

Guía técnica de criterios para la evaluación de escenarios en Análisis de Riesgo y Análisis Cuantitativos de Riesgo en el marco del RD 840/2015



Marzo 2026

Contenido

1	Introducción	7
2	Criterios para la evaluación de un AR	9
2.1	Introducción al AR.....	9
2.2	Criterios para la identificación de los peligros.....	10
2.3	Criterios para la selección de escenarios en un AR	13
2.3.1	Criterios generales.....	13
2.3.2	Escenarios de accidente genéricos	15
2.3.3	Escenarios de accidente específicos del proceso	17
2.3.4	Escenarios de accidente por efecto dominó (externos e internos)	18
2.3.5	Escenarios relevantes para el Plan de Emergencia Exterior.....	18
2.4	Condiciones meteorológicas (AR)	19
2.5	Criterios para el cálculo de efectos físicos.....	19
2.5.1	Salvaguardas tecnológicas.....	20
2.5.2	Caudal de fuga	22
2.5.3	Caudal a la nube	23
2.5.4	Cálculos de la dispersión	24
2.6	Criterios para el cálculo de las consecuencias (vulnerabilidad)	24
2.6.1	Radiación térmica	24
2.6.2	Sobrepresión local estática (explosiones)	25
2.6.3	Nubes tóxicas o inflamables	25
3	Criterios para la evaluación de un ACR	26
3.1	Introducción al ACR	26
3.2	Criterios para la identificación de los peligros.....	27
3.3	Criterios para la selección de escenarios en un ACR	27
3.3.1	Selección de instalaciones y equipos relevantes (método de screening)	27
3.3.2	Selección de hipótesis	29
3.4	Criterios para la selección de frecuencias	33
3.5	Criterios para la selección de las probabilidades de ocurrencia (árboles de eventos)	33
3.6	Condiciones meteorológicas (ACR).....	35
3.7	Criterios para el cálculo de efectos físicos.....	35
3.8	Criterios para el cálculo de las consecuencias (vulnerabilidad)	35
3.9	Riesgo individual	35
3.10	Riesgo social.....	35
4	Conclusiones	36

5	Referencias	37
---	-------------------	----

Índice de imágenes

Imagen 1: Esquema general de un ACR.....	9
Imagen 2: Esquema de un árbol de fallos y de un árbol de eventos.....	34

Índice de tablas

Tabla 1: Procedimientos y metodologías de identificación de peligros y riesgos.....	11
Tabla 2: Superficie de ruptura según DN (mm)	15
Tabla 3 Criterios para los tiempos de detección / actuación en fugas adaptados al AR	21
Tabla 4: Criterios para los tiempos de detección / actuación en fugas adaptados al AR	29
Tabla 5: Resumen del método de screening propuesto en el Purple Book.....	40

Glosario

ACR	Análisis Cuantitativo de Riesgo
AR	Análisis de Riesgo
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion. Explosión física (expansión) del vapor de un líquido en ebullición.
Boil off	Evaporación súbita de un líquido en ebullición
BPCS	Basic Process Control System .Sistema básico de control del proceso
DB	Directriz Básica de Protección Civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas
DOW CEI	DOW Chemical Exposure Index. Índice DOW de exposición a productos químicos nocivos y tóxicos.
DOW FEI	DOW Fire and Explosion Index. Índice DOW de Incendio y Explosión.
Flash	Fenómeno mediante el cual los gases licuados a presión entran en ebullición de manera súbita debido a la despresurización rápida del sistema.
Flash point	Temperatura de inflamación
FMECA	Failure Mode-Effect and Criticality Analysis. Análisis (crítico) modal de fallos y efectos.
FTA	Fault Tree Analysis. Análisis por árbol de fallos
HAZOP	Hazard and Operability Analysis. Análisis de peligros y operabilidad
IS	Informe de Seguridad
Jet fire	Dardo de fuego
LEL	Lower Explosion Limit. Límite inferior de explosividad
LOCs	Loss of Containment events. Escenarios de pérdidas de contención (fugas).
LOPA	Layer of Protection Analysis. Análisis de las capas de protección. Método semi-cuantitativo de análisis de riesgo
MSDS	Material Safety Data Sheet. Hoja de seguridad de un producto químico
PAU	Plan de Autoprotección
PFD	Probability of failure on demand. Probabilidad de fallo en demanda
PHA	Process Hazard Analysis. Análisis de peligros de proceso
Pool fire	Incendio de un charco
PPAG	Política de Prevención de Accidentes Graves
PSV	Pressure Safety Valve. Válvula de alivio de presión. También PRV
Rain out	En una fuga de un gas licuado, cantidad de producto que no se incorpora a la nube y forma un charco
Runaway	Reacción fuera de control
SGS	Sistema de Gestión de la Seguridad
SIF	Safety Instrumented Function. Función instrumentada de seguridad

SIL	Safety Integrity Level. Nivel de integridad de seguridad de una SIF
SIS	Safety Instrumented System. Sistema formado por el conjunto de SIFs. Es el equivalente al BPCS pero es exclusivo para la seguridad
TNO	Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek. Organización Holandesa para la Investigación Científica Aplicada
VCE	Vapour Cloud Explosion. Explosión de vapor
What if?	Qué pasa sí...?. Método cualitativo de análisis de riesgo

Sumario

La Directiva Seveso III y sus modificaciones posteriores, impone una serie de requerimientos tanto a los industriales afectados como por las Autoridades Competentes. Una de estas obligaciones de la Administración Competente consiste en la evaluación de los Informes de Seguridad.

A efectos de armonizar los criterios empleados en la evaluación de los Informes de Seguridad (IS) y Análisis Cuantitativos de Riesgos (ACR), el Departamento de Industria, Transición Energética y Sostenibilidad del Gobierno Vasco publica unas guías técnicas para la evaluación de estos documentos, en particular en lo referente a los criterios para la identificación de los peligros y para la selección de los escenarios. Estas guías son una revisión y actualización de las guías publicadas en julio de 2009, desarrolladas por TNO Built Environment and Geosciences.

Estos aspectos se tratan en detalle en los capítulos 2 y 3 de este informe, junto con otros aspectos como por ejemplo criterios básicos para el cálculo de efectos físicos y consecuencias.

En concreto, en el apartado 2.3 de este informe se recomiendan criterios para la selección de escenarios para un AR, mientras que en el apartado 3.3 se recomiendan criterios para la selección de escenarios en un ACR.

En el capítulo 3 se recomiendan además fuentes bibliográficas para la obtención de frecuencias estándar de fallos de equipos, necesarios a la hora de realizar un ACR.

La presente revisión de la guía técnica de criterios para la evaluación de escenarios en Análisis de Riesgo (AR) y Análisis Cuantitativos de Riesgo (ACR) en el marco del RD 840/2015 se realiza a propuesta del grupo de trabajo de accidentes graves formado por evaluadoras, asociaciones industriales, organismos de control y administración, con el fin de actualizar los criterios básicos a considerar para la planificación de emergencias en el entorno de empresas afectadas por la reglamentación de Accidentes Graves [15] realizado por TNO para el DICT en el que se detalla cómo determinar los escenarios del AR que resultan relevantes para la realización del Plan de Emergencia Exterior.

Al respecto, las principales modificaciones introducidas tienen que ver con:

1. Revisión de cálculos para hipótesis de accidente al revisar un informe de seguridad
2. Hipótesis de accidentes en rotura de tubería
3. Consideración de ruptura de un elemento flexible de unión entre tuberías y equipos de un establecimiento
4. Consideración de tiempo de funcionamiento de bombas y otros equipos
5. Superficie de charco para la cuantificación del riesgo en Informes de Seguridad
6. Alcance de sobrepresión de nube inflamable en caso de que la masa explosiva sea igual o inferior a 1 tonelada

1 Introducción

El Departamento de Industria, Comercio y Turismo del Gobierno Vasco publicó en enero de 2024 la Orden del 10 de enero de 2024 [1], sobre la documentación, evaluación e inspecciones relacionadas con la prevención de accidentes graves (AAGG) en los que intervengan sustancias peligrosas.

En julio de 2009 se publicó la guía técnica de criterios para la evaluación de escenarios en Análisis de Riesgo (AR) y Análisis Cuantitativos de Riesgo (ACR) en el marco del RD 840/2015, desarrollada por TNO Built Environment and Geosciences. Esta guía es una revisión y actualización de dicha guía.

La Directriz Básica de Protección Civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas [2] (DB), no especifica qué escenarios de accidente deben incluirse en un Análisis de Riesgo (AR) o en un ACR, ambos partes integrantes de un IS. La única información al respecto citada expresamente se indica a continuación:

Se identificarán los peligros de accidentes graves vinculados a:

a) Operaciones, es decir, posibles errores humanos durante las mismas, fallos técnicos y de funcionamiento de los equipos, fallos de contención, parámetros del proceso fuera de los límites fijados, deficiencias en el suministro de servicios, etc.

b) Sucesos externos, como impacto de actividades próximas, transporte, peligros naturales, etc.

c) Vigilancia, es decir, intervenciones no autorizadas.

d) Otras causas relacionadas con el diseño, construcción y gestión de la seguridad, como errores de diseño, procedimientos operacionales, modificaciones de procesos o equipos inadecuadas, fallos en el sistema de permisos de trabajo, mantenimiento inapropiado, etc.

A efectos de armonizar los criterios empleados en la evaluación de los Informes de Seguridad (IS) y Análisis Cuantitativos de Riesgos (ACR), el Departamento de Industria, Transición Energética y Sostenibilidad se publica esta guía técnica para la evaluación técnica de estos documentos, en particular en lo referente a los criterios para la identificación de los peligros y para la selección de los escenarios. Estas guías son una actualización de las publicadas en julio de 2009, desarrolladas por TNO Built Environment and Geosciences para el Departamento de Industria, Comercio y Turismo del Gobierno Vasco.

Estos aspectos se tratan en detalle en los capítulos 2 y 3 de este informe, junto con otros aspectos como por ejemplo criterios básicos para el cálculo de efectos físicos y consecuencias.

En concreto, en el apartado 2.3 de este informe se recomiendan criterios para la selección de escenarios para un AR, mientras que en el apartado 3.3 se recomiendan criterios para la selección de escenarios en un ACR.

En el capítulo 3 se recomiendan además fuentes bibliográficas para la obtención de frecuencias estándar de fallos de equipos, necesarios a la hora de realizar un ACR.

