**Documento de referencia para la elaboración de un Análisis del Riesgo en el ámbito de la Directiva SEVESO**

***Imagen que contiene Correo electrónico

Descripción generada automáticamente***

Blas José Galván González

**INDICE.**

[1. Introducción. 1](#_Toc112407291)

[1.1. Alcance. 1](#_Toc112407292)

[1.2. Marco normativo y referencias. 1](#_Toc112407293)

[1.3. Contenido. 2](#_Toc112407294)

[2. Identificación de peligros de accidentes graves. 3](#_Toc112407295)

[2.1. Introducción. 3](#_Toc112407296)

[2.2. Identificación de peligros de accidentes graves. 3](#_Toc112407297)

[2.2.1. Métodos para la identificación de peligros de accidentes graves. 4](#_Toc112407298)

[2.2.2. Determinación de los sucesos iniciadores. 11](#_Toc112407299)

[2.2.3. Evolución de los sucesos iniciadores. 15](#_Toc112407300)

[3. Cálculo de Consecuencias: Zonas de riesgo según valores umbrales. 20](#_Toc112407301)

[3.1. Riesgo, daño y vulnerabilidad 21](#_Toc112407302)

[3.1.1. Fenómenos peligrosos del tipo mecánico. 21](#_Toc112407303)

[3.1.2. Fenómenos peligrosos del tipo térmico. 22](#_Toc112407304)

[3.1.3. Fenómenos peligrosos del tipo químico. 23](#_Toc112407305)

[3.2. Criterios generales de análisis. 24](#_Toc112407306)

[3.3. Análisis de la vulnerabilidad sobre las personas. 35](#_Toc112407307)

[3.3.1. Metodología Probit. 35](#_Toc112407308)

[3.3.2. Efectos de la radiación térmica 36](#_Toc112407309)

[3.3.3. Efectos de las nubes tóxicas 41](#_Toc112407310)

[3.3.4. Efectos de las ondas de presión 42](#_Toc112407311)

[3.4. Cuantificación del riesgo. 45](#_Toc112407312)

[4. Relación de accidentes graves identificados. 46](#_Toc112407313)

[5. Medidas de prevención, control y mitigación. 47](#_Toc112407314)

[5.1. Medidas de Prevención, Control y Mitigación. 47](#_Toc112407315)

[5.1.1. Medios y recursos disponibles. 47](#_Toc112407316)

[5.1.2. Procedimientos de actuación en caso de emergencia 48](#_Toc112407317)

**FIGURAS**

[Figura 1: Árbol de sucesos. 15](#_Toc112407318)

[Figura 2: Árbol de sucesos (fuga de líquido inflamable). 18](#_Toc112407319)

[Figura 3: Árbol de sucesos, probabilidades (Metanol y Acetona). 19](#_Toc112407320)

[Figura 4: Árbol de sucesos, probabilidades (Xileno). 19](#_Toc112407321)

[Figura 5: Inicio de la aplicación. 27](#_Toc112407322)

[Figura 6: Zonas de Planificación para la emergencia. 29](#_Toc112407323)

[Figura 7: Zonas de Planificación para la emergencia. 29](#_Toc112407324)

[Figura 8: Zonas de Planificación para la emergencia. 30](#_Toc112407325)

[Figura 9: Zonas de Planificación para la emergencia. 30](#_Toc112407326)

[Figura 10: Zonas de Planificación para la emergencia. 31](#_Toc112407327)

[Figura 11: Zonas de Planificación para la emergencia. 31](#_Toc112407328)

[Figura 12: Zonas de Planificación para la emergencia. 32](#_Toc112407329)

[Figura 13: Zonas de Planificación para la emergencia. 32](#_Toc112407330)

[Figura 14: Zonas de Planificación para la emergencia. 33](#_Toc112407331)

[Figura 15: Zonas de Planificación para la emergencia. 33](#_Toc112407332)

[Figura 16: Zonas de Planificación para la emergencia. 34](#_Toc112407333)

[Figura 17: Zonas de Planificación para la emergencia. 34](#_Toc112407334)

**TABLAS**

[Tabla 1: Lista de chequeo básica para la comprobación de la elaboración de un Análisis de Riesgos. 6](#_Toc112407335)

[Tabla 2: Ejemplo: Sección de un APR para el riesgo de fuga de Amoniaco desde el depósito por válvula defectuosa. 7](#_Toc112407336)

[Tabla 3: Ejemplo: Sección de un Análisis What if...? 8](#_Toc112407337)

[Tabla 4: Ejemplo: Palabras guías empleadas. 9](#_Toc112407338)

[Tabla 5: Ejemplo: Análisis del Modo, Efecto y Criticidad de Fallos. 10](#_Toc112407339)

[Tabla 6: Consideración del método adecuado para la identificación de peligros. 11](#_Toc112407340)

[Tabla 7: Ejemplo de sucesos iniciadores. 14](#_Toc112407341)

[Tabla 8: Frecuencia de ocurrencia de iniciadores. 14](#_Toc112407342)

[Tabla 9: Frecuencia anual de ocurrencia de iniciadores. 14](#_Toc112407343)

[Tabla 10: Probabilidad de ignición de las sustancias. 18](#_Toc112407344)

[Tabla 11: Frecuencia de los efectos. 20](#_Toc112407345)

[Tabla 12: Cuadro resumen de hipótesis a considerar. 27](#_Toc112407346)

[Tabla 13: Estabilidad atmosférica según Pasquill. 28](#_Toc112407347)

[Tabla 14: Relación entre el valor de la función Probit y el porcentaje de población afectada. 36](#_Toc112407348)

[Tabla 15: Radiación térmica para diferentes materiales. 40](#_Toc112407349)

[Tabla 16: Máxima radiación tolerable. 40](#_Toc112407350)

[Tabla 17: Nivel de daños y efectos tóxicos. 41](#_Toc112407351)

[Tabla 18: Coeficientes para el Cloro. 42](#_Toc112407352)

[Tabla 19: Dósis recibida por Cloro. 42](#_Toc112407353)

[Tabla 20: Daños en materiales en función de la sobrepresión. 45](#_Toc112407354)

1. Introducción.
   1. Alcance.

El presente documento se elabora con el propósito de suministrar, en **términos generales**, una ayuda a la elaboración del análisis del riesgo en el ámbito de las industrias afectadas por la Directiva Europea SEVESO. Este tipo de industrias gestionan mercancías peligrosas en los umbrales establecidos por la Directiva 2012/18/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2.012, relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas y por la que se modifica y ulteriormente deroga la Directiva 96/82/CE.

**Cabe destacar que el presente documento contiene algunos ejemplos ilustrativos que no cabe considerar como de directa aplicación al elaborar un análisis del riesgo para una industria en concreto, ya que este debería considerar las condiciones propias y circunstancias objeto del análisis.**

* 1. Marco normativo y referencias.
* Directiva 2012/18/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2.012, relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas y por la que se modifica y ulteriormente deroga la Directiva 96/82/CE.
* Ley 17/2015, de 9 de julio, del Sistema de Protección Civil (BOE nº 164 de 10 de julio de 2.015).
* Norma Básica de Protección Civil (R.D. 407/1992 de 24 de abril. BOE nº 105 de 1 de mayo de 1.992).
* 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 (BOE nº 242 de 9 de octubre de 2.003).
* Real Decreto 393/2007, de 23 de marzo, por el que se aprueba la Norma Básica de Autoprotección de los centros, establecimientos y dependencias dedicados a actividades que puedan dar origen a situaciones de emergencia (BOE nº 72 de 24 de marzo de 2.007).
* Real Decreto 1468/2008, de 5 de septiembre, por el que se modifica el Real Decreto 393/2007, de 23 de marzo, por el que se aprueba la Norma Básica de Autoprotección de los centros, establecimientos y dependencias dedicados a actividades que puedan dar origen a situaciones de emergencia (BOE nº 239 de 3 de octubre de 2.008).
* Real Decreto 1070/2012, de 13 de julio, por el que se aprueba el Plan estatal de protección civil ante el riesgo químico (BOE nº 190 de 9 de agosto de 2.012).
* Real Decreto 840/2015, de 21 de septiembre, por el que se aprueban las medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas (BOE nº 251 de 20 octubre de 2.015).
  1. Contenido.

El contenido del Análisis del Riesgo debe contener la información dispuesta por el 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. Tales contenidos son:

* Identificación de peligros de accidentes graves.
* Cálculo de consecuencias: Zonas de riesgo según valores umbrales.
* Cálculo de vulnerabilidad.
* Relación de accidentes graves identificados.
* Medidas de prevención, control y mitigación.

1. Identificación de peligros de accidentes graves.
   1. Introducción.

El primer ítem de la estructura del Análisis del Riesgo hace referencia a la **identificación de peligros de accidentes graves**. Según las indicaciones del apartado 4.4.1 del Artículo 4 de la Directriz Básica de protección civil, “Pueden definirse como fuentes de peligro aquellas condiciones que amenazan el funcionamiento seguro del establecimiento o instalación. Estas fuentes deben analizarse en todas las fases de operación”. Para ello se han de identificar los peligros vinculados a:

* Operaciones: Fallos humanos, fallos técnicos, suministro de servicios, ...
* Sucesos externos: Impacto de actividades próximas, sabotajes, ...
* Otras causas relacionadas con el diseño de construcción, de procedimientos operacionales, mantenimiento inapropiado, ...

Se han de identificar por tanto las posibles hipótesis accidentales, así como las características de los escenarios correspondientes, siendo precisa la justificación de la metodología empleada. A este respecto, pueden emplearse, entre otros, los criterios contenidos en las Guías Técnicas sobre Metodologías de Análisis del Riesgo, editadas por la Dirección General de Protección Civil y emergencias.

* 1. Identificación de peligros de accidentes graves.

