sustancia peligrosa de que se trate.

Los daños dependerán, para cada entorno, de las características orográficas del terreno, la concentración del tóxico y el tiempo de exposición.

La característica esencial de todos los productos y sustancias tóxicas es que para producir consecuencias deben difundirse a través de un medio, lo que requiere que transcurra un tiempo y, en ocasiones, permite la aplicación de medidas de protección más fácilmente que para los fenómenos térmicos y mecánicos, aunque, por otra parte, en muchos casos, resulta muy difícil conocer el desplazamiento de los contaminantes, su evolución, así como eliminarlos totalmente del medio al que se han incorporado.

FENÓMENOS QUÍMICOS PELIGROSOS

Para el medio ambiente:

1. Vertido de productos contaminantes en aguas superficiales, del que pueden derivarse la contaminación de aguas potables o graves perjuicios para el medio ambiente y las personas.
2. Filtración de productos contaminantes en el terreno y aguas subterráneas, que los dejan inservibles para su explotación agrícola, ganadera y de consumo.
3. Emisión de contaminantes a la atmósfera que determinan la calidad del aire provocando graves perturbaciones en los ecosistemas receptores con posible incorporación posterior a la cadena trófica

VARIABLES PELIGROSAS PARA PERSONAS Y BIENES

Fenómenos mecánicos

- Valor local del impulso en explosiones y deflagraciones.
- Sobrepresión local estática de la onda de presión en explosiones y deflagraciones.
- Alcance máximo de los proyectiles con impulso superior a 10 mbar·s

Fenómenos térmicos

Dosis de radiación

$$D = I_m^{4/3} \cdot t_{exp} \quad \left\{ \begin{array}{l} I_m: \text{intensidad media recibida (kW/m}^2\text{)} \\ t_{exp}: \text{tiempo de exposición (s)} \end{array} \right.$$

Válido para $I_m > 1,7 \text{ kW/m}^2$

Para incendios de duración corta ($< 1 \text{ min}$), $t_{exp} = \text{duración}$

Para incendios largos, $t_{exp} = \text{tiempo transcurrido hasta que los afectados alcancen una zona protegida (+ } t_{reacción}: 5 \text{ s; } V_{media \text{ de huida}}: 4 \text{ m/s)}$

VARIABLES PELIGROSAS PARA PERSONAS Y BIENES

Fenómenos químicos

$$D = C_{\max}^n \cdot t_{\exp}$$

C_{\max} : concentración máxima de la sustancia en el aire
 t_{\exp} : tiempo de exposición
 n : exponente dependiente de la sustancia

Para C_{\max} se utilizan los índices AEGL (“Acute Exposure Guideline Levels”), definidos para 3 niveles y periodos de referencia de 30 minutos, 1, 4 y 8 horas (algunos casos 10 minutos).

AEGL 1: las personas expuestas a una cantidad mayor que AEGL1 pueden experimentar síntomas que varían desde no síntomas a ligeras incomodidades.

AEGL 2: las personas expuestas a una cantidad mayor que AEGL2 pueden sufrir síntomas más severos hasta discapacidad.

AEGL 3: sin tratamiento médico exposiciones a cantidades mayores que AEGL3 pueden convertirse en peligrosas para la vida o resultar en muerte.

Se pueden interpolar para tiempos de paso de nube distintos a los de referencia:

Carbon tetrachloride Results - AEGL Program

Carbon tetrachloride 56-23-5 (Final)