2 Criterios para la evaluación de un AR

2.1 Introducción al AR

En primer lugar, es importante diferenciar un AR de un ACR (más completo). En la siguiente imagen se presenta el esquema general de un análisis cuantitativo de riesgos (ACR), en el cual se destaca la parte correspondiente al análisis de riesgo (AR). Ambos documentos tienen en común la identificación de los escenarios accidentales:

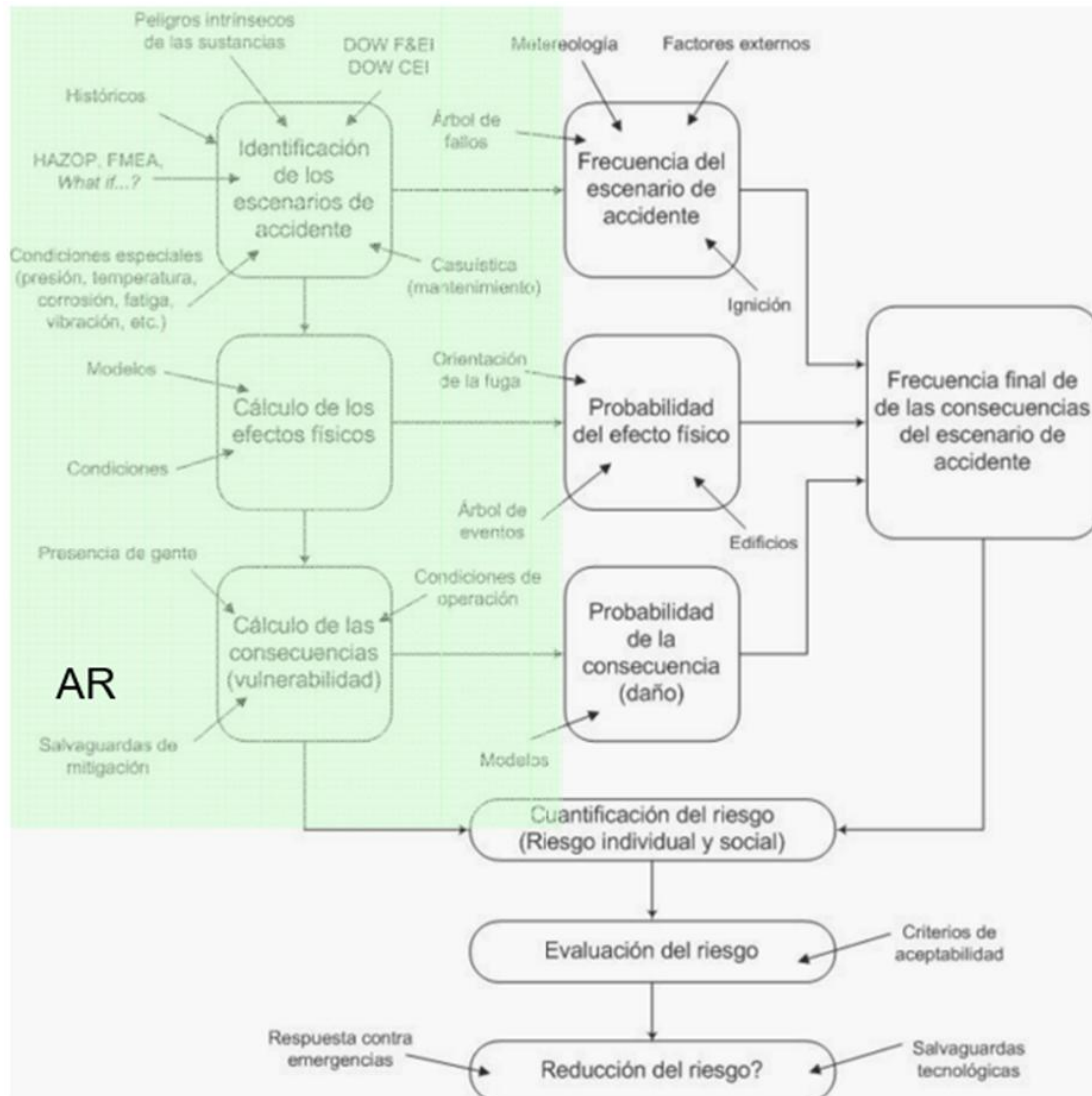


Imagen 1: Esquema general de un ACR

Aunque existe cierta ambigüedad, una definición ampliamente aceptada de los accidentes a contemplar en un Análisis de Riesgo (AR) es que mediante la selección presentada se obtenga una visión representativa de los peligros en un establecimiento industrial, a diferencia de lo que se persigue en un ACR. Esto es debido a que en España los Informes de Seguridad tienen un enfoque determinista, siguiendo los criterios de la DB [2].

El ACR, por el contrario, pretende cuantificar el riesgo de todos los escenarios accidentales de manera objetiva.

Dando por buena esta definición, para que exista representatividad, los escenarios de accidente deben como mínimo contemplar:

- Las sustancias clasificadas (ver nota 1) en cantidades que puedan dar lugar a un accidente grave, o en procesos que confieran a estas sustancias peligros adicionales a los intrínsecos (presión, temperatura, etc.).
- Las operaciones llevadas a cabo en el establecimiento (transporte, almacenamiento, carga/descarga, proceso, mezcla, etc.).
- Las operaciones extraordinarias, aunque comunes, en establecimiento tales como paradas por emergencia, mantenimiento, inspección, prueba, purgas, puestas en marcha e instalación o desmantelamiento de equipos, etc.

Todos los escenarios de accidente deberán ser identificados en la identificación de los peligros, base de la cuál parten los diferentes análisis de riesgo. Los escenarios a contemplar en un ACR se detallan más adelante en el capítulo 3.

Adicionalmente, y a partir de la publicación del informe sobre planificación de emergencias en los alrededores de las empresas afectadas por la legislación de Accidentes Graves [15] el AR deberá incluir un capítulo donde se determinen los escenarios considerados relevantes para la redacción del PEE. Para ello se utilizará la metodología descrita en el citado informe.

2.2 Criterios para la identificación de los peligros

Como se indica anteriormente, la identificación de los peligros es común a cualquier análisis de riesgo (cuantitativo o determinista). Para que la identificación sea completa y rigurosa, ésta debe ser:

- **Sistemática y objetiva:** deberán prevenirse tanto como sea posible los juicios expertos que tienden a ser subjetivos y pueden ignorar peligros. Esto no contradice el hecho de que los operadores del establecimiento y/o el contratista EPC (Engineering, Procurement and Construction) contribuyan a la identificación con su experiencia en el proceso.
- **Documentada:** la identificación de los peligros debe permitir su evaluación y auditoría.
- **Actualizada.**

1 Por sustancias clasificadas se entiende sustancias clasificadas por el RD 840/2015 [3] y sus modificaciones posteriores, o sustancias clasificadas que puedan generarse como resultado de una reacción indebida o incontrolada excepto en el caso de incendios.

La Política de Prevención de Accidentes Graves (PPAG) y el Sistema de Gestión de la Seguridad (SGS) son las herramientas que deberán garantizar que la identificación de los peligros se realiza de acuerdo con las 3 directrices indicadas anteriormente, con especial mención a la gestión del cambio (operaciones de mantenimiento, modificaciones en la instalación, revampings, ampliaciones, cambios en la Legislación, etc.).

A continuación, se destacan algunas de los procedimientos y metodologías existentes aceptadas internacionalmente para la identificación de los peligros. Nótese que algunas de estas metodologías tienen en cuenta la probabilidad de ocurrencia de los eventos, y por tanto se trata de metodologías de análisis de riesgo (en lugar de meramente análisis de peligros):

Tabla 1: Procedimientos y metodologías de identificación de peligros y riesgos

Metodología	Características	Comentarios
Peligrosidad intrínseca de las sustancias fichas de seguridad (MSDS)	Cualitativa	Indispensable. Muy útil para aquellos establecimientos con gran variedad de sustancias. Permite agrupar sustancias por familias para la selección de escenarios. Elaborar una matriz de incompatibilidades en este punto resulta muy útil.
Análisis de la reactividad química de las sustancias	Cualitativa	Este estudio complementa al anterior, y sirve para determinar los riesgos derivados de la reactividad de sustancias: - Descomponen (inestables) que: - Polimerizan - Pirofóricas - Formen peróxidos - Reaccionan con el agua - Comburentes Este estudio tiene especial interés para establecimientos con reacciones químicas.
Análisis histórico de accidentes	Cualitativa	Indispensable, aunque no suficiente. Permite conocer incidentes en plantas similares (lecciones aprendidas).
What if...? y listas de comprobación	Cualitativa	Muy útil para evaluar desviaciones peligrosas en relación con procedimientos operativos.
DOW FEI y CEI	Semi-cuantitativa	Muy útil para seleccionar unidades críticas en establecimientos.
HAZOP	Semi-cuantitativa (si se evalúan las probabilidades de)	Metodología potente para analizar qué desviaciones operacionales pueden llevar a situaciones peligrosas. Muy útil para procesos continuos.
FMECA	Semi-cuantitativa	Similar al HAZOP. Versátil, aunque muy útil para procesos no continuos (carga/descarga, batch, etc.).

Las técnicas “What if...?”, HAZOP y FMECA son las llamadas Análisis de Peligros del Proceso (Process Hazard Analysis) y fundamentalmente están orientadas a identificar los peligros más comunes en la operación de un proceso. Estas técnicas se deben aplicar a los diferentes modos operativos tales como la operación normal, las paradas (de emergencia o por mantenimiento, prueba o inspección), las puestas en marcha, etc.

La combinación de estas técnicas junto con una valoración de la probabilidad de ocurrencia de los peligros identificados, ha dado lugar a técnicas de última generación tales como LOPA y estudios SIL que tienen especial interés para valorar si las salvaguardas tecnológicas u organizativas presentes en las instalaciones garantizan un nivel de protección adecuado.

Sin embargo, en muchas ocasiones estos análisis no contemplan posibles causas no tan comunes, y en muchos casos no operacionales, como por ejemplo la fatiga, corrosión, defectos de material, instalación incorrecta de equipos, mantenimiento defectuoso, fallo humano, efecto dominó, causas externas a la instalación, sabotajes, etc. que deberán analizarse complementariamente.

De acuerdo al criterio del Departamento de Industria, Transición Energética y Sostenibilidad del Gobierno Vasco, y siguiendo el criterio de TNO de la anterior guía, para nuevos establecimientos, modificaciones y/o ampliaciones de instalaciones existentes relacionados con sustancias clasificadas por el RD 840/2015 [3] y sus modificaciones sucesivas, se exigirá la realización de un estudio de peligros y operabilidad (HAZOP) o técnica equivalente. El titular podrá justificar la no necesidad de llevar a cabo tal estudio por la situación particular de cada caso en relación con la seguridad.