La identificación de peligros de accidentes graves constituye el punto de partida para el Análisis del Riesgo, condicionando por tanto su planteamiento. Para la identificación de los peligros es necesario escoger el método adecuado a las características de la instalación, para su aplicación y análisis de resultados, permitiendo formular los sucesos iniciadores, estudiar las causas de los mismos y definir los accidentes.

Previamente, es preciso describir de manera detallada el conjunto de las instalaciones y procesos. Esta puede hacer referencia a:

* La parcela en la que se encuentra localizada la industria.
* Los edificios que la componen, incluido usos.
* Descripción de los procesos industriales y de la actividad (almacenamiento, carga, descarga, tratamiento, …).
* Descripción de las funciones del personal y turnos de trabajo.
* Descripción de los depósitos en los que se almacenan sustancias peligrosas (dimensiones, tipo de producto almacenado, cantidad, condiciones de almacenamiento, …).
* Condiciones de trasiego de sustancias peligrosas (caudal, presión, temperatura, …).
  + 1. Métodos para la identificación de peligros de accidentes graves.

Básicamente es posible considerar tres tipos de métodos comúnmente aceptados.

**Métodos Cualitativos**

Estos se fundamentan en la experiencia acumulada por expertos. Cabe destacar los siguientes:

* **Análisis Histórico:** Consiste en la recopilación para su análisis de información sobre accidentes ocurridos en el pasado en instalaciones y (o con) productos similares a los estudiados.
* **Check list (listas de comprobación):** Empleo de listas exhaustivas sobre posibles iniciadores/accidentes.
* **Análisis preliminar de riesgos:** Método inductivo para el análisis sistemático de las causas, principales efectos y medidas preventivas/correctivas asociadas.
* **What if...?:** Método inductivo para el análisis sistemático de las consecuencias de determinados accidentes.
* **HAZOP (o AFO, Análisis Funcional de Operabilidad):** Técnica inductiva de análisis por parte de un equipo multidisciplinar para identificar las desviaciones de proceso que pueden conducir a un accidente.
* **FMEAC (Análisis del modo, efecto y criticidad de los fallos) (o en castellano AMFEC Análisis del Modo de Fallos, Efectos y su Criticidad):** Método inductivo de reflexión sobre causas/consecuencias de fallos de componentes en un sistema.

*Análisis Histórico de accidentes.*

Este método consiste en la recopilación y estudio de accidentes registrados en el pasado relacionados con establecimientos y productos de similar naturaleza a los relativos al Análisis que se ha de elaborar. Para ello se ha de acceder a la información por medio de bibliografía especializada, bancos de datos informatizados o registro de incidencias de la propia empresa entre otros.

Al realizar un Análisis Histórico de accidentes, se ha de considerar:

* Definir la tipología de accidentes a estudiar (similitud en cuanto a productos e instalaciones).
* Identificación de accidentes (Lugar, fecha, producto implicado, instalación y equipamiento implicado, consecuencia (incendio, explosión, ...), ...).
* Identificación de las causas (fallo humano, fallo de equipo, fallo de diseño, ...).
* Identificación del alcance (pérdida de vidas, heridos, pérdidas económicas, pérdidas medioambientales, ...).
* Descripción y valoración de las medidas aplicadas.

Existen bancos de datos para el suministro de esta información, en soporte informático (MHIDAS, FACTS, SONATA, MARS, OSIRIS, HARIS, ...), así como publicaciones (LEE´S LOSS PREVENTION IN THE PROCESS INDUSTRIES, ...). Las hipótesis accidentales en estos casos se basan en incidentes reales. No obstante, en ocasiones la información suministrada no es completa. Un ejemplo de este tipo de registro se aporta por medio de la tabla incluida en el apartado 1.3 del Capítulo I del presente curso.

*Check list (listas de comprobación).*

Este tipo de listas se suelen emplear para determinar la adecuación a un determinado procedimiento o reglamento, de equipos, materiales, procedimientos, fases de un proyecto, ...

Estas se basan en normas o estándares de referencia y suelen ser preparadas por expertos. Se muestra a continuación un ejemplo.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Requisito** | **Si** | **No** |
| ¿Se han identificado los peligros? | √ |  |
| ¿Se ha realizado el cálculo de consecuencias y vulnerabilidad? | √ |  |
| ¿Se ha elaborado la relación de accidentes graves? | √ |  |
| ¿Se han elaborado las medidas de prevención, control y mitigación? | √ |  |

1. Lista de chequeo básica para la comprobación de la elaboración de un Análisis de Riesgos.

*Análisis preliminar de riesgos (APR).*

Este tipo de análisis se emplea en la fase de desarrollo de las instalaciones y para casos en los que no existe experiencia previa. Analiza productos y equipos principales, revisando aquellos puntos en los que pudiera liberarse energía de forma incontrolada. Este tipo de análisis sigue las siguientes etapas:

* Recopilación de la información necesaria.
* Elaboración del APR.
* Informe de resultados.

Se ha de recopilar por tanto información en relación al nuevo establecimiento, así como de establecimientos o procesos con equipos y materiales similares. A partir de la misma se realiza el APR con el objeto de identificar peligros, sucesos iniciadores y otros sucesos que pudieran provocar consecuencias indeseadas. Para ello se han de considerar los equipos y materiales peligrosos, factores ambientales, procedimientos de operación, equipamiento de seguridad y tipo de instalaciones entre otros. Podrían identificarse alternativas para reducir o eliminar peligros. Los resultados han de ser aportados de manera clara, de manera que sea fácilmente identificable el peligro, causas, consecuencias, así como medidas preventivas y correctivas.

A modo de ejemplo, se suministra una sección de un APR para el almacenamiento de Amoniaco, sustancia empleada como elemento refrigerante:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Riesgo** | **Causa** | **Consecuencia** | **Medidas preventivas o correctivas** |
| Fuga tóxica | Pérdida por válvula de seguridad | Posible pérdida de respiración | Disponer de sistemas de detección y alerta.  Minimizar la cantidad almacenada  Mantenimiento de los elementos del sistema |

1. Ejemplo: Sección de un APR para el riesgo de fuga de Amoniaco desde el depósito por válvula defectuosa.

*What if...?*

El método consiste en cuestionarse que ocurriría en el caso de que se produjera un suceso indeseable. Requiere de un conocimiento experto, y es aplicable a establecimientos e instalaciones, siendo común su aplicación ante cambios propuestos en instalaciones existentes.

Como resultado se obtiene un listado de posibles escenarios incidentales, sus consecuencias y las posibles soluciones para la minimización del riesgo.

A modo de ejemplo, se suministra una sección de un análisis de estas características para diferentes productos:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **¿Qué ocurre si...?** | **Consecuencia** | **Recomendaciones** |
| ¿Se recibe un explosivo en mal estado? | Posible explosión | Segregar del resto del cargamento  Aviso a la autoridad competente |
| ¿Se rompe una manguera en operaciones de suministro de Hidrocarburos? | Fuga y posible incendio de producto. | Alarma/cese de operaciones |

1. Ejemplo: Sección de un Análisis What if...?

*Análisis funcional de Operabilidad (HAZOP).*

Esta técnica se basa en la premisa de que los accidentes se producen como consecuencia de una desviación de las variables de proceso con respecto a los parámetros normales de operación. Se analizan las causas y consecuencias por medio de lo que se denominan “palabras guía”. Este método suele emplearse en plantas de proceso de relativa complejidad o áreas de almacenamiento de equipos de regulación o diversidad de tipos de trasiego. Se emplean a su vez para plantas de nueva construcción, pudiendo identificar fallos de diseño, construcción, ...

Para su aplicación, en primer lugar, se han de definir las áreas de estudio, definiendo, en una planta de proceso, subsistemas para mayor comodidad. Para cada subsistema se definen posteriormente una serie de nudos o puntos diferenciados a los que se aplica la técnica, quedando caracterizado por una serie de variables de proceso (temperatura, presión, ...). Para la definición de las desviaciones de las variables de proceso se aplica a cada variable una palabra guía. A modo de ejemplo, en la tabla siguiente se muestran algunas de las empleadas.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Palabra guía** | **Significado** | **Aplicación** |
| No | Ausencia de variable | Caudal  Nivel |
| Más | Aumento de variable | Temperatura  Presión  Caudal  Nivel |
| Menos | Disminución de variable | Temperatura  Presión  Caudal  Nivel |
| Más cualitativo | Aumento o presencia de componentes en una mezcla | Caudal |

1. Ejemplo: Palabras guías empleadas.

Posteriormente, por medio de un equipo multidisciplinar se realizan las sesiones HAZOP, a través de las cuales se analizan las desviaciones planteadas de forma ordenada, quedando registrado el contenido de las mismas.

Para culminar el estudio, se emite un informe final por medio del cual se suministra un esquema simplificado con la situación e identificación de los nudos, los registros de análisis de las desviaciones planteadas, el análisis de los resultados, la lista de medidas a adoptar y por último, la lista de sucesos iniciadores.

*Análisis del modo, efecto y criticidad de fallos (FMEAC o AMFEC).*

Este método consiste básicamente en elaborar la relación de los equipos y sistemas de una planta, estableciendo las posibilidades de fallo, la influencia y criticidad de los mismos al conjunto del sistema, estableciendo el orden de importancia de los fallos en función de sus consecuencias. De este modo se establece que fallos pueden afectar al desarrollo de accidentes graves. Este método no establece combinaciones de fallos o secuencias que desembocan en un accidente final de mayores consecuencias.

Los fallos típicos que se consideran representan condiciones anormales, como pudieran ser:

* Abierto cuando debería estar cerrado.
* Cerrado cuando debería estar abierto.
* Funcionando cuando debería estar parado.
* Otros.