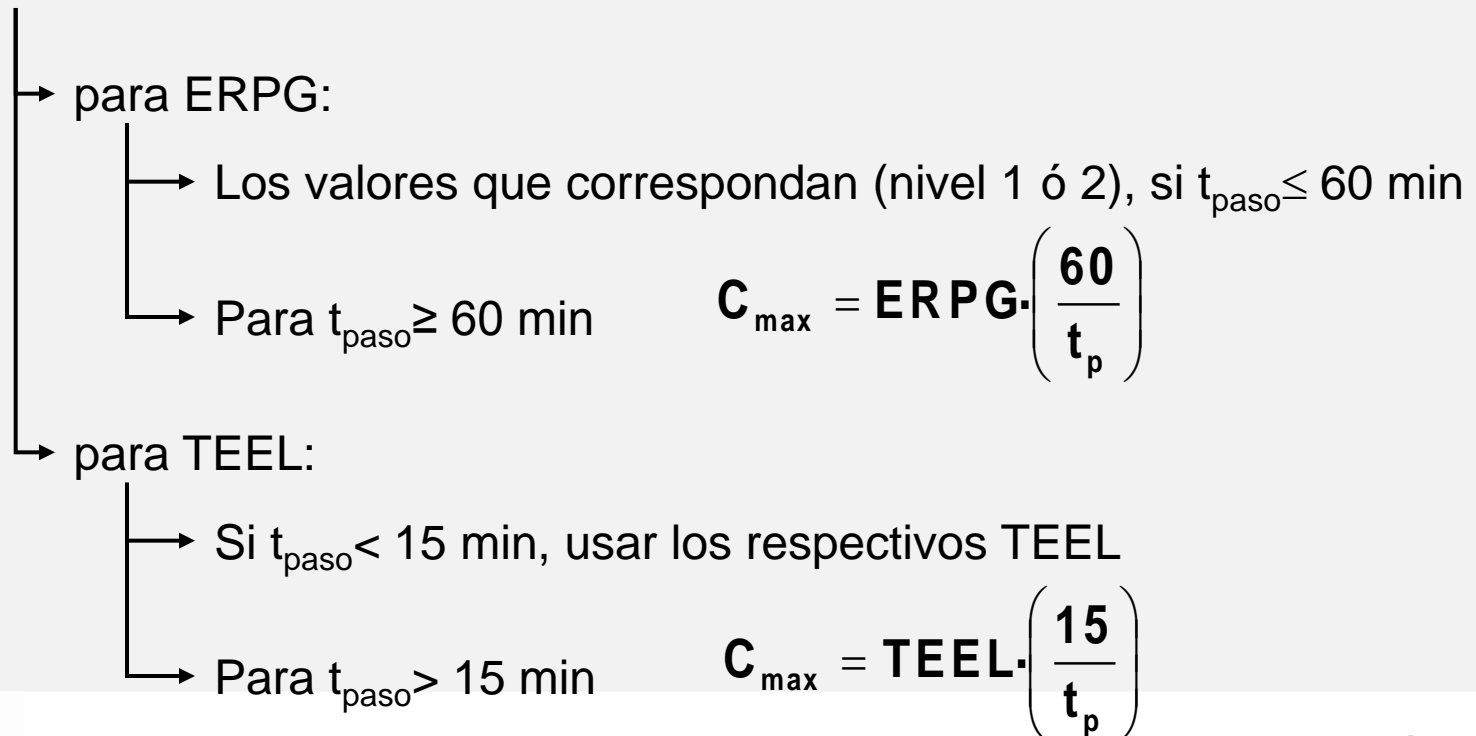
	10 min	30 min	60 min	4 hr	8 hr
ppm					
AEGL 1	NR	NR	NR	NR	NR
AEGL 2	27	18	13	7.6	5.8
AEGL 3	700	450	340	200	150

VARIABLES PELIGROSAS PARA PERSONAS Y BIENES

Para fenómenos químicos

Si la sustancia no tiene definido **AEGL**, se utilizarán **ERPG** (“Emergency response planning guidelines”: rangos de concentración en los que se puede prever razonablemente efectos adversos observables en 1 h) o **TEEL** (“Temporary emergency exposure”: rangos de concentración en los que se puede prever razonablemente efectos adversos observables en 15 min) .

Se establece C_{\max}



DETERMINACIÓN DE DISTANCIAS

Ejemplos de ecuaciones

Determinación para dispersión de sustancias tóxicas

Ec. Pasquill

$$C_{(x,y,z,h)} = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2} \left[e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{z-h}{\sigma_z}\right)^2} + e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{z+h}{\sigma_z}\right)^2} \right]$$

Ec. Sutton

$$C = \frac{5024 \cdot V \cdot M}{D_y D_z u x^{2-n}} e^{-\frac{y^2}{D_y^2 x^{2-n}}} \left[e^{-\frac{(z-h)^2}{D_z^2 x^{2-n}}} + e^{-\frac{(z+h)^2}{D_z^2 x^{2-n}}} \right]$$

Determinación para radiación térmica

$$q_r = 0,0796 \frac{\varphi m \Delta H_c}{d^2} \quad q_{r \max} = \frac{828 m^{0,771}}{d^2}$$