Para establecimientos existentes, el titular deberá demostrar que ha realizado una identificación de peligros de manera sistemática, objetiva, documentada y actualizada, según marca su Sistema de Gestión de la Seguridad (SGS).

Como criterio general, al realizar la revisión de un informe de seguridad deben rehacerse todos los cálculos con la versión más actualizada de la aplicación informática a utilizar, para comprobar que las posibles modificaciones en la aplicación no modifican las condiciones establecidas en el mismo.

2.3 Criterios para la selección de escenarios en un AR

2.3.1 Criterios generales

De acuerdo con el criterio del Departamento de Industria, Transición Energética y Sostenibilidad del Gobierno Vasco, y siguiendo las directrices de las anteriores guías desarrolladas por TNO, y de acuerdo con los criterios de escenarios de accidente:

- Para todas las sustancias afectadas por el RD 840/2015 [3] y sus modificaciones sucesivas en cantidades que superen el 80 % del umbral de la columna 2 (ver notas 2,3).
- Para las sustancias afectadas por el mencionado Real Decreto que no superen el 80 % del umbral de la columna 2 pero que se considere que pueden dar lugar a un accidente grave (por ejemplo, por cantidad, por sus características (toxicidad, volatilidad, etc.), por ubicación en la planta con relación al exterior, por efecto dominó, etc.).
- Para equipos con grandes inventarios de sustancias peligrosas (tanques de almacenamiento, columnas y depósitos de proceso, camiones cisterna, equipos de proceso, tuberías, conexiones y bombas de gran tamaño, incendios en naves de almacenamiento, etc.).
- Para equipos sometidos a operaciones frecuentes y por tanto con mucho desgaste, como por ejemplo mangueras y o brazos de carga/descarga, conexiones de instrumentación y purga, bombas, hornos, calderas, almacenes con movimiento de recipientes unitarios, cilindros y botellones, etc.
- Para equipos en condiciones energéticas o mecánicas extremas como altas temperaturas, presiones, etc. (reactores, compresores, intercambiadores, columnas, reboilers, etc.).

2 *Ténganse en cuenta además las sustancias que se puedan generar como resultado de una pérdida de control de una reacción (subproductos, reacciones indebidas, etc.), de una formulación indebida o de un contacto fortuito entre dos sustancias incompatibles (por ejemplo, en la fosa de recogida de derrames, en un cubeto, etc.). Para ello, deberá estudiarse las características de las sustancias tales como inventario, peligrosidad, estado (sólido, líquido, gas, criogénico), presión de vapor (volatilidad), etc*

3 *En caso de que haya muchas sustancias que superen el 80 % del umbral de la columna 2, el titular podrá justificar por la tipología común de los riesgos de algunas de ellas la no necesidad de plantear hipótesis accidentales para todas ellas, por ejemplo, agrupando las sustancias por familias (inflamables, explosivas, peligrosas para el medio ambiente, etc.). En ocasiones, por sus características fisicoquímicas (punto de fusión, estado físico, etc.) o por las medidas existentes en la empresa, se justifica que no se planteen hipótesis accidentales para sustancias que superen el 80% del umbral de la columna 2*

Estos fallos pueden desembocar en situaciones de pérdida de contención (fugas) de sustancias peligrosas y constituirán los escenarios de accidente.

Para evaluar las consecuencias de los posibles fallos, no es necesario valorar las consecuencias de todos los fallos, sino que la valoración puede restringirse a escenarios de accidente que sean representativos. Por ejemplo, no hace falta definir un escenario para la rotura de cada una de las tuberías conectadas a un depósito o para las roturas del propio depósito, sino que se plantea como representativa la rotura de la tubería de mayor diámetro conectada a la fase líquida del depósito debido a que este escenario cubre la mayoría de las consecuencias de los otros escenarios y a que casuísticamente se tiene amplia constancia de este escenario.

Las causas de estos fallos deberían de haber sido identificados en la fase anterior, que como se viene comentando, es crucial que se haya realizado de manera sistemática. Así, tenemos que, para los dos primeros tipos de equipos, los escenarios de accidente serán de tipo genérico basados en casuística. La principal justificación de estos escenarios es el inventario potencialmente involucrado y la frecuencia de las operaciones (cuantas más veces se realice una operación, más fácil es que algo vaya mal).

Para equipos en condiciones energéticas o mecánicas extremas, los escenarios de accidente serán de tipo operacional (a menudo por error humano), y a menudo las posibles causas se identificarán en los análisis de riesgos de procesos y por la propia experiencia de los operadores.

2.3.2 Escenarios de accidente genéricos

En general, se pueden distinguir los siguientes tipos de escenarios de accidente:

2.3.2.1 Fallos en tuberías (aéreas⁴)

En relación con la rotura por impacto externo de una tubería rígida de sustancia peligrosa debe considerarse que la misma estará condicionada por el diámetro nominal de la misma. Se aceptan como superficie de ruptura las indicadas en la siguiente tabla:

Tabla 2: Superficie de ruptura según DN (mm)

DN (mm)	Superficie (mm ²)
500	50
450	45
400	40
350	35
300	30
250	25
200	20
175	20
150	20
125	20
100	20
80	Total
65	Total
50	Total
40	Total
25	Total
20	Total
15	Total

2.3.2.2 Fallos en conexiones de carga o descarga (mangueras flexibles y brazos)

La experiencia ha demostrado que, en caso de incendio o ruptura de un elemento flexible de conexión entre una tubería fija y un equipo, este elemento colapsa en su totalidad, por tanto, al analizar las consecuencias de un accidente por rotura del mismo, debe considerarse la fuga producida por rotura total del mismo.

Debe considerarse el escenario de rotura de estos elementos de forma específica en las hipótesis consideradas al realizar el análisis de riesgos.

4

Roturas en tuberías de transporte enterradas en racks dedicados o diseñadas según ciertos códigos de reconocido prestigio (el holandés NEN 3650, el inglés BS 810 o el alemán DIN 2470-2) presentan en general frecuencias de ocurrencia menores que las tuberías aéreas. Esto podría justificar la no inclusión de escenarios para este tipo de tuberías enterradas

2.3.2.3 Fallos en bombas o en compresores

Tiempo de funcionamiento de bombas, compresores y otros equipos

Para el cálculo de probabilidades de hipótesis que incluyan bombas, compresores u otros equipos, es importante tener en cuenta si la bomba funciona de forma continua o de manera intermitente. Por lo tanto, si el industrial dispone de un sistema mediante el que pueda acreditar el número de horas de funcionamiento de estos equipos, deberá declarar este dato en el informe de seguridad teniendo a disposición tanto de la Administración como de los agentes colaboradores la justificación del dato.

En caso de no disponer del tiempo de funcionamiento de los equipos, el criterio para la realización del informe de seguridad será el más conservador, funcionamiento continuo. En caso de que el criterio del informe de seguridad sea más conservador que el criterio de la entidad evaluadora, el criterio estimado por el industrial debería ser aceptado.

2.3.2.4 Fallos en tanques de almacenamiento y depósitos de proceso⁵

Se supone que el fallo en un recipiente es equivalente al fallo de la tubería más grande conectada al equipo en la fase líquida (generalmente es el caso más desfavorable). Se considerarán roturas totales (100 % de la sección) o parciales, según el diámetro de la tubería y de acuerdo con el criterio expresado en el apartado anterior para fallos en tuberías (ver Tabla 2):

La razón de no incluir escenarios genéricos de pérdidas de inventario instantáneas por fallos directamente en los recipientes es que estos equipos son menos vulnerables que las conexiones de conducción, instrumentación y purga, etc. y por tanto, estos escenarios son menos probables.

2.3.2.5 Escenarios en buques y camiones/vagones cisterna

Idem criterio tanques de almacenamiento y depósitos de proceso.

2.3.2.6 Fallos en recipientes móviles

El transporte de recipientes móviles (cilindros, botellones, containers, sacos, etc.) desde los almacenes hasta las áreas de proceso es una actividad que se realiza muy frecuentemente mediante carretillas y vehículos elevadores operados por personas. Es frecuente que en el trasiego de estos envases unitarios se produzcan derrames, roturas, roturas en válvulas, etc. y por tanto conviene considerar estos escenarios para sustancias que no se almacenen a granel dentro de la planta y sean susceptibles de generar un accidente grave.

5

Por depósitos de proceso se entiende depósitos de almacenamiento dentro del límite de batería, depósitos buffer, columnas de destilación, reboilers, depósitos de reflujo, separadores, etc. con inventario significativo

2.3.2.7 Incendios y explosiones en almacenes

En naves de almacenamiento de recipientes móviles inflamables, la probabilidad de incendio es relativamente alta y por tanto conviene considerar este escenario, siempre y cuando no existan salvaguardas tecnológicas (detección y extinción) suficientemente fiables que hagan la probabilidad. Los incendios pueden resultar especialmente peligrosos si los materiales que intervienen en el mismo pueden generar productos tóxicos de combustión.

En almacenamientos de sustancias susceptibles de explotar (explosivos, materiales inestables, peróxidos, etc.) cabría considerar un escenario de esta tipología a no ser que las medidas de seguridad se consideren fiables y suficientes.

2.3.3 Escenarios de accidente específicos del proceso

Establecer escenarios de accidente específicos es una tarea difícil debido al gran número de posibilidades y a que cada proceso es diferente. Es muy difícil realizar una clasificación que abarque a todos estos tipos de escenarios. Algunos de estos escenarios se indican a continuación:

- BLEVEs;
- Sobrellenados;
- Presurización de equipos con riesgo de explosión física (estallido);
- Explosiones confinadas (químicas y/o físicas);
- Reacciones runaway;
- Fallos espúreos de válvulas de corte o de sistemas de alivio;
- Fallos de instrumentación o del BPCS (sistema básico de control de procesos);
- Corte de suministros (eléctrico, agua de refrigeración, aire, nitrógeno para inertización, etc.);
- Fallos de scrubbers;
- Formulaciones erróneas
- Errores humanos.

Como se indica anteriormente, estos escenarios se identifican mediante técnicas de análisis de riesgos de proceso (PHA) y con la ayuda sobre todo de los operadores conocedores del proceso en cuestión.

Estos escenarios deberán complementar la selección de escenarios genéricos para que el AR gane en representatividad, considerando aquellos equipos en unas condiciones particulares de presión, temperatura, energía mecánica, etc. En otras palabras, estos escenarios deberán aportar “algo nuevo” al cálculo de los efectos y consecuencias.