A partir de la identificación de los fallos, será posible establecer el efecto y la criticidad de los mismos. A modo de ejemplo se suministra la siguiente tabla para un caso hipotético.

|  |  |
| --- | --- |
| **Efecto** | **Criticidad** |
| Ninguno | 1 |
| Peligro menor para las instalaciones y personas. No requiere parada. | 2 |
| Peligro para las instalaciones y personas. Requiere parada. | 3 |
| Peligro inminente para las instalaciones y personas. Requiere parada de emergencia. | 4 |

1. Ejemplo: Análisis del Modo, Efecto y Criticidad de Fallos.

**Métodos Semicuantitativos**

Estos métodos permiten la clasificación de las áreas de un establecimiento en base a una serie de índices que miden su potencial para ocasionar daño en función de una serie de magnitudes y criterios. Destacan las clasificaciones mediante índices DOW y MOND, basándose ambos en la asignación de penalizaciones y bonificaciones a las instalaciones de un establecimiento. Las penalizaciones son asignadas en función de las sustancias presentes y las condiciones de proceso, mientras que las bonificaciones tienen en cuenta las instalaciones de seguridad que pueden mitigar o prevenir efectos de los accidentes que pudieran ocurrir.

**Métodos cuantitativos.**

Estos buscan cuantificar los efectos derivados de accidentes graves. El detalle de la metodología se desgrana de los contenidos del presente documento.

**Selección del método adecuado**

En función de las circunstancias y características propias de las áreas de una instalación, los métodos anteriormente expuestos resultan más o menos propicios para su utilización. A continuación, se muestra una tabla en la que se recomienda el empleo de las diferentes técnicas en función de unos determinados criterios. La misma se extrae de la publicación Metodologías para el análisis de riesgos, suministrada por la Dirección General de Protección Civil y Emergencias.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Métodos** | **Generales** | | | | | | **Unidad** | | | | |
| **1. Instala. + 3 Unidades** | **Plantilla**  **1. > 30**  **2. ≥ 250**  **3. ≥ 300** | **Cantidades almacén y procesos.**  **1. Grande**  **2. Medio**  **3. Poco** | **Proceso**  **1. Continuo**  **2. Batch** | **Condiciones**  **Almacenamiento**  **1. Muy severas**  **2. Severas**  **3. Poco severas** | **Control**  **1. distribuido** | **Edad**  **1. Nueva**  **2. Antigua**  **3. Proyecto** | **Estado**  **1. Ampliación**  **2. Modificación** | **Entorno**  **1. Poco Vulne**  **2. Vulnerable**  **3. Muy Vulne** | **Fase**  **1. Marcha**  **2. Arranque**  **3. Funciona**  **4. Parada** | **Diseño**  **1. Nuevo**  **2. Antiguo** |
| Análisis Histórico |  | 1 2 3 | 1 2 3 | 1 2 | 1 2 3 | 1 | 1 2 3 | 1 2 | 1 2 3 | 1 2 3 4 | 2 |
| HAZOP |  |  | 1 2 | 1 | 1 2 |  | 1 3 | 1 | 2 3 | 3 | 1 |
| FMEAC |  |  |  |  |  | 1 |  |  |  |  |  |
| Análisis Preliminar |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Check list |  |  | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 3 | 1 2 | 4 |
| What if...? |  |  | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 3 | 1 2 | 4 |
| MOND | 1 |  |  |  |  |  | 3 |  |  |  |  |
| DOW | 1 |  |  |  |  |  | 3 |  |  |  |  |
| Auditoria Seguridad |  | 3 | 1 |  | 1 |  | 1 3 |  | 3 |  | 1 |

1. Consideración del método adecuado para la identificación de peligros.
   * 1. Determinación de los sucesos iniciadores.

Para identificar los peligros de accidentes graves, se han de determinar los sucesos iniciadores susceptibles de originar una secuencia accidental. Este ha de ser un proceso exhaustivo, ya que se pretenden identificar todos los sucesos iniciadores posibles. Para ello se ha de atender tanto a posibles sucesos iniciadores internos como externos.

Para la identificación de sucesos iniciadores internos es posible atender a potenciales fallos en el equipamiento empleado, fallos por falta de suministros (combustible, energía eléctrica, producto químico, ...), fallos en los sistemas de emergencia (contra incendios, medios de contención, ...) o errores humanos entre otros.

Para la identificación de sucesos iniciadores externos es posible atender a posibles catástrofes naturales (seísmos, tormenta eléctrica, lluvias torrenciales, vientos huracanados,...), accidentes en el transporte (por tierra, mar o aire), en instalaciones vecinas o por actos de sabotaje.

Los sucesos iniciadores identificados deberán ser definidos, haciendo una descripción básica de cada uno de ellos, una relación de las causas que los pudieran provocar, describiendo el escenario y las condiciones de su ocurrencia en cada caso.

La relación de las causas que pudieran originar un suceso iniciador, están estrechamente relacionadas con el desarrollo de la actividad del establecimiento, el equipamiento y las sustancias presentes y procesos. A modo de ejemplo se citan las siguientes:

* Condiciones meteorológicas adversas.
* Operaciones fuera de los límites de seguridad.
* Reacción fuera de control.
* Error en la gestión y almacenamiento de residuos y/o sustancias.
* Corrosiones.
* Obstrucciones.
* Rotura total o parcial de elementos de la instalación.
* Errores de diseño.
* Deficiencias en el mantenimiento.
* Etc.

Se contemplarán finalmente dos tipos de sucesos iniciadores; aquellos que pudieran provocar los accidentes más probables, y aquellos que pudieran provocar los accidentes más graves razonablemente postulables, pudiendo ser descartados aquellos sucesos iniciadores que presenten leves consecuencias.

Consideraciones en relación con los accidentes probables.

Para este tipo de accidentes, para el suceso iniciador tipo en lo relativo a “pérdida parcial de la cantidad total de producto almacenado”, se hará referencia a una tubería de diámetro medio, en condiciones de rotura parcial (10 % de la sección total), nivel de llenado medio para el equipo desde el que se produce la fuga, en las condiciones meteorológicas más probables y con el funcionamiento correcto de sistemas de detección y mitigación (existen otros criterios en la bibliografía existente a nivel internacional).

Consideraciones en relación con los accidenten graves.

Para este tipo de accidentes, para el suceso iniciador tipo en lo relativo a “pérdida de inventariado”, se hará referencia bien a una tubería de diámetro mayor, o bien a la pérdida de todo el inventariado de un equipo, en condiciones de rotura total, con nivel de llenado máximo para el equipo, condiciones meteorológicas más desfavorables y funcionamiento de sistemas de protección pasivos exclusivamente (existen otros criterios en la bibliografía existente a nivel internacional).

Una vez considerados los aspectos anteriores, a partir de documentación técnica de reconocido prestigio, pueden identificarse y cuantificarse sucesos iniciadores tipificados. Cabe destacar documentos tales como:

* Manual de referencia BEVI del instituto nacional de seguridad pública y medio ambiente de los Países Bajos.
* Purple Book de TNO.

Este tipo de publicaciones aporta información sobre diversos tipos de sucesos iniciadores (rotura catastrófica, fuga por orificio de diámetro específico, …) para diferentes instalaciones (tanques, válvulas, tuberías, bombas, …).

De este modo, y a modo de ejemplo, se identifican a continuación algunas instalaciones, productos e iniciador, extraídos desde las publicaciones anteriormente indicadas.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Operación** | **Instalación** | **Producto** | **Iniciador** |
| Almacenamiento | Recipiente | Xileno | Rotura catastrófica |
| Almacenamiento | Recipiente | Acetona | Rotura catastrófica |
| Almacenamiento | Recipiente | Metanol | Rotura catastrófica |
| Carga y descarga | Recipiente | Xileno | Rotura catastrófica |
| Carga y descarga | Recipiente | Acetona | Rotura catastrófica |
| Carga y descarga | Recipiente | Metanol | Rotura catastrófica |

1. Ejemplo de sucesos iniciadores.

Además, las publicaciones anteriormente indicadas aportan valores para la frecuencia de ocurrencia de los iniciadores que pudieran identificarse. Continuando con el ejemplo anterior, la Tabla 8 muestra el detalle de la frecuencia de ocurrencia del suceso iniciador identificado.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Operación** | **Instalación** | **Producto** | **Iniciador** | **Frecuencia (operación-1)** |
| Almacenamiento | Recipiente | Xileno | Rotura catastrófica | 1 x 10-5 |
| Almacenamiento | Recipiente | Acetona | Rotura catastrófica | 1 x 10-5 |
| Almacenamiento | Recipiente | Metanol | Rotura catastrófica | 1 x 10-5 |
| Carga y descarga | Recipiente | Xileno | Rotura catastrófica | 1 x 10-5 |
| Carga y descarga | Recipiente | Acetona | Rotura catastrófica | 1 x 10-5 |
| Carga y descarga | Recipiente | Metanol | Rotura catastrófica | 1 x 10-5 |

1. Frecuencia de ocurrencia de iniciadores.

Como se observa en este caso, esta frecuencia es dependiente del número de operaciones, información a aportar por el industrial. Si a modo de ejemplo se considera un número de operaciones en cada caso de 400 al año, la frecuencia anual de ocurrencia de estos iniciadores sería la que se indica a continuación.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Operación** | **Instalación** | **Producto** | **Iniciador** | **Frecuencia**  **(operación-1)** | **Operaciones** | **Frecuencia**  **(año-1)** |
| Almacenamiento | Recipiente | Xileno | Rotura catastrófica | 1 x 10-5 | 400 | 4 x 10-3 |
| Almacenamiento | Recipiente | Acetona | Rotura catastrófica | 1 x 10-5 | 400 | 4 x 10-3 |
| Almacenamiento | Recipiente | Metanol | Rotura catastrófica | 1 x 10-5 | 400 | 4 x 10-3 |
| Carga y descarga | Recipiente | Xileno | Rotura catastrófica | 1 x 10-5 | 400 | 4 x 10-3 |
| Carga y descarga | Recipiente | Acetona | Rotura catastrófica | 1 x 10-5 | 400 | 4 x 10-3 |
| Carga y descarga | Recipiente | Metanol | Rotura catastrófica | 1 x 10-5 | 400 | 4 x 10-3 |

1. Frecuencia anual de ocurrencia de iniciadores.
   * 1. Evolución de los sucesos iniciadores.

Una vez establecidos los sucesos iniciadores, se ha de estudiar su posible evolución. Esto se realiza por medio de árboles de suceso. Se crea un árbol de sucesos por cada suceso iniciador, salvo en aquellos casos en los que la evolución de sucesos iniciadores diferentes pudieran ser similares, pudiendo ser agrupados de manera justificada. El resultado será el listado de accidentes característicos, así como la secuencia accidental.