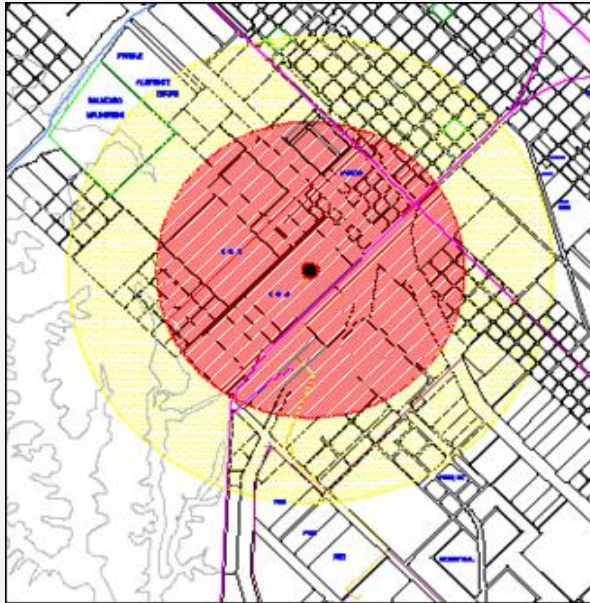
Determinación para sobrepresión

$$d = 107,9 \frac{m^{\frac{1}{3}}_{TNT}}{\Delta p^{0,583}}$$

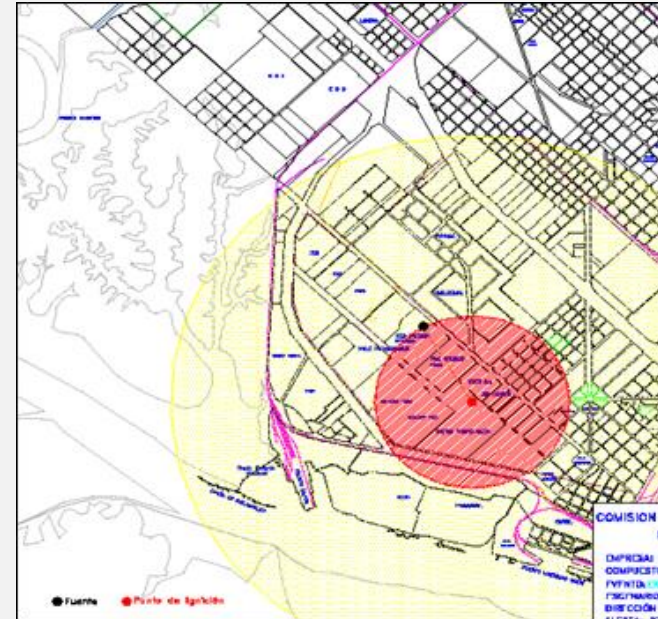
ZONAS OBJETO DE PLANIFICACIÓN

Zona de intervención: es aquella en la que las consecuencias de los accidentes producen un nivel de daños que justifica la aplicación inmediata de medidas de protección.

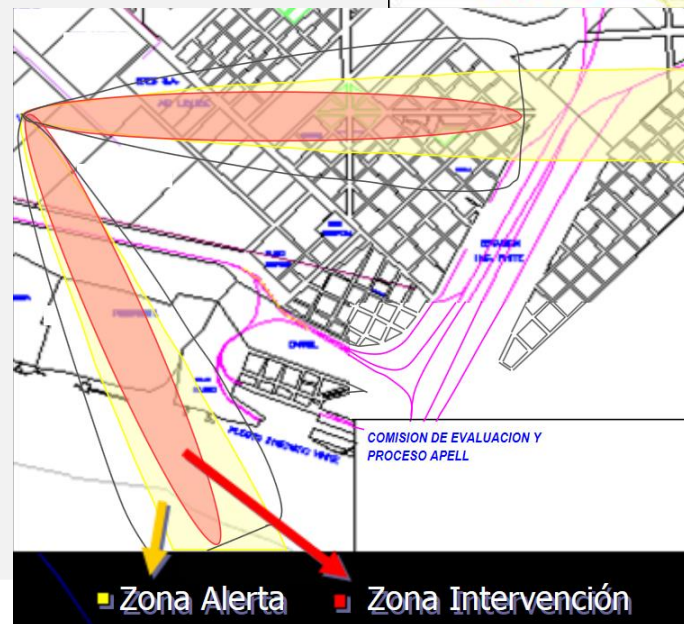
Zona de alerta: es aquella en la que las consecuencias de los accidentes provocan efectos que, aunque perceptibles por la población, no justifican la intervención, excepto para los grupos críticos de población.