La decisión de incluir o no estos escenarios en el AR dependerá del conocimiento de los riesgos del proceso por parte del industrial o del analista de riesgo, y de los escenarios genéricos planteados. Por ejemplo, un sobrellenado de un tanque ubicado en un cubeto no aporta prácticamente nada al AR si se ha estudiado ya la rotura de la tubería de fondo del tanque⁶.

La determinación de esta frecuencia deberá realizarse de manera precisa mediante técnicas cualitativas como HAZOP-SIL o FMECA, semicuantitativas como LOPA (Layer of Protection Analysis) o cuantitativas como por ejemplo, árboles de fallos.

2.3.4 Escenarios de accidente por efecto dominó (externos e internos)

Deberán tenerse en cuenta también fallos de equipos por impactos de fragmentos de otros equipos de la propia planta o de un establecimiento vecino. Se debe prestar especial atención a equipos rotativos como compresores, turbinas, bombas, centrífugas, etc. y equipos susceptibles de explotar y de lanzar proyectiles (calderas, hornos, calderines, etc.).

Con respecto a impactos de elementos ajenos al establecimiento, conviene considerar sucesos externos tales como accidentes aéreos o aerogeneradores, si la proximidad de un aeropuerto o de un parque eólico hace posible este hecho.

Cabe mencionar en este apartado los sabotajes por intrusiones y fallos en los sistemas de vigilancia.

2.3.5 Escenarios relevantes para el Plan de Emergencia Exterior

Tal y como se detalla en el documento Propuesta de criterios básicos a considerar para la planificación de emergencias en el entorno de empresas afectadas por la reglamentación de Accidentes Graves [15] el AR deberá incluir un capítulo donde conste la relación de escenarios que deberán ser considerados relevantes para la redacción del PEE. Para ello se utilizará la metodología descrita en el citado informe:

6

A excepción de cuando la cantidad potencialmente vertida por sobrellenado supere el inventario del tanque (accidente de Buncefield, 2006).

1. Determinación de las frecuencias de los escenarios. Para ello se utilizarán los criterios descritos en el PB [4].
2. Seleccionar como escenarios relevantes para el PEE aquellos cuya frecuencia de ocurrencia sea mayor de 10^{-6} año⁻¹
3. Si los alcances calculados de algunos escenarios seleccionados tienen unos valores de ZI y Za que pueden constituir un problema a la hora de la planificación de las emergencias, por resultar grandes distancias o afectar a elementos especialmente vulnerables, se puede corregir la frecuencia del suceso iniciador con la frecuencia del suceso final, teniendo en cuenta las condiciones particulares del escenario (árbol de eventos). Aquellos escenarios cuya frecuencia del suceso final sea mayor de 10^{-6} año⁻¹ serán relevantes para el PEE.
4. Adicionalmente, se puede calcular la frecuencia de exposición, combinando la frecuencia del escenario con la probabilidad de las condiciones atmosféricas, convirtiendo la frecuencia del suceso final a frecuencia de exposición para cada uno de los cinco sectores de dirección del viento, multiplicado por 0,2 para condiciones atmosféricas neutrales o por 0,06 para condiciones muy estables. Los escenarios con una frecuencia mayor de 10^{-6} año⁻¹ serán los escenarios relevantes para el PEE.
5. Finalmente, para los escenarios relevantes restantes, puede evaluarse la posibilidad de reducción de la frecuencia de exposición en base a la presencia de medidas adicionales de protección (por ejemplo, válvulas de seguridad, cortinas de agua, etc). Si, a pesar de las medidas adicionales de seguridad, la frecuencia de exposición resulta mayor de 10^{-6} año⁻¹ deberá seleccionarse como relevante para el PEE.

2.4 Condiciones meteorológicas (AR)

Las condiciones meteorológicas empleadas en el AR deberán cubrir por lo menos la situación más frecuente relativa a la velocidad de viento y a la estabilidad atmosférica correspondiente a la zona donde se ubica el establecimiento, y una situación desfavorable (y quizás poco frecuente) como por ejemplo una estabilidad atmosférica muy estable (Pasquill F).

Normalmente, se escoge una velocidad de viento baja (1-2 m/s) para caracterizar a una atmósfera muy estable.

En caso de no disponer de datos meteorológicos, se pueden asumir por ejemplo las siguientes condiciones atmosféricas:

- Estabilidad D de Pasquill y velocidad de viento entre 3 y 4 m/s
- Estabilidad F de Pasquill y velocidad de viento entre 1 y 2 m/s

2.5 Criterios para el cálculo de efectos físicos

En el cálculo de efectos de pérdidas de contención (fugas) de materiales peligrosos, se distinguen los siguientes pasos:

1. Cálculo del caudal de la fuga.
2. Cálculo del caudal de evaporación.
3. Cálculos de la dispersión.

El cálculo de la cantidad de gas, vapor, líquido y/o fluidos en doble fase correspondiente a una fuga se realizará aplicando los correspondientes modelos de fuga. Para estos cálculos, se recomiendan los modelos incluidos en el Yellow Book [5].

Antes de proceder a los criterios para el cálculo de efectos físicos, conviene destacar en un apartado el papel de las salvaguardas tecnológicas y medidas organizativas de prevención y mitigación de accidentes en el AR.

2.5.1 Salvaguardas tecnológicas

En general, se distinguen dos tipos de salvaguardas tecnológicas según su función:

- Prevención: funciones instrumentadas de seguridad (SIFs), válvulas de alivio de presión (PSVs), etc
- Mitigación: drenajes, cubetos, detectores, sprinklers, válvulas de aislamiento rápido (exceso de flujo, on/off operadas remotamente), cortinas de agua, etc.

Debido al enfoque determinista del AR, siguiendo el criterio de la guía anterior, solamente los sistemas de prevención, protección y mitigación de alta fiabilidad y eficacia deberán tenerse en cuenta en el cálculo de los efectos y de las consecuencias.

Adicionalmente, si se considera conveniente, un escenario podría iniciarse debido al fallo de una salvaguarda tecnológica, generalmente de prevención (por ejemplo, pérdida del control de temperatura en un reactor, explosión por fallo de la PSV, etc.).

Por alta fiabilidad se entiende que, en caso de requerir la actuación de la salvaguarda, la probabilidad con que ésta NO realizará su función correctamente es baja. Por ejemplo, con una probabilidad de fallo en demanda (PFD_{aw}⁷), inferior a 0,1 o equivalente a SIL 1. Esto requiere que el sistema sea diseñado, instalado, mantenido e inspeccionado de manera adecuada.

Por alta eficacia se entiende que en caso de que la salvaguarda actúe correctamente, se garantiza una prevención y/o mitigación eficaz de los efectos y las consecuencias que pretende prevenir o mitigar. Por ejemplo, es bien sabido que las cortinas de agua actúan eficazmente para fugas de pequeña entidad y para velocidades de viento bajas. Por tanto, no resultaría conveniente afirmar que una fuga importante quedaría prácticamente mitigada debido a su actuación cuando se desconocen las condiciones atmosféricas que aplicarán al escenario.

Salvuardas tecnológicas que precisan de una actuación humana para actuar eficazmente y medidas organizativas preventivas tales como procedimientos, formación, etc. o de respuesta contra emergencias (por ejemplo, el PAU), aunque necesarias, se hacen complicados de cuantificar, y por tanto su consideración en el AR debe ser cauta.

La duración de la fuga es también un factor importante respecto a la cantidad emitida de material peligroso y a las consecuencias en el escenario del accidente. La duración de una fuga depende del tiempo necesario para detectarlo y para tomar las medidas adecuadas como el cerrado de válvulas, paro de bombas, etc.

El Purple Book [4] propone unos criterios para la detección y actuación sobre la fuga para ser utilizados en un ACR. Sin embargo, estos criterios deben combinarse con las probabilidades de fallo en demanda de las salvuardas tecnológicas de prevención y mitigación, a diferencia de lo que se hace en un AR.

Respecto de la naturaleza determinista de la evaluación del AR, siguiendo el criterio de la guía anterior, se considera conveniente adaptar los criterios del PB [4] teniendo en cuenta que detectar una fuga en una tubería es en principio, más difícil que una rotura total, y por tanto se considera necesario establecer una diferenciación dependiendo del tipo de rotura.

Por consiguiente, cuando no se dispone de información suficiente para evaluar el tiempo de respuesta para atajar una fuga, y exista al menos una válvula entre el punto de fuga y el depósito, se propone considerar estos criterios:

Tabla 3 Criterios para los tiempos de detección / actuación en fugas adaptados al AR

Tipo de válvula	Descripción	Tiempo total para la detección y la actuación (ver notas 1 y 4)	
		Rotura	Fuga
Automática	La detección es totalmente automática y específica. No necesita la actuación de un operador. Resulta en una orden automática de cierre de la válvula.	2 min	5 min
Operada a distancia	La detección es totalmente automática y específica. La detección resulta en una señal de alarma (en campo o en la sala de control), como por ejemplo una señal acústica o luminosa, o ambas. El operador valida la señal, localiza el pulsador de la válvula y lo actúa desde campo o desde la sala de control.	5 – 10 min (ver nota 2)	10 min
Operada manualmente	La detección es totalmente automática y específica. La detección resulta en una señal de alarma (en campo o en la sala de control). El operador valida la señal, se desplaza hasta el lugar, localiza la válvula y la cierra manualmente.	10 – 20 min (ver nota 3)	20 min o más

- 1 *Los criterios expresados en la tabla se han elaborado a partir de unos tiempos estándar de respuesta.*
- 2 *El tiempo recomendado por el Purple Book [4] es 10 min, aunque al tratarse de un AR, en este caso se prefiere recomendar un rango debido a que dependiendo de la configuración de los detectores y del punto de fuga (en un cubeto por ejemplo), el tiempo de detección y actuación podría reducirse. Hay que tener en cuenta también que, si existen pulsadores en campo, un operador puede detectar la fuga visualmente y atajarla desde su posición, en un tiempo inferior al recomendado.*
- 3 *Aquí el factor crítico es el tiempo que el operador tarda en llegar a la zona, localiza la válvula y la actúa, que por supuesto depende del tamaño de la planta y de los turnos. Es importante tener en cuenta aquí que seguramente el operador deberá ponerse un traje de protección personal antes de acudir a la zona afectada, con lo cual el tiempo total de actuación pueda incrementarse.*
- 4 *Por detección se entiende detección específica y automática (por ejemplo mediante detectores). A tener en cuenta que cuando se empleen analizadores, el tiempo total para la detección probablemente se incremente. Si no se dispone de detección específica, se podrá considerar otro tipo de detección siempre y cuando se justifique adecuadamente, como por ejemplo:*
 - *Detección visual (en una operación supervisada por un operador en una des- carga de un camión cisterna)*
 - *Detección por el sistema de control básico (PBCS) o por el sistema instrumentado de seguridad (SIS). En este caso se deberá argumentar qué variable mide el BPCS/SIS (caudal, temperatura, presión, nivel, etc.) que permita al panelista identificar inequívocamente el lugar de la fuga.*

2.5.2 Caudal de fuga

El cálculo de la cantidad de gas, vapor, líquido y/o fluidos en doble fase correspondiente a una fuga se realizará aplicando los correspondientes modelos de fuga.