El árbol de sucesos es una técnica inductiva que consiste, en primer lugar, en identificar los factores que condicionan la evolu­ción secuencial del accidente, y posteriormente identificar la ocurrencia (éxito/fallo) de cada uno de ellos. Se colocan cada uno de los N factores identificados como “cabezales” y partiendo del iniciador se plantea sistemáticamente, para cada uno de ellos, dos bifurca­ciones: en la parte superior se refleja el éxito o la ocurrencia del suceso y en la parte inferior el fallo o no ocurrencia del suceso.

La disposición horizontal de los “cabezales” se suele hacer por orden cronológico de evolución del accidente, aunque no siempre se puede aplicar este criterio. Mediante el árbol de sucesos que se muestra a continuación se pueden entender estos conceptos. En este árbol de sucesos E significa éxito u ocurrencia y F fallo o no ocurrencia.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Suceso iniciador | Primer factor  condicionante | Segundo factor  condicionante | ... | Consecuencias |

E1

E2

E3

E4

E5

E

F

E

F

E

F

E

F

1. Árbol de sucesos.

Los accidentes de gran magnitud en la industria suelen estar asociados a la pérdida de inventariado de un producto tóxico o inflamable. En función de su estado y características pueden producirse diferentes consecuencias que se manifiestan a modo fenómenos peligrosos del tipo térmico, mecánico o tóxico.

Los fenómenos peligrosos del tipo térmico, por lo general se originan a partir de:

* Incendio de charco (POOL-FIRE): Combustión estacionaria con llama de difusión, de un líquido en forma de charco de extensión conocida, que se produce en un recinto descubierto.
* Dardo de fuego (JET-FIRE): Ignición de un chorro turbulento de gases combustibles, ocasionando una llama estacionaria y alargada (de gran longitud y poca anchura).
* Llamarada (FLASH-FIRE): Llama progresiva de difusión con baja velocidad de llama, no produciéndose onda de presión.
* Bola de Fuego (BALL-FIRE): Llama de propagación por difusión, formada cuando una masa importante de combustible se enciende por contacto con llamas estacionarias contiguas, formándose un globo incandescente que asciende verticalmente y se consume con gran rapidez.
* BLEVE: Del inglés *boiling liquid expanding* vapor explosión. El estallido de un recipiente que contiene un gas inflamable licuado a presión, que ha sido sometido a un sobrecalentamiento externo, de manera que la pared del recipiente pierde resistencia mecánica hasta el punto de no resistir la presión. Suele sucederle una Bola de Fuego.
* Borbollón (BOIL-OVER): Tras el incendio de un tanque de una sustancia densa como puede ser el Fueloil, el incremento en el frente de temperatura que desciende hasta el fondo del tanque evapora súbitamente el agua residual que pudiera existir, provocando la expulsión al exterior de la sustancia incendiada.

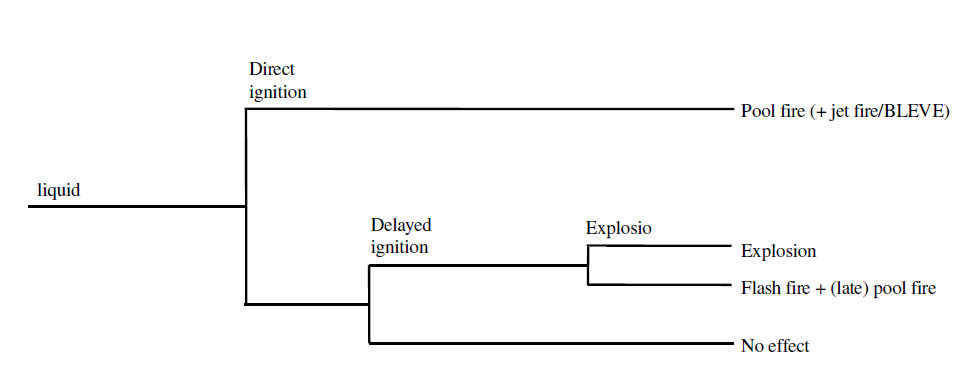
Los fenómenos peligrosos del tipo mecánico, por lo general se originan a partir de:

* Explosión: Equilibrio en un breve período de tiempo de una masa de gases en expansión contra la atmósfera que la envuelve. Si la energía necesaria para la expansión de los gases procede de una reacción química, se dice que la explosión es química; es el caso de las explosiones derivadas de fenómenos de combustión donde están involucrados gases inflamables, de explosiones derivadas de reacciones incontroladas y de explosiones asociadas a la ignición o descomposición de substancias explosivas. Si la energía procede de la liberación repentina de un gas comprimido o de la expansión rápida de vapores, se trata de una explosión física (este último tipo de explosión se denomina estallido).
* Explosión de vapor confinado (CVE, acrónimo de la expresión *Confined Vapor Explosion*). Tipo de explosión química que involucra gases inflamables en condiciones de confinamiento (total o parcial).
* Explosión de una nube de vapor inflamable no confinada (UVCE, acrónimo de la expresión inglesa *Unconfined Vapor Cloud Explosion*). Tipo de explosión química que involucra una cantidad importante de gas o vapor en condiciones de inflamabilidad, que se dispersa por el ambiente exterior. Para que esto ocurra, a grandes rasgos, la cantidad de gas tiene que superar el valor de algunas toneladas. Cuando no es así, normalmente la ignición de la masa de vapor deriva en una llamarada sin efectos mecánicos importantes. En general, este tipo de accidentes se asocia a situaciones que determinan el escape masivo de gases licuados, gases refrigerados y líquidos inflamables muy volátiles (con una intensa evaporación), ya que en estas circunstancias se pueden generar una gran cantidad de vapores inflamables en un breve período de tiempo.

Los fenómenos peligrosos del tipo tóxico, por lo general se originan a partir de:

* Fugas de sustancias tóxicas en estado tanto gaseoso como líquido cuando este evapora o cambia a estado gaseoso.

Los árboles de sucesos están tipificados en el manual Bevi, si bien puede ser oportuno adaptarlos a las condiciones propias de la industria. Continuando con el ejemplo, la Figura 2 muestra el árbol de sucesos tipo en el caso de fuga de un líquido inflamable, como son el xileno, el metanol y la acetona.



Fuga de líquido inflamable

Ignición directa

Ignición retardada

Explosión

Explosión

Flash-fire

Sin efecto / Nube tóxica

Incendio de charco

1. Árbol de sucesos (fuga de líquido inflamable).

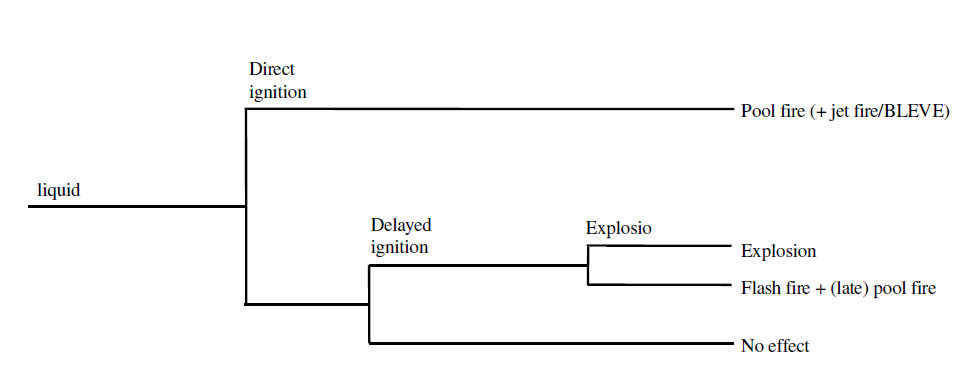
La misma referencia suministra probabilidades de ignición directa, ignición retardada y explosión de las sustancias atendiendo a sus características fisicoquímicas y condiciones de proceso. Para las sustancias tomadas como ejemplo anteriormente:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Sustancia** | **Estado** | **Producto** | **Punto de inflamación** | **Categoría** | **Probabilidad de Inflamación**  **(instalación fija)** |
| Xileno | Líquido | Acetona | 25 | 2 | 0.01 |
| Acetona | Líquido | Xileno | 18 | 1 | 0.065 |
| Metanol | Líquido | Metanol | 11 | 1 | 0.065 |

1. Probabilidad de ignición de las sustancias.

En este caso, el Metanol se considera tanto inflamable como tóxico, siendo la probabilidad de que se genere una nube de vapores (debida a la no ignición) de 1 – Probabilidad de ignición directa.

Para las sustancias de categoría 1 (atendiendo a los criterios que aporta el manual Bevi) se considera la posibilidad de ignición retardada, siendo de probabilidad 0.3. Como probabilidades de explosión o llamarada, se toman probabilidades de 0.4 y 0.6 respectivamente. A continuación, se muestra el árbol de sucesos al que se le han incluido las probabilidades anteriormente citadas.