Dosis térmica



Sobrepresión



Dosis tóxica

■ Zona Alerta ■ Zona Intervención

EFECTO DOMINÓ

“La concatenación de efectos que multiplica las consecuencias, debido a que los fenómenos peligrosos pueden afectar, además de los elementos vulnerables exteriores, otros recipientes, tuberías o equipos del mismo establecimiento o de otros establecimientos próximos, de tal manera que se produzca una nueva fuga, incendio, reventón, estallido en los mismos, que a su vez provoque nuevos fenómenos peligrosos.”

R.D. 1254/99

VALORES UMBRALES

Zona de intervención	<ol style="list-style-type: none">1. Un valor local integrado del impulso, debido a la onda de presión, de 150 mbar·s.2. Una sobrepresión local estática de la onda de presión de 125 mbar.3. El alcance máximo de proyectiles con un impulso superior a 10 mbar·s en una cuantía del 95%. Producidos por explosión o estallido de continentes.4. Una dosis de radiación térmica de $250 \text{ (kW/m}^2\text{)}^{4/3} \cdot \text{s}$,5. C_{max}: AEGL2, ERPG2 y/o TEEL2
Zona de alerta	<ol style="list-style-type: none">1. Un valor local integrado del impulso, debido a la onda de presión, de 100 mbar·seg.2. Una sobrepresión local estática de la onda de presión de 50 mbar.3. El alcance máximo de proyectiles con un impulso superior a 10 mbar·seg. en una cuantía del 99,9%. Producidos por explosión o estallido de continentes.4. Una dosis de radiación térmica de $115 \text{ (kW/m}^2\text{)}^{4/3} \cdot \text{s}$.5. C_{max}: AEGL1, ERPG1 y/o TEEL1
Efecto dominó	<ol style="list-style-type: none">1. Radiación térmica: 8 kW/m².2. Sobrepresión: 160 mbar.3. Alcance máximo de los proyectiles producidos por explosión o estallido de continentes (la distancia se calcula en función de las hipótesis accidentales consideradas).

METODOLOGÍA PROBIT

El análisis de consecuencias derivadas de los fenómenos peligrosos asociados a los accidentes mayores se realiza mediante la aplicación de la *Metodología Probit* (*Probability Unit*).

Se basa en la cuantificación probabilística de la vulnerabilidad de personas e instalaciones ante efectos físicos de una magnitud determinada.

Las ecuaciones y variables Probit permiten determinar la relación funcional entre las intensidades de los efectos y los umbrales de vulnerabilidad

$$Pr = f [\text{dosis y tiempo de exposición}]$$

Esta función adopta las siguientes formas para cada fenómeno:

METODOLOGÍA PROBIT

Para evaluar % de muertes por la exposición a **concentración tóxica**:

$$Pr = a + b \cdot \ln(c_{\max}^n \cdot t_{\exp})$$

$$\ln c_{\max} = \frac{Pr - a - b \cdot \ln t_{\exp}}{b \cdot n}$$

a,b,n: constantes para cada sustancia
c: concentración de la sustancia
t_{exp}: tiempo de exposición.

Sustancia	a (ppm)	b (ppm)	n (min)
Acilonitrilo	-29,42	3,008	1,43
Acroleína	-9,931	2,049	1
Amoníaco	-35,9	1,85	2
Benceno	-109,78	5,3	2
Bromo	-9,04	0,92	2
Bromuro de metilo	-56,81	5,27	1,00
Cianuro de hidrógeno	-29,42	3,008	1,43
Cloro	-8,29	0,92	2
Cloruro de hidrógeno	-16,85	2,00	1,00
Dióxido de azufre	-15,67	2,10	1,00
Dióxido de nitrógeno	-13,79	1,4	2
Fluoruro de hidrógeno	-35,87	3,354	1,00
Formaldehído	-12,24	1,3	2
Fosgeno	-19,27	3,686	1
Isocianato de metilo	-5,642	1,637	0,653
Monóxido de carbono	-37,98	3,7	1
Óxido de propileno	-7,415	0,509	2,00
Sulfuro de hidrógeno	-31,42	3,008	1,43
Tetracloruro de carbono	-6,29	0,408	2,50
Tolueno	-6,794	0,408	2,50