En el caso de roturas totales de tuberías, se contabilizan los aportes al caudal de fuga desde ambos lados si procede. En la impulsión de bombas o compresores centrífugos, se considera que el caudal de fuga es 1,5 veces el caudal nominal, en ausencia de contra-presión.

Cuando el caudal de fuga sea significativamente variable con el tiempo, es conveniente determinar un caudal de fuga medio siguiendo por ejemplo los criterios expresados en el

PB [4]. Para caudales de fuga prácticamente constantes, el caudal de fuga se aproximará directamente al caudal máximo.

En el caso en que no existan medidas para atajar las fugas en reactores, tanques de almacenamiento, etc. se supone el vaciado completo de todo el equipo.

2.5.3 *Caudal a la nube*

2.5.3.1 *Gases*

Para los gases, el caudal a dispersar es igual al caudal de fuga.

2.5.3.2 *Líquidos*

En un área confinada el área máxima del charco es igual al tamaño del área confinada si el inventario de producto liberado llega a cubrir toda la superficie del área confinada. Si el área donde se produce el derrame no está confinada, el líquido se esparcirá alcanzando un espesor mínimo en la capa de líquido de 5 mm. Algunos autores recomiendan suponer 10 mm como espesor del charco cuando no existe confinamiento. Por otra parte, en las instalaciones de una planta, se asume un área máxima del charco de 1.500 m² y si el derrame se produce en el mar se asume un área máxima del charco de 10.000 m² [7].

A los efectos de definir dicha superficie, se debe considerar que un cubeto diseñado para contener todo el producto que puede verse desde un depósito puede ser ocupado en su totalidad por la sustancia derramada; así, deberá considerarse toda la superficie del cubeto independientemente de la extensión del mismo.

La profundidad de charco a considerar, en estos casos, será aquella que resulte de la ocupación de toda la superficie confinada por el volumen de producto que se prevea puede verse.

Una vez determinado el área del charco, se procede a calcular el caudal de evaporación a la nube mediante un modelo.

Si el caudal de evaporación iguala al caudal de aporte de material al charco, el máximo área del charco puede ser inferior al área de confinamiento (cubeto).

2.5.3.3 *Gases licuados*

Para gases licuados han de considerarse los siguientes factores para determinar el caudal a la nube:

2.5.3.3.1 *Evaporación flash y formación de aerosol*

El flash es un fenómeno característico de los gases licuados a presión mediante el cual el gas licuado entra en ebullición de manera súbita debido a la despresurización rápida del sistema. En esta etapa una gran cantidad de producto pasa a la fase vapor siendo característico la fracción de vapor flasheada. Esta evaporación es tan violenta y repentina que el vapor arrastra gotas de líquido hacia la nube que quedarán suspendidas en la misma en forma de aerosol y que se irán evaporando paulatinamente en el seno de la nube. Este

fenómeno puede conferir a la nube un importante carácter denso que influirá en su dispersión atmosférica. La fracción de vapor flasheada se calculará mediante un modelo de flash adiabático (YB [5]) y la fracción de aerosol mediante criterios específicos (PB [4], AMINAL [8], etc.). La cantidad restante de líquido que no ha quedado suspendido en la nube en forma de aerosol, cae al suelo formando un charco de líquido en ebullición denominado rain out.

2.5.3.3.2 Evaporación de un líquido en ebullición (boil-off)

Debido a la transferencia térmica del sustrato al gas licuado (rain out) éste entra en ebullición y la cantidad evaporada (boil-off) será calculado según un modelo específico.

2.5.3.3.3 Evaporación de un líquido por debajo de su temperatura de ebullición

La temperatura del charco y del sustrato disminuirán debido al aporte de calor destinado en el boil-off y, por tanto, el líquido restante ya no estará en ebullición. El caudal de evaporación será calculado según un modelo específico y vendrá determinado fundamentalmente por la velocidad del viento y por la transferencia térmica desde el ambiente.

Por consiguiente, el caudal a la nube en gases licuados se determina teniendo en cuenta cada una de las tres contribuciones analizadas.

2.5.4 Cálculos de la dispersión

Dependiendo de la densidad de la nube formada, se utiliza el modelo de dispersión de gases densos o un modelo Gaussiano de dispersión de gases neutros.

Para las evaporaciones desde charcos, aunque la densidad de los vapores sea mayor que la del aire, TNO emplea un modelo de gases neutros debido a que la entrada de aire a la nube se ve favorecida y la densidad de ésta alcanza rápidamente valores similares a la del aire, reduciéndose por tanto el efecto de la gravedad sobre la primera fase de la dispersión.

En caso de no existir sistemas fijos y automáticos de abatimiento o dilución de los derrames (espuma, rociadores, etc.) que justifiquen una actuación rápida, se supondrá un tiempo máximo de duración de la evaporación de media hora.

2.6 Criterios para el cálculo de las consecuencias (vulnerabilidad)

2.6.1 Radiación térmica

La radiación térmica generada por incendios (pool fire, BLEVE y jet-fire) se calculará mediante los modelos de radiación térmica.

Como criterio se asume una letalidad del 100 % en personas en contacto directo con las llamas o debido a una exposición (independiente del tiempo) a un nivel de radiación igual o superior a 35 kW/m². A distancias superiores a las indicadas anteriormente, se recomienda para determinar la vulnerabilidad de las personas frente a la radiación térmica, modelos Probit (como por ejemplo, el reseñado en el PB [4]).

2.6.2 *Sobrepresión local estática (explosiones)*

Los efectos de la explosión se calcularán mediante un método específico. Se recomienda el método de Multi-energy de TNO [9] o un método de equivalencia de TNT.

De acuerdo con el método de Multi-energy [9], la explosión de una nube de vapor solamente es posible si la nube está confinada (total o parcialmente). La esencia del método Multi-energy [9] se basa en que la explosión viene determinada por la parte confinada de la nube inflamable de tal modo que los efectos de las explosiones no se calculan para el total de la masa inflamable contenida en la nube de vapor sino solamente para la cantidad contenida en la parte confinada de la nube.

Cuando se desconozca la parte confinada de la nube inflamable, se calculará la deflagración de la totalidad de la nube inflamable utilizando condiciones medias (curva número 6) del método Multi-energy [9].

Siguiendo las recomendaciones del PB [4], se considera la máxima distancia para un nivel de sobrepresión igual 300 mbar como máxima distancia para un nivel de letalidad del 100 % en personas en el exterior de edificios. En edificios, se asume una letalidad igual al 2,5 % para personas dentro del contorno de los 100 mbar.

En la explosión de nubes de vapor / gases inflamables en los que la cantidad de gas entre límites de inflamabilidad obtenida es igual o inferior a 1.000 kg se puede omitir el cálculo de los alcances de la sobrepresión generada (criterio de Kletz). Se considera adecuado el criterio de Kletz de que se omita el cálculo de los alcances por sobrepresión en caso de deflagración de la nube inflamable en aquellos casos en los que la cantidad de gas entre límites de inflamabilidad sea igual o inferior a 1.000 kg.

2.6.3 *Nubes tóxicas o inflamables*

Los alcances debidos a las nubes tóxicas se calcularán mediante modelos de dispersión específicos para gases densos y neutros. Solamente deberán calcularse dispersiones tóxicas para productos tóxicos y muy tóxicos por inhalación (frases de riesgo H330 y H331 respectivamente).

Para las dispersiones de productos inflamables la DB [2] no establece valores umbrales. Se recomienda considerar el 50 % del límite inferior de inflamabilidad (LEL) para la zona de intervención quedando la zona de alerta por tanto sin determinar.

3 Criterios para la evaluación de un ACR

3.1 Introducción al ACR

A diferencia del AR, el ACR tiene en cuenta la contribución al riesgo de todos los escenarios posibles. Otra diferencia importante es que un ACR va dirigido únicamente a la seguridad de las personas mientras que el AR va dirigido a las personas, el medio ambiente y la propiedad. En la figura 2.1 se presenta el esquema completo de un ACR.

El número de escenarios a incluir en un Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR, en adelante) puede resultar muy elevado para establecimientos industriales donde estén presentes una gran variedad de sustancias peligrosas, así como un gran número de equipos de proceso, tanques de almacenamiento, unidades de carga y descarga y tuberías de transporte.

Siguiendo los criterios de la guía de 2009, basada en la experiencia de TNO en la realización y evaluación de ACRs, solamente un reducido número de escenarios dominan el riesgo en el exterior de estos establecimientos, y, por consiguiente, para evaluar cuantitativamente el riesgo de un establecimiento no es necesario calcular todos los escenarios sino solamente aquellos que realmente contribuyen al riesgo en el exterior (ver nota 8).

Como norma general y basándose en la suposición anterior, se tiene que solamente se incluirán en el ACR:

1. Aquellos sucesos iniciadores cuya probabilidad anual de ocurrencia sea superior a 10^{-6}
2. Aquellos sucesos iniciadores que resulten en eventos finales capaces de causar como mínimo una víctima en el exterior del establecimiento.

8

Se asume que el ACR se empleará para estudiar la compatibilidad de los usos del suelo en las inmediaciones del establecimiento objeto del ACR, por parte del SSI. Por consiguiente, solamente aquellos escenarios que contribuyan al riesgo en el exterior del establecimiento serán relevantes para el ACR. Para otros ACRs se recomienda que no se tenga en cuenta la segunda condición debido a que los resultados obtenidos en un ACR integral (es decir, dentro y fuera del establecimiento) son muy útiles por ejemplo para el uso del terreno en el interior del establecimiento (ubicación de edificios, estructuras, equipos, etc.), para estudiar salvaguardas tecnológicas adicionales en casos donde el criterio de aceptabilidad de la empresa sea excedido, para priorizar las medidas correctoras, etc.