Fuga de líquido inflamable

Ignición directa

Ignición retardada

Explosión

Explosión

Flash-fire

Nube tóxica/Sin efecto

Incendio de charco

SI P = 0.065

NO P = 0.935

SI P = 0.3

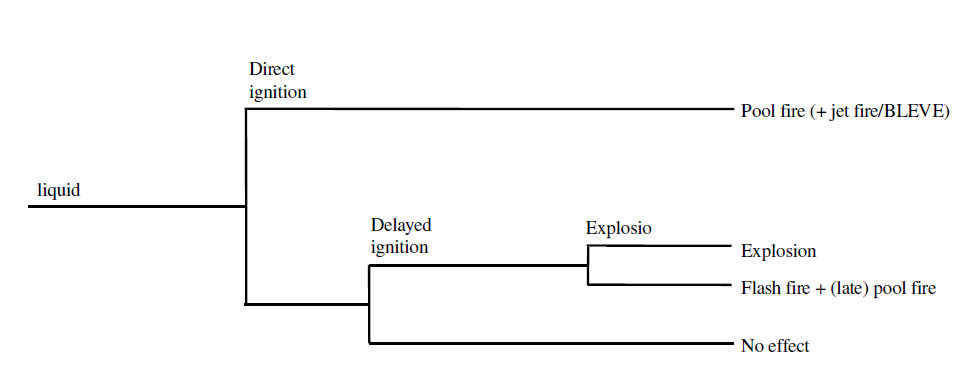
NO P = 0.7

SI P = 0.4

NO P = 0.6

METANOL - ACETONA

1. Árbol de sucesos, probabilidades (Metanol y Acetona).



Fuga de líquido inflamable

Ignición directa

Ignición retardada

Explosión

Explosión

Flash-fire

Sin efecto

Incendio de charco

SI P = 0.01

NO P = 0.99

SI P = 0

NO P = 1

XILENO

1. Árbol de sucesos, probabilidades (Xileno).

La probabilidad de los efectos se muestra a continuación.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Sustancia** | **Iniciador** | **Efecto** | **Cálculo de la**  **Frecuencia del efecto** | **Frecuencia**  **del efecto** |
| Xileno | Rotura catastrófica | Incendio de charco | 4 x 10-3 x 0.01 | 4 x 10-5 |
| Explosión | 4 x 10-3 x 0 | 0 |
| Incendio Flash | 4 x 10-3 x 0 | 0 |
| Sin efecto | 4 x 10-3 x 0.99 | 3.96 x 10-3 |
| Acetona | Rotura catastrófica | Incendio de charco | 4 x 10-3 x 0.065 | 0.26 x 10-3 |
| Explosión | 4 x 10-3 x 0.935 x 0.3 x 0.4 | 0.45 x 10-3 |
| Incendio Flash | 4 x 10-3 x 0.935 x 0.3 x 0.6 | 0.67 x 10-3 |
| Sin efecto | 4 x 10-3 x 0.935 x 0.7 | 2.62 x 10-3 |
| Metanol | Rotura catastrófica | Incendio de charco | 4 x 10-3 x 0.065 | 0.26 x 10-3 |
| Explosión | 4 x 10-3 x 0.935 x 0.3 x 0.4 | 0.45 x 10-3 |
| Incendio Flash | 4 x 10-3 x 0.935 x 0.3 x 0.6 | 0.67 x 10-3 |
| Nube tóxica | 4 x 10-3 x 0.935 x 0.7 | 2.62 x 10-3 |

1. Frecuencia de los efectos.
2. Cálculo de Consecuencias: Zonas de riesgo según valores umbrales.

Se entiende por análisis de consecuencias el cálculo, espacial y temporal, de las variables representativas de los fenómenos peligrosos de tipo mecánico, térmico y químico definidos por la “Directriz básica de protección civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas”, aprobada por el Real Decreto 1196/2003, y sus posibles efectos sobre las personas, el medio ambiente y los bienes, con el fin de estimar la naturaleza y magnitud del daño, de las diferentes hipótesis planteadas, determinando para las mismas las denominadas zonas de intervención y alerta. Estas quedan definidas por la Directriz Básica como:

* **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.
* **Efecto dominó**: Es la concatenación de efectos causantes de riesgo 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 modo que se produzca una nueva fuga, incendio, estallido, que a su vez provoquen nuevos fenómenos peligrosos.
  1. Riesgo, daño y vulnerabilidad

El riesgo se define como “probabilidad de que se produzca un efecto dañino específico en un periodo de tiempo determinado o en circunstancias determinadas”.

Para el eficiente control y planificación ante el riesgo de que se produzca un accidente grave en un establecimiento, es precisa la evaluación de las consecuencias de los fenómenos peligrosos, producto de los accidentes graves que pudieran ocurrir, sobre los elementos vulnerables próximos. Los fenómenos peligrosos a considerar pueden ser de tres tipos:

* + 1. Fenómenos peligrosos del tipo mecánico.

Se incluyen entre estos las ondas de presión y los proyectiles. 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). Por contra, 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.

Los efectos de la onda de presión pueden clasificarse de la manera siguiente:

* **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.
* **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.
* **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 este contra el suelo u otros obstáculos.
  + 1. Fenómenos peligrosos del tipo térmico.

Estos se producen a partir de 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.

En las proximidades del punto donde se desarrolla la llama, se tiene transmisión del calor tanto por convección como por radiación y conducción. Así pues, la única forma de evitar o mitigar sus efectos es la utilización de equipos de protección individual frente al calor o el fuego o protecciones adecuadas. En contraposición, a partir de una cierta distancia del foco del incendio, la transmisión del calor se efectúa exclusivamente por radiación, disminuyendo su intensidad al aumentar dicha distancia. Esto hace que cualquier pantalla opaca a la radiación térmica pueda constituir una medida de protección sumamente eficaz.

* + 1. Fenómenos peligrosos del tipo químico.

Se incluyen en este tipo de fenómeno indeseado las nubes tóxicas o la contaminación del medio ambiente debida a fugas o vertidos incontrolados de sustancias peligrosas para las personas y el medio ambiente.

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

La liberación incontrolada de productos contaminantes conlleva riesgos asociados cuyas consecuencias son diferidas en la mayoría de las ocasiones. Es por ello que, a la hora de delimitar las zonas afectadas por estos sucesos, es preciso el conocimiento de las circunstancias, en su más amplio sentido, bajo las que se desarrolla el accidente, así como la naturaleza del producto fugado en lo que a su capacidad contaminante se refiere.

Por lo que respecta a las sustancias peligrosas para el medio ambiente, se pueden producir alteraciones de éste por distintos sucesos, que son consecuencia de un desarrollo incontrolado de una actividad industrial. Entre tales sucesos se pueden incluir:

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.
   1. Criterios generales de análisis.

El análisis de las consecuencias de los accidentes en el ámbito del Real Decreto 840/2015 se desarrolla aplicando los criterios para establecer las zonas de planificación ante emergencias definidos por medio de la Directriz básica de protección civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas. Los criterios empleados para el análisis se exponen a continuación.

*“Los valores umbrales adoptados para la delimitación de la zona de intervención son:*

* *Un valor local integrado del impulso, debido a la onda de presión, de 150 mbarseg.*
* *Una sobrepresión local estática de la onda de presión de 125 mbar.*
* *El alcance máximo de proyectiles con un impulso superior a 10 mbarseg en una cuantía del 95%. Producidos por explosión o estallido de continentes.*
* *Una dosis de radiación térmica de 250 (kW/m2)4/3 · s, equivalente a las combinaciones de intensidad térmica y tiempo de exposición que se indican a continuación.*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *I, kW/m2* | *7* | *6* | *5* | *4* | *3* |
| *texp, s* | *20* | *25* | *30* | *40* | *60* |

* *Concentraciones máximas de sustancias tóxicas en el aire calculadas a partir de los índices AEGL-2, ERPG-2 y/o TEEL-2, siguiendo los criterios expuestos en la Directriz Básica.*

*Para delimitación de la zona de alerta se consideran los siguientes valores umbrales o circunstancias:*

* *Un valor local integrado del impulso, debido a la onda de presión, de 100 mbarseg.*
* *Una sobrepresión local estática de la onda de presión de 50 mbar.*
* *El alcance máximo de proyectiles con un impulso superior a 10 mbarseg en una cuantía del 99,9%. Producidos por explosión o estallido de continentes.*
* *Una dosis de radiación térmica de 115 (kW/m2)4/3 · s, equivalente a las combinaciones de intensidad térmica y tiempo de exposición que se indican a continuación.*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *I, kW/m2* | *6* | *5* | *4* | *3* | *2* |
| *texp, s* | *11* | *15* | *20* | *30* | *45* |

* *Concentraciones máximas de sustancias tóxicas en aire calculadas a partir de los índices AEGL-1, ERPG-1 y/o TEEL-1, siguiendo los criterios expuestos en la Directriz Básica.*

*Para la determinación de un posible efecto dominó de un accidente grave en instalaciones circundantes o próximas y/o en un establecimiento vecino, se establecen los siguientes valores umbrales:*

* *Radiación térmica: 8 kW/m2.*
* *Sobrepresión: 160 mbar.*
* *Alcance máximo de los proyectiles producidos por explosión o estallido de continentes (la distancia se calcula en función de las hipótesis accidentales consideradas).”*

Para la estimación de las consecuencias de estos accidentes graves se emplean metodologías de cálculo basados en modelos científicos internacionalmente aceptados. Estos se implementan en herramientas *software* que facilitan el cálculo (PHAST, ALOHA, Risk Curves, …).