METODOLOGÍA PROBIT

Para evaluar % mortalidad por **irradiación térmica**:

$$\text{Pr} = -14,9 + 2,56 \cdot \ln \left(\frac{t_{\text{exp}} \cdot I_m^{4/3}}{10^4} \right)$$
$$\ln(I_m) = 0,293 \cdot \text{Pr} - \frac{3}{4} \ln(t_{\text{exp}}) + 11,273$$

I_m en W/m^2
 t_{exp} en s

Para evaluar % de muertes por hemorragia pulmonar debido a ondas de **sobrepresión**:

$$\text{Pr} = -77,1 + 6,91 \cdot \ln(\Delta p)$$

Δp en N/m^2

$$\ln(\Delta p) = \frac{\text{Pr} + 77,1}{6,91}$$

Para evaluar % de lesionados por desplazamiento y colisión del cuerpo contra obstáculos por **projectiles**:

$$\text{Pr} = -39,1 + 4,45 \cdot \ln(J)$$

J impulso en
 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$

$$\ln(J) = \frac{\text{Pr} + 39,1}{4,45}$$

METODOLOGÍA PROBIT

Porcentaje de población afectada

$$P = \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{Pr - 5}{\sqrt{2}} \right) \right]$$

Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%
0	0	3,72	10	4,16	20	4,48	30	4,75	40	5,00	50	5,25	60	5,52	70	5,84	80	6,28	90	7,33	99,0
2,67	1	3,77	11	4,19	21	4,50	31	4,77	41	5,03	51	5,28	61	5,55	71	5,88	81	6,34	91	7,37	99,1
2,95	2	3,82	12	4,23	22	4,53	32	4,80	42	5,05	52	5,31	62	5,58	72	5,92	82	6,41	92	7,41	99,2
3,12	3	3,87	13	4,26	23	4,56	33	4,82	43	5,08	53	5,33	63	5,61	73	5,95	83	6,48	93	7,46	99,3
3,25	4	3,92	14	4,29	24	4,59	34	4,85	44	5,10	54	5,36	64	5,64	74	5,99	84	6,55	94	7,51	99,4
3,36	5	3,96	15	4,33	25	4,61	35	4,87	45	5,13	55	5,39	65	5,67	75	6,04	85	6,64	95	7,58	99,5
3,45	6	4,01	16	4,36	26	4,64	36	4,90	46	5,15	56	5,41	66	5,71	76	6,08	86	6,75	96	7,65	99,6
3,52	7	4,05	17	4,39	27	4,67	37	4,92	47	5,18	57	5,44	67	5,74	77	6,13	87	6,88	97	7,75	99,7
3,59	8	4,08	18	4,42	28	4,69	38	4,95	48	5,20	58	5,47	68	5,77	78	6,18	88	7,05	98	7,88	99,8
3,66	9	4,12	19	4,45	29	4,72	39	4,97	49	5,23	59	5,50	69	5,81	79	6,23	89	7,33	99	8,09	99,9

El análisis se basará en la evaluación y parametrización de los cuatro componentes que constituyen el sistema de riesgo:

- Fuentes de riesgo.
- Sistemas de control primario.
- Sistemas de transporte.
- Receptores vulnerables.

BIBLIOGRAFÍA

- Bestratén M., *Nota Técnica de Prevención 238 Los análisis de peligros y de operabilidad en instalaciones de proceso.* www.mtas.es/insht/ntp/ntp_238.htm.
- Clemens, P. L. *Fault Tree Analysis 4th Ed* www.sverdrup.com/safety/fta.pdf
- Cortés, J. M. *Técnicas de Prevención de Riesgos Laborales*. Tébar Flores. Madrid (1996).
- Grupo Universitario de Investigación Analítica de Riesgos. Universidad de Zaragoza. www.unizar.es/guiar/1/Accident/An_riesgo/An_riesgo.htm.
- Piqué, T., Cejalvo, A. *NTP 333: Análisis probabilístico de riesgos: Metodología del “Arbol de fallos y errores”*. www.mtas.es/insht/ntp/ntp_333.hrm
- Storch de Gracia, J. M. *Manual de Seguridad Industrial en Plantas Químicas y Petroleras (2 vol.)*. McGraw Hill. Madrid (1998).
- Vesely, V. E., Goldberg, F. F., Roberts, N. H., Haasl, D. F. *Fault Tree Handbook*. U.S. Nuclear Regulatory Commission (1981)