3.2 Criterios para la identificación de los peligros

Ver capítulo 2.2

3.3 Criterios para la selección de escenarios en un ACR

La tarea de identificación de qué escenarios realmente contribuyen al riesgo en el exterior es una tarea compleja debido al número de variables que determinan el riesgo, y crítica, debido a que los resultados del ACR pueden variar sustancialmente dependiendo de cómo se haga esta selección. Para resolver esta tarea, se recomienda la aplicación de un método de criba o “screening” sistemático y relativamente sencillo, que permite identificar las instalaciones con mayor contribución al riesgo exterior (como por ejemplo el recomendado en el PB [4]).

3.3.1 Selección de instalaciones y equipos relevantes (método de screening)

Notas generales:

1. Para poder aplicar esta técnica, para establecimiento con varios procesos industriales diferenciados, es necesario en primer lugar dividir el establecimiento en “unidades”. Una “unidad” se define como una unidad productiva o un área de almacenamiento, y comprende a todos los equipos y tuberías de interconexión que intervienen en un proceso químico. Por ejemplo, una unidad de producción de benceno (reactores, columnas depropanizadoras, debutanizadoras, tuberías, hornos, bombas, compresores, etc.), una planta de producción de cloro (celdas, tuberías, evaporadores, compresor, tanques de almacenamiento de día, gasómetro, etc.) o un parque de tanques de crudo (tuberías, tanques, bombas, etc.).
2. Una vez dividida la planta en unidades, es necesario dividir cada “unidad” en “instalaciones”. Un equipo o conjunto de equipos (incluyendo las tuberías de interconexión) se define como una “instalación” (a efectos del método) cuando una pérdida de contención (fuga) en la misma no provoca una pérdida de contención en otra “instalación”. Retomando los ejemplos anteriores, en una unidad productiva de benceno, una instalación sería una columna debutanizadora si está adecuadamente aislada mediante válvulas de bloqueo del reboiler o del depósito de reflujo. En caso contrario, la instalación estaría formada por la columna y el reboiler o el depósito de reflujo. La razón es que sin un sistema de bloqueo apropiado (por ejemplo mediante válvulas de corte automáticas), una fuga en el reboiler conllevaría asimismo una fuga en la columna.
3. La técnica de screening no es adecuada para evaluar la contribución de posibles reacciones run-away con generación de productos peligrosos al exterior, y por consiguiente este tipo de sucesos se debe evaluar siempre al margen del método.
4. Los almacenamientos de productos afectados por el RD 840/2015 [3] y sus modificaciones sucesivas en cantidades superiores a 10 ton o pesticidas en cantidades superiores a 400 kg que puedan dar lugar a productos tóxicos de combustión en incendios, deberán seleccionarse siempre para el ACR, excepto si quedan descartados mediante la selección en base a las distancias de letalidad.

5. Deberán seleccionarse siempre para el ACR las actividades de carga/descarga a granel debido a la combinación de las cantidades involucradas y a las frecuencias de fallo de los elementos para la carga o descarga.
6. La metodología de screening solamente es aplicable a sustancias tóxicas, inflamables y explosivas.

La metodología de screening se divide en dos fases:

- a) Selección en base a las distancias de letalidad
- b) Selección en base a los números de selección

3.3.1.1 Selección en base a las distancias de letalidad (unidades e instalaciones)

En primer lugar, se deberán calcular la máxima distancia letal 1 % (LC01) para cada “unidad” (escenario más desfavorable). Si la máxima distancia con efectos letales (1 %) no supera la valla del establecimiento, la instalación quedará descartada.

Por ejemplo, en una unidad de benceno que trabaje en continuo (y por tanto sin tanques de almacenamiento), el escenario más desfavorable consiste en el colapso de uno de los reactores debido a su inventario y las condiciones de trabajo (por encima del punto de ebullición del benceno). En una unidad de cloro, el caso más desfavorable consiste en el colapso de un tanque de día. En caso de que las distancias para el 1 % de letalidad (LC01) para estos escenarios no superasen la valla del establecimiento, podrías descartar toda la unidad de producción de benceno y de cloro del ACR.

Para las “unidades” seleccionadas, se deberán calcular la máxima distancia letal 1 % (LC01) para cada “instalación” (escenario más desfavorable). Si la máxima distancia con efectos letales (1 %) supera la valla del establecimiento, la instalación quedará seleccionada.

Si el número de instalaciones seleccionadas es menor que 6, éstas serán las únicas instalaciones objeto del ACR. En caso contrario, las instalaciones seleccionadas pasarán la segunda fase de criba (en base a los números de selección).

3.3.1.2 Selección en base a los números de selección

La metodología propuesta por el PB [4] para esta fase consiste en la asignación de unos valores adimensionales A denominados “indication numbers” para cada una de las instalaciones seleccionadas mediante la criba de distancias.

Estos “indication numbers” proporcionan información acerca de la peligrosidad de una determinada instalación teniendo en cuenta la peligrosidad intrínseca de la sustancia o sustancias que allí se encuentran presentes (inventario, estado físico, propiedades de inflamabilidad o toxicidad y condiciones de presión de temperatura), el tipo de actividad llevado a cabo en la unidad (proceso, transporte, almacenamiento, carga y descarga, etc.) y el tipo de contención propia de la instalación (por ejemplo, en lo relativo a existencia de cubetos, al aire libre, enterrada, etc.).

A continuación, estos “indication numbers” se ponderan en función de la distancia de la instalación en cuestión al límite del establecimiento resultando en los llamados “selection numbers” S, que por último se comparan entre sí para establecer qué instalaciones suponen una mayor contribución al riesgo en el exterior.

A modo de resumen, en el Anexo 1 a este informe se incluye una tabla donde se indican todos los pasos necesarios para aplicar el método de screening (para mayor información consultar el PB [4]).

3.3.2 Selección de hipótesis

Los sucesos iniciadores a contemplar en un ACR son de dos tipos:

3.3.2.1 Sucesos iniciadores genéricos

Los sucesos iniciadores genéricos se plantearán en las instalaciones seleccionadas para el ACR. Estos iniciadores se denominan genéricos debido a que por el hecho de que un equipo contenga una sustancia peligrosa, ésta puede fugarse al fallar el equipo y producirse una pérdida de contención. En la siguiente tabla se indican los Sucesos Iniciadores de Pérdidas de Contención (LOCs) (consultar las frecuencias en el PB [4]):

Tabla 4: Criterios para los tiempos de detección / actuación en fugas adaptados al AR

Equipo	Tipo	LOCs
Recipientes a presión	Enterrados y aéreos	1. Fuga instantánea de todo el inventario 2. Fuga continua de todo el inventario en 10 minutos con un caudal constante 3. Fuga continua a través de un agujero de diámetro efectivo de 10 mm
Tanques de almacenamiento atmosféricos	De contención simple	1. Fuga instantánea de todo el inventario 2. Fuga continua de todo el inventario en 10 minutos con un caudal constante 3. Fuga continua a través de un agujero de diámetro efectivo de 10 mm
	De contención simple con una carcasa protectora exterior	1. Fallo de la contención primaria y de la carcasa: fuga instantánea de todo el inventario al exterior 2. Fallo de la contención primaria: fuga instantánea de todo el inventario a la carcasa exterior 3. Fallo de la contención primaria y de la carcasa: fuga continua de todo el inventario en 10 minutos con un caudal constante 4. Fallo de la contención primaria: fuga continua de todo el inventario en 10 minutos con un caudal constante a la carcasa exterior 5. Fallo de la contención primaria: fuga continua a través de un agujero de

		diámetro efectivo de 10 mm a la carcasa exterior
	De doble contención	1. Fallo de la contención primaria y de la carcasa: fuga instantánea de todo el inventario al exterior 2. Fallo de la contención primaria: fuga instantánea de todo el inventario a la carcasa exterior 3. Fallo de la contención primaria y de la carcasa: fuga continua de todo el inventario en 10 minutos con un caudal constante 4. Fallo de la contención primaria: fuga continua de todo el inventario en 10 minutos con un caudal constante a la carcasa exterior 5. Fallo de la contención primaria: fuga continua a través de un agujero de diámetro efectivo de 10 mm a la carcasa exterior
	De contención total	Fallo de la contención primaria y secundaria: fuga instantánea de todo el inventario al exterior
	Tanques de membrana	Fallo de la contención primaria y secundaria: fuga instantánea de todo el inventario al exterior
	Enterrado (in-ground)	Fallo de la contención primaria: evaporación desde la superficie del tanque
	Enterrado (mounded)	Fallo de la contención primaria y secundaria: fuga instantánea de todo el inventario al exterior
Gasómetros	-	1. Fuga instantánea de todo el inventario 2. Fuga continua de todo el inventario en 10 minutos con un caudal constante 3. Fuga continua a través de un agujero de diámetro efectivo de 10 mm
Tuberías	Aéreas	1. Rotura total de la tubería (guillotina) 2. Rotura parcial de la tubería, la fuga se produce a través de un agujero de diámetro efectivo igual al 10% del diámetro nominal (hasta un máximo de 50 mm)
	Enterradas	1. Rotura total de la tubería (guillotina) 2. Rotura parcial de la tubería, la fuga se produce a través de un agujero de diámetro efectivo igual a 20 mm
Reactores y depósitos de proceso	-	1. Fuga instantánea de todo el inventario 2. Fuga continua de todo el inventario en 10 minutos con un caudal constante 3. Fuga continua a través de un agujero de diámetro efectivo de 10 mm

Columnas de destilación (ver nota 9)	-	1. Fuga instantánea de todo el inventario 2. Fuga continua de todo el inventario en 10 minutos con un caudal constante 3. Fuga continua a través de un agujero de diámetro efectivo de 10 mm
Cilindros, botellas y botellones	-	1. Fuga instantánea de todo el inventario 2. Fuga continua a través de un agujero de diámetro efectivo de 3,3 mm 3. Incendio en las cercanías del cilindro
Bombas y compresores	Centrífugos (sin sello y con sello) y recíprocos	1. Fallo catastrófico (Rotura total de la tubería) 2. Rotura parcial, la fuga se produce a través de un agujero de diámetro efectivo igual al 10% del diámetro nominal de la tubería
Intercambiadores	Tubulares (cuando la sustancia peligrosa va por carcasa) y de placas	1. Fuga instantánea de todo el inventario 2. Fuga continua de todo el inventario en 10 minutos con un caudal constante 3. Fuga continua a través de un agujero de diámetro efectivo de 10 mm
	Tubulares (sustancia peligrosa por tubos y presión de diseño de carcasa superior a la máxima presión de operación en los tubos)	Rotura simultánea de 10 tubos
	Tubulares (sustancia peligrosa por tubos y presión de diseño de carcasa inferior a la máxima presión de operación en los tubos)	1. Rotura simultánea de 10 tubos 2. Rotura de 1 tubo 3. Rotura parcial de un tubo, la fuga se produce a través de un agujero de diámetro efectivo igual al 10% del diámetro nominal de un tubo (hasta un máximo de 50 mm)
	Tubulares (sustancia peligrosa por tubos y por carcasa)	1. Fuga de sustancia desde la carcasa (ver LOCs para intercambiadores con sustancia peligrosa en carcasa) 2. Fuga de sustancia desde la carcasa y desde los tubos
Alivio de presión (PSVs y discos de ruptura)	-	Fuga con el máximo caudal de alivio
Camiones y Vagones	Atmosféricos y presurizados	1. Fuga instantánea de todo el inventario 2. Fuga de todo el inventario a través de la mayor conexión
Buques	Gas	1. Fuga continua de 180 m³ en 1800 s 2. Fuga continua de 90 m³ en 1800 s