Una vez estimadas, para cada accidente grave, las magnitudes de los fenómenos peligrosos, se debe llevar a cabo un análisis de la vulnerabilidad que estos valores suponen para las personas (se determina el alcance para el cual se espera que el 1% de los afectados reciba daños directamente letales), el medio ambiente (cuya metodología de análisis se describe en documento adjunto) y los bienes (para lo cual se indica la zona de efecto dominó). El cálculo de consecuencias se realiza atendiendo a la información meteorológica del entorno, ya que condiciones tales como la magnitud del viento, insolación, humedad o temperatura son parámetros de entrada para los modelos de cálculo.

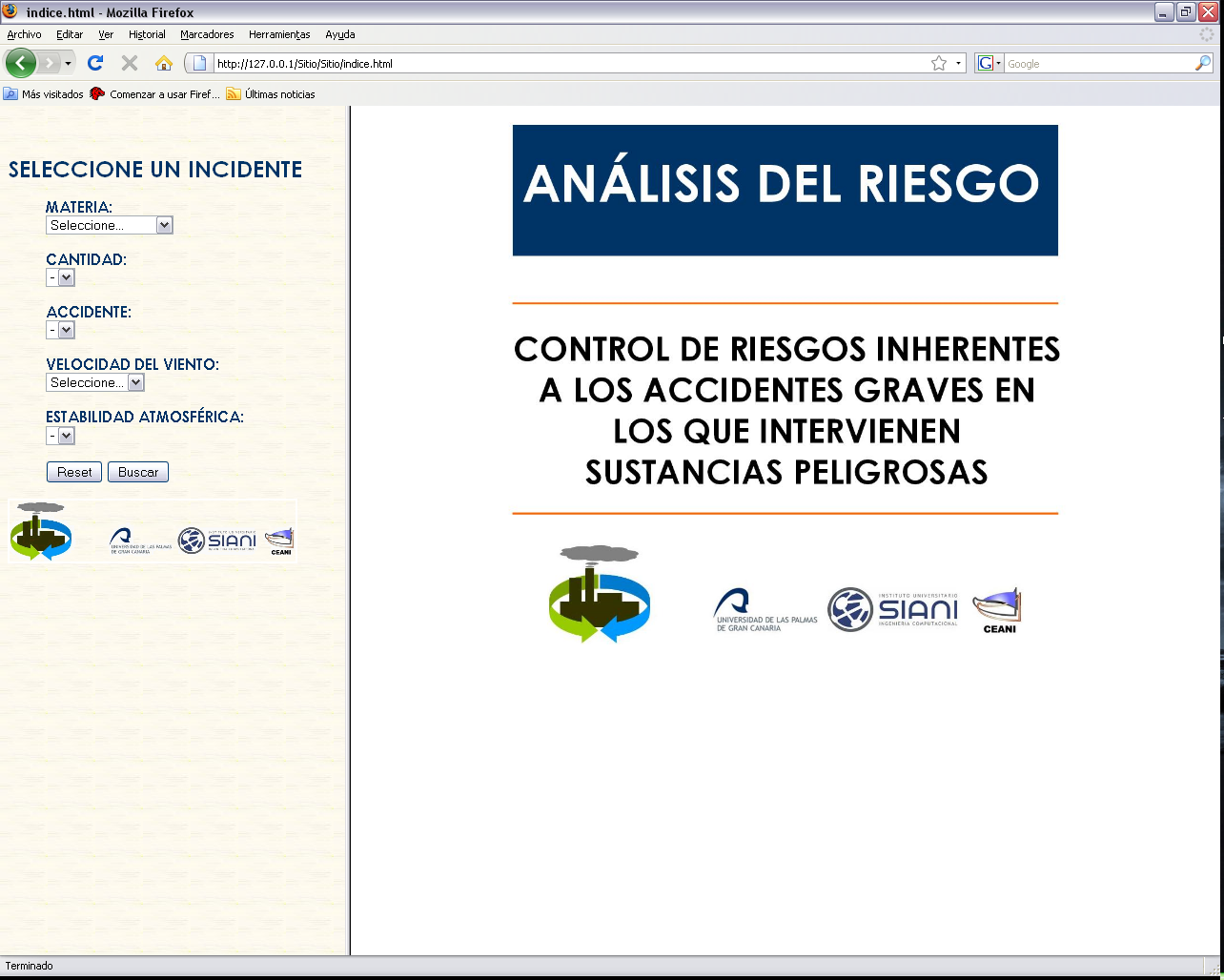
A continuación, se muestran algunos ejemplos de cálculo de consecuencias de accidentes graves, para lo cual se ha hecho uso de un software específico. Este está disponible a través del enlace:

http://ceani.siani.es/formacion/svea/analisisdelriesgo/

Los accidentes considerados se muestran a continuación:

| **Hipótesis** | **Incidente** | **Sustancia** | **Operación** | **Características** | **Localización** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | Fuga e incendio | Gasolina | Almacenamiento | 18.000 kg  Presión y temperatura ambiente | Hidrocarburos |
| 2 | Fuga e incendio | Gasolina | Almacenamiento | 21.000 kg  Presión y temperatura ambiente | Hidrocarburos |
| 3 | Explosión | Nagolita | Almacenamiento | Cantidad: 50 y 500 kg | Terminal |
| 4 | Fuga | Cloro | Almacenamiento | Depósito 12.000 kg  Presión 7 bar  Temperatura 21 ºC | Terminal |
| 5 | Fuga | Cloro | Almacenamiento | Depósito 21.000 kg  Presión 7 bar  Temperatura 21 ºC | Terminal |
| 6 | Fuga | Acetona | Almacenamiento | Depósito 18.000 kg  Presión y temperatura ambiente | Terminal |
| 7 | Fuga | Acetona | Almacenamiento | Depósito 21.000 kg  Presión y temperatura ambiente | Terminal |

1. Cuadro resumen de hipótesis a considerar.



1. Inicio de la aplicación.

A continuación, se determinarán las zonas de planificación para emergencias en relación a la primera de las hipótesis. Esta hace referencia al incendio del contenido de un tanque de gasolina tras la fuga del mismo, tanto en el caso de rotura catastrófica, como de la fuga de producto a través de una grieta equivalente a 10 mm de diámetro. Para ello, en primer lugar, se seleccionan las opciones:

* MATERIA: Gasolina.
* CANTIDAD: 18.000 kg.
* ACCIDENTE: Fuga rotura catastrófica.

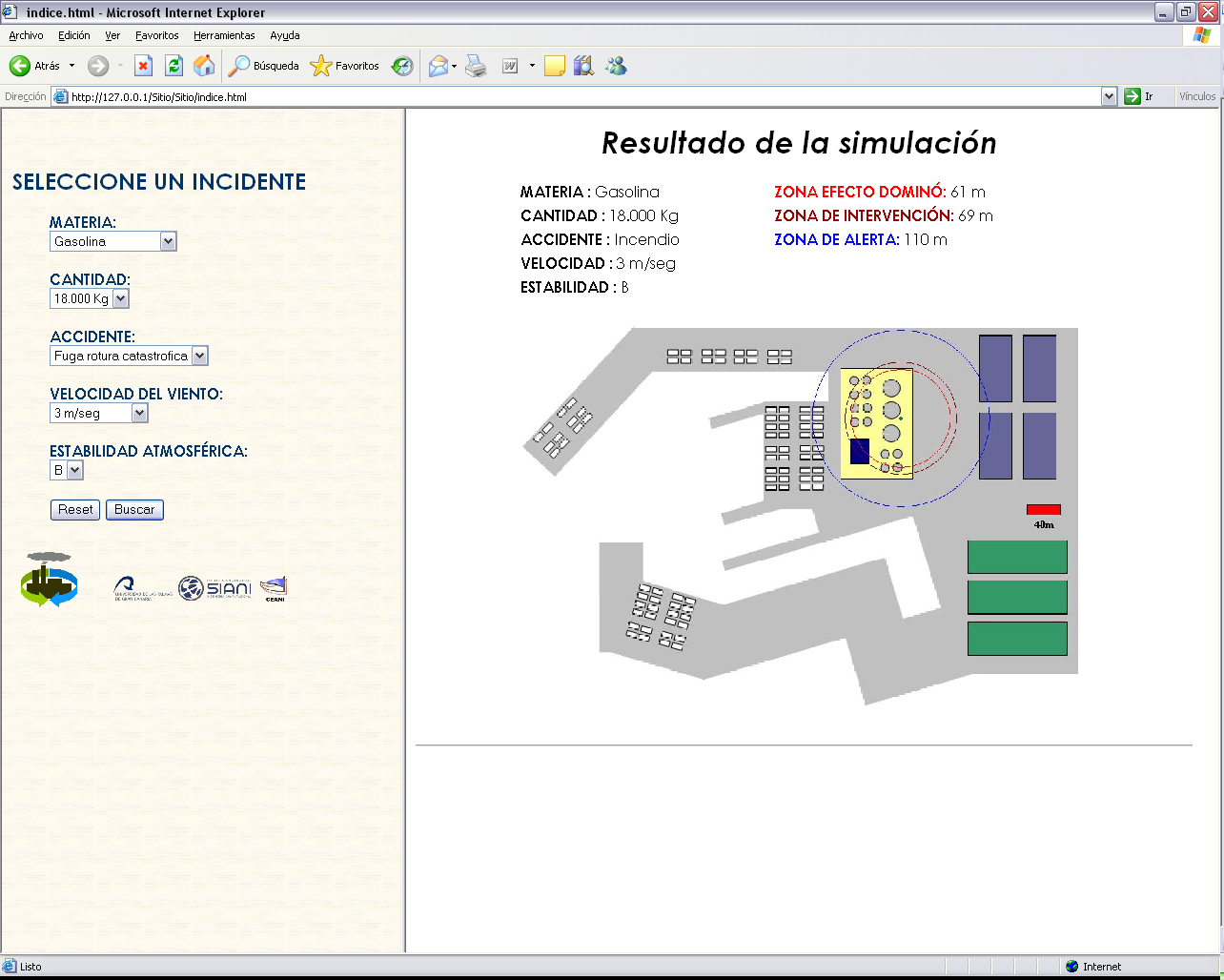
A continuación, se han de ajustar los parámetros “VELOCIDAD DEL VIENTO” y “ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA”. Para determinar las condiciones meteorológicas idóneas para cada estudio particular, se aconseja la realización de un estudio de condiciones meteorológicas en la zona de influencia.

Para el ajuste de las condiciones de estabilidad atmosférica se recomienda atender a la clasificación aportada por Pasquill. Esta se muestra a continuación.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Velocidad del viento (m/s) a 10 metros de altura | Insolación diurna | | | Condiciones nocturnas | |
| Fuerte | Moderada | Ligera | Finamente cubierto o más de la mitad cubierto | Nubosidad ≤ 3/8 |
| <2 | A | A-B | B | - | - |
| 2-3 | A-B | B | C | E | F |
| 3-4 | B | B-C | C | D | E |
| 4-6 | C | C-D | D | D | D |
| >6 | C | D | D | D | D |

1. Estabilidad atmosférica según Pasquill.

Se empleará en este caso una velocidad del viento de 3 m/s y una estabilidad atmosférica de Clase B. Por tanto, la selección en el caso de producirse una rotura catastrófica del tanque se establece como se muestra a continuación:



1. Zonas de Planificación para la emergencia.

Como se observa en este caso, la Zona de Alerta se establece a 110 metros de distancia desde el origen de fuga, mientras que la de Intervención y de efecto Dominó se sitúan a 69 y 61 metros respectivamente. Para establecer las zonas de planificación en el caso de producirse la fuga a través de una grieta equivalente a 10 mm, se ha de seleccionar esta opción en el campo ACCIDENTE. Los resultados se muestran a continuación:



1. Zonas de Planificación para la emergencia.

Como se observa en este caso, la Zona de Alerta se establece a 41 metros de distancia desde el origen de fuga, mientras que la de Intervención y de efecto Dominó se sitúan a 33 y 31 metros respectivamente. En el caso de afectar el incidente al depósito de 21.000 kg, se establecen a continuación las Zonas de Planificación ante emergencias tanto para el caso de producirse la rotura catastrófica, como para la fuga de producto a través de una grieta equivalente a 10 mm.

Texto

Descripción generada automáticamente

1. Zonas de Planificación para la emergencia.

**Texto

Descripción generada automáticamente**

1. Zonas de Planificación para la emergencia.

A continuación, se establecen las Zonas de Planificación ante la emergencia derivada de la explosión de 50 y 500 kg de una materia explosiva a base de Nitrato de Amonio. Para ello se seleccionan en la aplicación las opciones adecuadas:

Texto

Descripción generada automáticamente

1. Zonas de Planificación para la emergencia.

Texto

Descripción generada automáticamente

1. Zonas de Planificación para la emergencia.

Se establecen a continuación las Zonas de Planificación ante la emergencia derivada de la fuga del contenido de un depósito de Cloro tanto de 12.000 como de 21.000 kg, a través de una grieta equivalente a un círculo de 10 mm de diámetro. Para ello se seleccionan en la aplicación las opciones adecuadas:

Imagen que contiene Interfaz de usuario gráfica

Descripción generada automáticamente

1. Zonas de Planificación para la emergencia.

Imagen que contiene Interfaz de usuario gráfica

Descripción generada automáticamente

1. Zonas de Planificación para la emergencia.

Se establecen a continuación las Zonas de Planificación ante la emergencia derivada de la fuga del contenido de un depósito de Acetona de 18.000 kg, tanto a partir de la rotura catastrófica del depósito, como a través de una grieta equivalente a un círculo de 10 mm de diámetro. Para ello se seleccionan en la aplicación las opciones adecuadas:

Interfaz de usuario gráfica, Texto

Descripción generada automáticamente con confianza media

1. Zonas de Planificación para la emergencia.

Interfaz de usuario gráfica, Texto

Descripción generada automáticamente

1. Zonas de Planificación para la emergencia.

Se establecen a continuación las Zonas de Planificación ante la emergencia derivada de la fuga del contenido de un depósito de Acetona de 21.000 kg, tanto a partir de la rotura catastrófica del depósito, como a través de una grieta equivalente a un círculo de 10 mm de diámetro. Para ello se seleccionan en la aplicación las opciones adecuadas:

Interfaz de usuario gráfica, Texto

Descripción generada automáticamente con confianza media

1. Zonas de Planificación para la emergencia.

Interfaz de usuario gráfica, Texto

Descripción generada automáticamente

1. Zonas de Planificación para la emergencia.

* 1. Análisis de la vulnerabilidad sobre las personas.

Una vez estimadas, para cada accidente grave, las magnitudes de los fenómenos peligrosos, se ha de llevar a cabo un análisis de la vulnerabilidad que estos valores suponen para las personas, el medio ambiente y los bienes. Para ello, la Directriz Básica determina que se han de emplear metodologías probabilísticas del tipo Análisis Probit (Probability Unit), en función de la disponibilidad y desarrollo de éstas.

Para cada una de las hipótesis accidentales, la vulnerabilidad sobre personas se ha de expresar en términos de víctimas y heridos de diferente tipología.

* + 1. Metodología Probit.

Los modelos de vulnerabilidad se emplean para determinar las consecuencias para las personas y edificios expuestos a una determinada carga térmica, tóxica o de sobrepresión. Estos modelos se basan en experiencias realizadas con animales en laboratorio o en estudios de las muertes o lesiones de accidentes ocurridos. Entre los modelos de vulnerabilidad destaca el método Probit, siendo este un método estadístico que aporta la relación entre la función de probabilidad y una determinada carga de exposición a un riesgo. La fórmula empleada para este modelo de vulnerabilidad se basa en una función matemática lineal de carácter empírico extraída de estudios experimentales:

P = a + b In V

Donde:

P = Función Probit de daño sobre la población expuesta.

a = Constante dependiente del tipo de lesión y tipo de carga de exposición.

b = Constante dependiente del tipo de carga de exposición.

V = Variable que representa la carga de exposición.

El valor Probit permite determinar el porcentaje de la población expuesta que se verá afectada a un determinado nivel de lesiones o por muerte a causa de una carga de exposición determinada. La equivalencia entre valores de la función Probit y el porcentaje de población afectada se determina a partir de la siguiente tabla.

Imagen de la pantalla de un celular con texto

Descripción generada automáticamente con confianza media

1. Relación entre el valor de la función Probit y el porcentaje de población afectada.
   * 1. Efectos de la radiación térmica

La radiación térmica emitida, es la propiedad más peligrosa a considerar derivada de un incendio.

Efectos sobre las personas:

El principal efecto que produce en los seres vivos en general, y en las personas en particular se manifiesta a modo de quemaduras de distinta gravedad. Estas se clasifican generalmente en las categorías de primer, segundo y tercer grado, dependiendo de la profundidad y extensión del daño, relacionada con la temperatura alcanzada por la piel, dependiente de la intensidad de radiación recibida y del tiempo de exposición. Esta dependencia se pone de manifiesto empleando el concepto “dosis de radiación térmica”, definida matemáticamente de manera comúnmente aceptada como:

D= I4/3te

Las quemaduras de primer grado producen un daño superficial. Entre otros aspectos, la sensación de dolor aumenta a medida que aumenta el tiempo de exposición. Partiendo de datos experimentales obtenidos por el autor Buettner, es posible establecer el valor umbral a partir del cual comienza la sensación de dolor. Esta se produce para una dosis de radiación térmica (DI) de aproximadamente 115 (kW/m2)4/3s, coincidiendo este valor con el umbral establecido por la Directriz Básica para el establecimiento de la Zona de Alerta.

Mediante la función PROBIT (P), se ha estimado el efecto de la radiación térmica sobre las personas. Tras diferentes experimentos se propone finalmente la siguiente ecuación:

P = -39.83 + 3.0186 ln (I4/3te)

A partir de esta ecuación, se obtiene:

DI = I4/3te = 

Las quemaduras de segundo grado afectan considerablemente a la epidermis, provocando la aparición de ampollas, precisando tratamiento médico. Partiendo de datos experimentales obtenidos por diversos autores, es posible establecer el valor umbral a partir del cual comienza la aparición de ampollas. Esta se produce para una dosis de radiación térmica (DII) de aproximadamente 250 (kW/m2)4/3s, coincidiendo este valor con el umbral establecido por la Directriz Básica para el establecimiento de la Zona de Intervención.

Mediante la función PROBIT (P), se ha estimado el efecto de la radiación térmica sobre las personas. Tras diferentes experimentos se propone finalmente la siguiente ecuación:

P = -43.14 + 3.0186 ln (I4/3te)

A partir de esta ecuación, se obtiene:

DII = I4/3te = 

Las quemaduras de tercer grado se extienden a la dermis, donde se alojan terminaciones nerviosas y raíces capilares, requiriendo atención médica urgente. Mediante la función PROBIT (P), se ha estimado el efecto de la radiación térmica sobre las personas. Tras diferentes experimentos se propone finalmente la siguiente ecuación:

P = -36.38 + 2.56 ln (I4/3te)

A partir de esta ecuación, se obtiene el valor de la dosis umbral para este nivel de daño:

DIII = I4/3te = 

La institución TNO, estima que a partir de esta ecuación es posible determinar el porcentaje de quemaduras mortales en caso de no disponer de protección.