	Gas (refrigerado)	1. Fuga continua de 126 m³ en 1800 s 2. Fuga continua de 32 m³ en 1800 s
	Líquido (de simple y doble contención)	1. Fuga continua de 75 m³ en 1800 s 2. Fuga continua de 20 m³ en 1800 s
Carga/descarga	Mangueras (flexibles) y brazos	1. Rotura total 2. Rotura parcial, la fuga se produce a través de un agujero de diámetro efectivo igual al 10% del diámetro nominal (hasta un máximo de 50 mm)
	Para sustancias inflamables y por efecto dominó (líquido)	Fuga instantánea (pool fire)
	Para sustancias inflamables y por efecto dominó (gas licuado)	Fuga instantánea (BLEVE)
Almacén	-	1. Dispersión de una parte del inventario de un recipiente con producto sólido como polvo respirable 2. Fallo del recipiente: derrame del inventario total 3. Emisión de inquemados y productos tóxicos de combustión en un Incendio

3.3.2.2 Sucesos iniciadores específicos

Ver apartado 2.3.3

3.4 Criterios para la selección de frecuencias

Para la selección de las frecuencias de los escenarios accidentales existen diversas fuentes bibliográficas. Para los escenarios genéricos se recomienda la utilización del PB [4]. Para los escenarios específicos se debe recurrir a la técnica de árbol de fallos (FTA – Fault Tree Analysis) o a estimaciones cuantitativas conservadoras de las probabilidades de ocurrencia basadas en experiencia.

La técnica de FTA consiste en determinar la frecuencia de ocurrencia de un iniciador (top event) teniendo en cuenta todas las causas (basic events) que hacen posible que se dé el iniciador (ver figura 3.1). Para sistemas de seguridad que típicamente están en modo stand-by o de baja demanda, la variable que resulta más útil es la probabilidad promediada de fallo en demanda (PFDavg) o indisponibilidad. Si la frecuencia de demandas sobre ese sistema es conocida (por ejemplo, 1 vez cada 5 años), la frecuencia de ocurrencia del suceso “fallo del sistema de seguridad” quedará definida. Normalmente, un iniciador o “top event” constituye una pérdida de contención o fuga (LOC).

Para trabajar con FTA es necesario disponer de bases de datos fiables con información sobre diferentes componentes industriales (equipos, instrumentación, actuadores, controladores, etc.) o información de la propia empresa (registros de mantenimiento de equipos). Esta información debería cubrir tasas de fallos λ (failure rate), intervalos de prueba T (test interval), duración de la prueba τ (test duration) y tiempos de reparación θ (repair duration).

Se recomienda considerar las recomendaciones de la publicación Red Book [10] para el desarrollo de FTA. Otras fuentes bibliográficas para obtener datos de frecuencias de fallos en equipos o PFDavg de sistemas/equipos son OREDA [11], Handboek kanscijfers (AMINAL) [8], Layer of Protection Analysis (CCPS) [12] y WASH [13].

3.5 Criterios para la selección de las probabilidades de ocurrencia (árboles de eventos)

Para poder calcular las frecuencias de los eventos finales, conviene elaborar primeramente los árboles de eventos correspondientes desde el iniciador hasta los eventos finales incluyendo los modificadores condicionales (por ejemplo, probabilidad de ignición inmediata) y todas las salvaguardas tecnológicas de mitigación presentes¹⁰.

En la siguiente figura se muestra esquemáticamente un árbol de fallos (FTA) y un árbol de eventos, unidos por el suceso iniciador (top event).

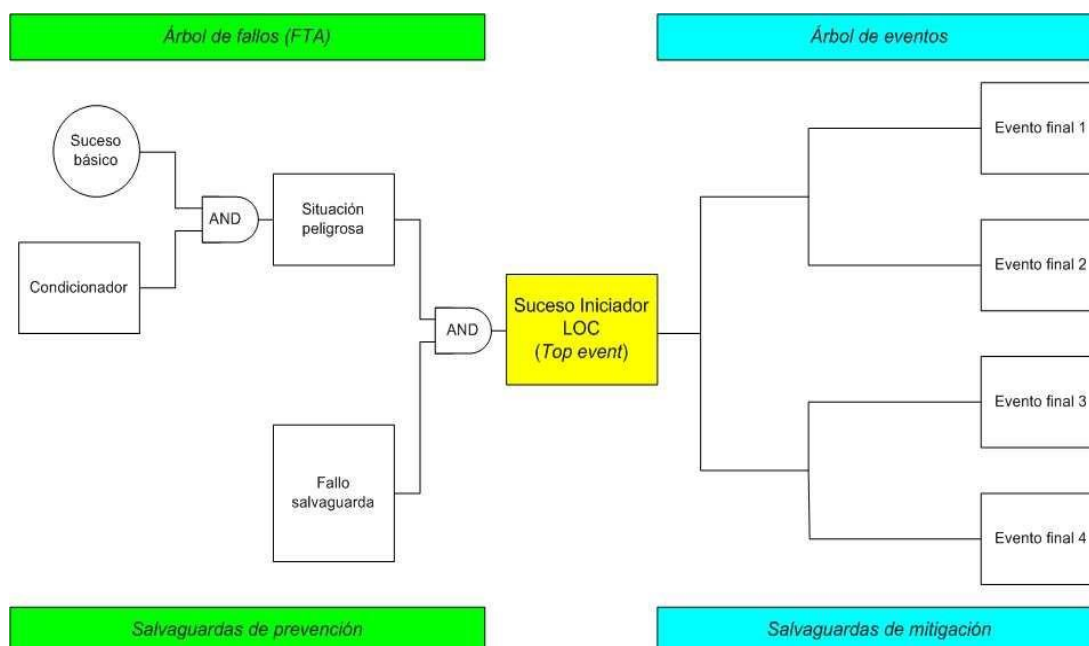


Imagen 2: Esquema de un árbol de fallos y de un árbol de eventos

Los condicionadores típicos que deberán incluirse en un árbol de eventos son la probabilidad de ignición (inmediata o retardada), la posibilidad de confinamiento para determinar la probabilidad de una VCE o de una llamarada, la actuación de detectores, sistemas de bloqueo (válvulas on/off), sistemas de lucha contra incendios, actuaciones de operadores, posibilidad de evitar el daño, etc.

Como norma general cabe destacar que para poder incluir una salvaguarda tecnológica ha de poder cuantificarse su disponibilidad o PFDavg (ver nota 11). Ver capítulo 2.5.1 para mayor información.

Se recomienda emplear los criterios del PB [4] para las probabilidades de ignición y para otros condicionadores, así como las fuentes bibliográficas citadas en el capítulo anterior.

-
- 10 *Nótese que el “top event” implica casi siempre un LOC y por tanto las medidas preventivas ya no vienen al caso aquí*
- 11 *Debido a la naturaleza cuantitativa de un ACR, la no actuación de las salvaguardas tecnológicas deberán también contemplarse (por ejemplo, el fallo de una válvula de bloqueo o de unos sprinklers)*

3.6 Condiciones meteorológicas (ACR)

En un ACR, se deberán tener en cuenta la distribución de direcciones en las que sopla el viento, así como las distintas velocidades y estabilidades atmosféricas.

Generalmente, si no dispone de esta información, es posible agrupar las estabilidades atmosféricas y las velocidades de viento en 2 o 3 categorías teniendo en cuenta los porcentajes totales.

En caso de no disponer de datos meteorológicos, se pueden asumir por ejemplo las siguientes condiciones atmosféricas:

- Estabilidad D de Pasquill y velocidad de viento entre 3 y 4 m/s
- Estabilidad F de Pasquill y velocidad de viento entre 1 y 2 m/s

3.7 Criterios para el cálculo de efectos físicos

Ver capítulo 2.5

3.8 Criterios para el cálculo de las consecuencias (vulnerabilidad)

Ver capítulo 2.6

3.9 Riesgo individual

El riesgo individual se define como la probabilidad de que, en el periodo de un año, una hipotética persona se vea afectada de manera letal por posibles accidentes durante alguna actividad, como por ejemplo una planta química o el transporte de materiales peligrosos. Este parámetro es función de la distancia entre la persona expuesta y la actividad, sin tener en cuenta si la zona está habitada o no.

El riesgo individual se expresa numéricamente en año⁻¹ y, gráficamente, en curvas o contornos de isoriesgo; esto es uniendo en un plano mediante líneas los puntos con igual nivel de riesgo.

En los países industrializados del entorno que basan su planificación territorial en el riesgo tales como Holanda, Bélgica, Reino Unido, Australia, etc. el nivel de referencia para la aceptabilidad del riesgo es de 10⁻⁶/año.

3.10 Riesgo social

El riesgo social se define como la frecuencia absoluta (acumulada) de que un número mínimo de personas puedan ser afectadas letalmente de manera simultánea debido a posibles accidentes durante una actividad. Para el riesgo social, se tiene en cuenta la presencia real de gente en los alrededores del establecimiento de interés.

El riesgo social se representa mediante unas curvas en un gráfico denominado F-N, donde F representa la frecuencia acumulada y N el número de víctimas.

4 Conclusiones

A efectos de armonizar los criterios empleados en la evaluación de los Informes de Seguridad (IS) y Análisis Cuantitativos de Riesgo (ACR), el Departamento de Industria, Transición Energética y Sostenibilidad del Gobierno Vasco ha actualizado y revisado las guías publicadas en julio de 2009, desarrolladas por TNO Built Environment and Geosciences, en particular en lo referente a los criterios para la identificación de los peligros y para la selección de los escenarios.

Para la actualización de esta guía, se ha contado con la inestimable colaboración de expertos en la materia de las siguientes entidades: AVEK-Química, Dekra, Euskoiker, Vysus y Euskoerel. Como punto de inicio se han tomado los criterios originales propuestos por TNO, y se han actualizado para su aplicación en la evaluación de Informes de Seguridad (IS) y Análisis Cuantitativos de Riesgo (ACR) aplicados a la situación particular del País Vasco, y teniendo en cuenta los requerimientos de la Directriz Básica [2].

Se ha pretendido en esta guía establecer criterios mínimos para la selección de hipótesis de accidente tanto para Informes de Seguridad (IS) como para Análisis Cuantitativos de Riesgo (ACR). Los criterios técnicos relativos al cálculo de efectos y consecuencias son meramente orientativos ya que no se tratan en profundidad. Para más información, se recomienda consultar los siguientes ‘Coloured Books’ del TNO: Yellow Book [5], Purple Book [4], Red Book [10] y el Green Book [14], además de las guías técnicas de Protección Civil.

5 Referencias

- [1] Orden de 15 de junio de 2006, de la Consejera de Industria, Comercio y Turismo, sobre la documentación, evaluación e inspecciones relacionadas con la prevención de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas. BOPV - miércoles 12 de julio de 2006
- [2] Directriz Básica de Protección Civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas. BOE núm. 242, jueves 9 de octubre de 2003
- [3] Real Decreto 840/2015, de 21 de septiembre, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas. BOE núm. 251, 20 de octubre de 2015
- [4] Purple Book CPR 18E Guidelines for Quantitative Risk Assessment Committee for the Prevention of Disasters CPR 18E, revision January 2006
- [5] TNO, Yellow Book CPR 14E Methods for the calculation of physical effects Committee for the Prevention of Disasters CPR 14E, Third Edition The Hague 1997
- [6] IEC 61511 Parts 1-2-3 (2003): "Functional safety instrumented systems for the process industry sector", International Electrotechnical Commission, First Edition, 2003.
- [7] Molag M. LPG, a study A comparative analysis of the risks inherent in the storage, transshipment, transport and use of GLP and motor spirit TNO report, 1983.
- [8] Amination dienst gevaarlijkse stoffen en risicobeheer, Handboek kanscijfers ten behoeve van het veiligheidsrapport, 1994
- [9] Berg, A.C. van den The Multi Energy Method Journal of Hazardous Materials, 12 (1985) 1-10
- [10] TNO, Red Book CPR 12E Methods for determining and processing probabilities Committee for the Prevention of Disasters CPR 12E, Second Edition The Hague 1997
- [11] OREDA-92, Offshore Reliability Data 2nd Edition, Oreda participants Norway, 1992
- [12] Layer Of Protection Analysis (Simplified Process Risk Assessment, CCPS, 2001
- [13] U.S. Nuclear Operating Experience, Reactor Safety Study, An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants, Appendix III: Failure Data, WASH-1400/NUREG 75/014, 1975
- [14] TNO, Green Book CPR 16E Methods for the determination of possible damage Committee for the Prevention of Disasters CPR 16E, First Edition Voorburg 1992

[15] Molag M., Amigó, M. Propuesta de criterios básicos a considerar para la planificación de emergencias en el entorno de empresas afectadas por la reglamentación de Accidentes Graves, TNO-034-UT-2009-01576-RPT-ML, Utrecht, Julio 2009.

Anexo 1: Método de screening del Purple Book

Tabla 5: Resumen del método de screening propuesto en el Purple Book

Fase	Tarea	Comentarios
0	Selección de sustancias objeto del screening	En el screening se incluirán las sustancias peligrosas presentes en la instalación. A efectos del presente método de selección, por sustancia inflamable se entienden las sustancias que se encuentran a una temperatura superior a su flash point a temperatura ambiente. Por sustancias tóxicas, se entienden aquellas sustancias con una LC50 por inhalación para ratas durante un tiempo de exposición de 1 hora inferior a 20.000 mg/m ³ a 25 °C.
1	Identificar las unidades e instalaciones objeto del screening mediante el método de las distancias de letalidad 1 %	Por instalación se entiende cualquier equipo con presencia apreciable de sustancia peligrosa que, en caso de sufrir una fuga o pérdida de contención, no se produzca otra fuga significativa de otra instalación por estar éstas conectadas por elementos intermedios (por ejemplo, por una tubería).
2	Cálculo del “indication number”, A [-]	Se evaluarán los “indication numbers” para las sustancias tóxicas, inflamables y explosivas por separado, según: $A = \frac{Q \cdot 01 \cdot 02 \cdot 03}{G}$ Si en una instalación están presentes más de una sustancia, los “indication numbers” tóxicos (AT), inflamables (AF) o explosivos (AE) de la instalación resultarán de sumar todos los “indication numbers” de todas las sustancias según sean éstas tóxicas, inflamables o explosivas.
2.1	Cálculo de la cantidad de sustancia presente, Q [kg]	Es la cantidad de sustancia peligrosa que se encuentra retenida dentro de la instalación.
2.2	Cálculo del factor O ¹ [-]	Este factor tiene en cuenta el tipo de instalación. El valor del factor O ¹ solamente puede adoptar dos valores: 1 para una instalación de proceso y 0,1 para una instalación de almacenamiento. Para sustancias explosivas, este factor vale 1.

Fase	Tarea	Comentarios			
2.3	Cálculo del factor O^2 [-]	Este factor tiene en cuenta la posición de la instalación y la presencia de salvaguardas físicas que eviten la diseminación de la sustancia en el medio ambiente. El valor del factor O^2 solamente puede adoptar dos valores: 1 para una instalación al aire libre o para una instalación situada en el interior de un cubeto a temperatura superior a su punto de ebullición normal más 5 °C y 0,1 para una i nstalación en el interior de un edificio o para una instalación situada en el interior de un cubeto a temperatura inferior a su punto de ebullición normal más 5 °C. Para sustancias explosivas, este factor vale 1.			
2.4	Cálculo del factor O^3 [-]	Estado	O^3	Comentarios	
		Gas	10	-	
		Líquido, $P_{vap,sat}$ a la temperatura de proceso > 3 bar	10	-	
		Líquido, $P_{vap,sat}$ a la temperatura de proceso entre 1 y 3 bar	$X + \Delta$	X adopta valores de 1 a 10 según: $X = 4,5 \times P_{vap,sat} - 3,5$ (P_{vap} en bar) (Ver Δ más abajo)	
		Líquido, $P_{vap,sat}$ a la temperatura de proceso < 1 bar	$P_i + \Delta$	Pi es la presión de vapor parcial (bar). Δ es un valor que se añade para tener en cuenta la evaporación del líquido debido a la transferencia de calor del entorno al líquido, según:	
				$T_{ebullición}$ atmosférica	Δ
				$T_{ebullición} < - 25\text{ °C}$	0
				$-75 < T_{ebullición} < - 25\text{ °C}$	1
				$-125 < T_{ebullición} < - 75\text{ °C}$	2
				$T_{ebullición} < -125\text{ °C}$	3
Sólido	0,1	-			

Fase	Tarea	Comentarios		
2.5	Cálculo del “limit value” de sustancia, G [kg]	El valor límite para sustancias inflamables es 10.000 kg.		
		Para sustancias explosivas, el valor límite es la cantidad de sustancia (en kg) que generaría una cantidad de energía equivalente a 1.000 kg de TNT (o 4600 kJ/kg).		
		Para las sustancias tóxicas, el valor límite puede adoptar los valores de 3 kg, 10 kg, 30 kg, 100 kg, 300 kg, 1.000 kg, 3.000 kg o 10.000 kg, dependiendo de su toxicidad (LC ₅₀ por inhalación para ratas durante un tiempo de exposición de 1 hora) y de su estado según la siguiente tabla:		
		LC ₅₀ (ratas, inh., 1h) [mg/m ³]	Estado a 25°C	G [kg]
		LC < 100	Gas	3
			Líquido	3
			(MBPE) Líquido	10
			(BPE) Líquido	30
			(MPE) Líquido	100
			(APE) Líquido	300
			(MAPE) Sólido	300
		100 < LC < 500	Gas	30
			Líquido	30
			(MBPE) Líquido	100
			(BPE) Líquido	300
			(MPE) Líquido	1000
			(APE) Líquido	3000
			(MAPE) Sólido	3000
		500 < LC < 2.000	Gas	300
			Líquido	300
			(MBPE) Líquido	1000
			(BPE) Líquido	3000
			(MPE) Líquido	10000

			(APE) Líquido	∞
			(MAPE) Sólido	∞
		2.000 < LC < 20.000	Gas	3000
			Líquido	3000
			(MBPE) Líquido	10000
			(BPE) Líquido	∞
			(MPE) Líquido	∞
			(APE) Líquido	∞
			(MAPE) Sólido	∞
		LC > 20.000	Cualquier fase	∞
		Notas tabla: M (muy), B (bajo), A (alto), P (punto), E (ebullición). Líquido (MBPE) → T _{ebullición} < 40 °C Líquido (BPE) → 40 °C < T _{ebullición} < 80 °C Líquido (MPE) → 80 °C < T _{ebullición} < 120 °C Líquido (APE) → 120 °C < T _{ebullición} < 160 °C Líquido (MAPE) → 160 °C < T _{ebullición}		
3	Selección de puntos en el límite del establecimiento	Se deberán seleccionar tantos puntos situados en el perímetro del establecimiento como sean necesarios. Estos puntos deberán tener una separación mínima entre sí mínima de 50 m, y deberán de estar como mínimo a 100 m de las instalaciones objeto del screening. Asimismo, se deberán seleccionar las viviendas (caso de que las hubiere) más próximas al establecimiento.		
	Cálculo del “selection number”, S [-]	El número de selección (S) correspondiente a una instalación en particular se debe evaluar en los puntos seleccionados en la fase anterior para las sustancias tóxicas, inflamables y explosivos por separado, según las siguientes expresiones: Para sustancias tóxicas $S^T = \left(\frac{100}{L}\right)^2 \cdot A^T$		

		Para sustancia inflamables $S^F = \left(\frac{100}{L}\right)^3 \cdot A^F$ Para sustancia explosivas $S^E = \left(\frac{100}{L}\right)^3 \cdot A^E$ Donde, L es la distancia (m) entre la instalación de interés y el punto de interés.
	Selección de instalaciones para el ACR	Una instalación quedará seleccionada para el ACR si se cumplen una de estas dos condiciones: - El “selection number” de una instalación en cualquier punto del perímetro del establecimiento es superior a 1 y es además superior a la mitad del máximo “selection number” de cualquier otra instalación sobre ese punto en concreto - El “selection number” de una instalación en las viviendas seleccionadas en la fase 3 supera la unidad.