A modo de ejemplo, es posible estimar por tanto que, para un tiempo de exposición de 60 segundos, a una radiación térmica de 8000 W/m2, se obtienen los siguientes porcentajes de población afectados:

*Quemaduras de primer grado:*

P = -39.83 + 3.0186 ln (80004/3· 60) = 8.7

De la tabla se obtiene que la población afectada es del 100 %.

*Quemaduras de segundo grado:*

P = -43.14 + 3.0186 ln (80004/3· 60) = 5.39

De la tabla se obtiene que la población afectada es del 65 %.

*Quemaduras de tercer grado:*

P = -36.38 + 2.56 ln (80004/3· 60) = 4.77

De la tabla se obtiene que la población afectada es del 41%.

La suma de los porcentajes supera el 100 %, por lo que estos han de ser corregidos. Un nivel de daño superior está incluido en el inferior. Por tanto:

* Quemaduras de tercer grado: 41%.
* Quemaduras de segundo grado: 65 - 41% = 24 %
* Quemaduras de primer grado: 100 – 65 % = 35 %

Efectos sobre los materiales:

TNO propone considerar la madera, sintéticos, vidrio y acero como elementos representativos de los que conforman edificaciones y equipos de procesos que pudieran verse afectados por la radiación térmica, considerando a su vez dos niveles de daño para los mismos:

* **Nivel 1:** Ignición, rotura de vidrios o fallos de elementos estructurales.
* **Nivel 2:** Decoloraciones superficiales, desprendimiento de pinturas y deformaciones apreciables sin que se produzca el colapso.

La estimación del umbral a partir del cual se producen daños en los materiales es compleja, ya que depende de multitud de variables (material constructivo, aislamientos, revestimientos, espesor, ...). Según Robertson (1976) pueden producirse incendios secundarios (como consecuencia del efecto dominó) en edificios para flujos de radiaciones superiores a 12,6 kW/m2 y superiores a 37,8 kW/m2 para plantas y tanques de almacenamiento de productos inflamables, considerando un tiempo en torno a 20 minutos para que se produzca la ignición.

Dada la dificultad anteriormente citada, TNO propone el concepto de intensidad crítica de radiación, para estimar el nivel de daño sobre los materiales. Este concepto hace referencia al valor de intensidad de radiación térmica por debajo del cual no se produce la ignición de un material. A partir del mismo sería aplicable el concepto de dosis de radiación térmica. TNO propone valores de intensidad crítica de radiación térmica orientativos para estimar daños de nivel 1 y 2 para los materiales anteriormente considerados:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Material** | **Daños de nivel 1** | | **Daños de nivel 2** | |
| **ICR, Kw/m2** | **T, ºC** | **ICR, Kw/m2** | **T, ºC** |
| Madera | 15 | 410 | 2 | 100 |
| Sintético | 15 | - | 2 | 100 |
| Vidrio | 4 | 120 | - | - |
| Acero | 100 | 500 | 25 | 200 |

1. Radiación térmica para diferentes materiales.

Otros autores recogen diferentes valores de intensidad crítica o máxima tolerable para diferentes materiales indicados a continuación:

|  |  |
| --- | --- |
| **Material** | **Máxima radiación tolerable, Kw/m2** |
| Cemento | 60 |
| Cemento precomprimido | 40 |
| Hormigón | 200 |
| Acero | 40 |
| Madera | 10 |
| Vidrio | 30 – 300 |
| Pared de ladrillos | 400 |

1. Máxima radiación tolerable.
   * 1. Efectos de las nubes tóxicas

Los índices AEGL, ERPG y TEEL anteriormente definidos, implican niveles de daños y efectos. Estos se describen a continuación [5].

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Nivel** | **Descripción de daños** | **Zona de planificación** |
| - | Amenaza para la vida | Intervención |
| 3 | Disminución de la capacidad de huir  Efectos a largo plazo |
| 2 | Incomodidad, malestar notable | Alerta |
| 1 | Olor, irritación |  |

1. Nivel de daños y efectos tóxicos.

Al igual que para el resto de fenómenos indeseados, en el caso de inhalación de sustancias tóxicas, la vulnerabilidad se estudia por medio de la función Probit, siendo esta como se indicó anteriormente:

P = a + b ln D

Donde P es la función Probit, mientras que a y b son constantes dependientes del tipo de sustancia de la que se trate, y la Dosis:

D = Cnmax texp

Donde Cmax representa la concentración de la sustancia tóxica en el aire, texp representa el tiempo de exposición y n es una constante dependiente de la sustancia tóxica analizada. Los valores de las constantes se han de obtener de fuentes fiables, como por ejemplo el TNO. Diferentes autores, a lo largo de la segunda mitad del siglo XX realizaron estudios de investigación encaminados a la determinación de estos valores. Sólo se conocen valores para sustancias puras, no para mezclas tóxicas, por lo que será posible el cálculo de la vulnerabilidad de las personas en el primer caso.

Para el cálculo de la vulnerabilidad de las personas se hace preciso el empleo de aplicaciones informáticas especializadas. A modo de ejemplo, sería posible obtener la dosis letal para índices del 1%, 50% y 99%, coincidiendo estos índices con los valores de función Probit de 2.67, 5.00 y 7.33 respectivamente. En el caso del Cloro, sustancia para la cual se han estudiado algunos incidentes a lo largo del presente curso, los valores de a, b y n indicados a continuación fueron propuestos por Berge y van Heemst en el año 1983, datos extraídos de la publicación Lee´s Loss Prevention in the Process Industries:

|  |  |
| --- | --- |
| **Coeficiente** | **Valor** |
| a | -5.04 |
| b | 0.5 |
| n | 2.75 |

1. Coeficientes para el Cloro.

A partir de los mismos, y de la función Probit, se obtienen los siguientes valores de Dosis:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Índice de letalidad** | **Función** | **Dosis** |
| 1% | 2.67 = -5.04 + 0.5lnD | 4.975 x 106 |
| 50% | 5.00 = -5.04 + 0.5lnD | 5.256 x 108 |
| 99% | 7.33 = -5.04 + 0.5lnD | 5.552 x 1010 |

1. Dósis recibida por Cloro.

A partir de estas condiciones, por medio de una aplicación informática, será posible determinar las distancias a las cuales la dosis implica la letalidad en los índices registrados en la tabla para un tiempo determinado.

* + 1. Efectos de las ondas de presión

Efectos sobre los seres humanos:

Los efectos directos que una onda de presión puede ejercer sobre los seres humanos (relacionados con la sobrepresión y el impulso) afectan en primera instancia a los denominados “órganos blandos” (fundamentalmente tímpano y pulmón). No obstante, cabe destacar los posibles daños derivados del desplazamiento y colisión del cuerpo contra objetos o estructuras.

Mediante las funciones PROBIT, es posible relacionar el porcentaje de afectados por un determinado tipo de daño, en función de las magnitudes que lo provocan. Con relación a la rotura de tímpano provocada por explosiones, se propone la siguiente ecuación PROBIT que relaciona la lesión indicada con el pico de sobrepresión:

Y =-15.6+1.93 ln Ps

A partir de estudios realizados para explosiones reales por autores como Vadala (estudiando a afectados por explosiones de minas antipersona), Henry (estudiando explosiones provocadas por armamento antiaéreo) y Reider (estudiando explosiones industriales) entre los años 1930 y 1968, se deduce la ecuación PROBIT siguiente, siendo esta la más empleada:

Y = -12.6 + 1.52 ln Ps

Con relación al daño producido en el pulmón, el estudio realizado por diferentes autores deriva inicialmente en la ecuación probit:

Y = -77.1 + 6.91 ln Ps

Posteriormente, diversos autores consideran que el efecto sobre el pulmón no es sólo dependiente de la sobrepresión, también depende del impulso originado por la misma. Se propone por tanto la siguiente función Probit:

Y = 5.0 – 5.74 ln 

donde P’ (adimensional) es la presión escalada e iesc (Pa1/2·s / kg1/3) es el impulso escalado, definiéndose estos parámetros según las expresiones siguientes:

P’= 

iesc = 

Pef es la presión que actúa sobre el individuo (Pa), Po la presión atmosférica (Pa), i el impulso mecánico (Pa·s) y m la masa corporal (kg). Combinando estas ecuaciones, se obtiene que para una persona de 70 kg, la ecuación queda como se indica a continuación:

Y = 5.0 – 5.74 ln 

En cuanto al daño por desplazamiento e impacto del cuerpo, la sobrepresión provoca un impulso que arrastra los objetos expuestos a la onda. Para un individuo que esté de pie, se proponen dos ecuaciones Probit para muerte por impacto del cráneo y por impacto del cuerpo, siendo estas:

Y = 5 – 8.49 ln S

Donde:



Para el caso de muerte provocada por impacto del cráneo. En el caso de muerte provocada por impacto del cuerpo:

Y = 5 – 2.44 ln S

Donde:



Efectos sobre los bienes materiales:

Múltiples autores han cuantificado el efecto dañino producido por una onda explosiva. A continuación, se muestran algunos datos aportados por V.J. Clancey tras el estudio de múltiples accidentes.

|  |  |
| --- | --- |
| **Daño** | **Sobrepresión (mbar)** |
| Rotura ocasional de ventanales de cristal | 2 |
| Rotura de pequeñas ventanas | 6 |
| Límite de alcance de proyectiles | 20 |
| Daños estructurales menores | 27 |
| Daños estructurales menores en viviendas | 48 |
| Demolición parcial de viviendas | 69 |
| Colapso parcial de muros y techos de viviendas | 138 |
| Daños estructurales serios | 158 |
| Destrucción del 50% del enladrillado de viviendas | 172 |
| Pequeños daños en maquinaria pesada | 206 |
| Deformación del acero de edificaciones | 206 |
| Ruptura de tanques de almacenamiento de oleos | 206-275 |
| Próximo a la total destrucción de viviendas | 344-482 |
| Probabilidad de destrucción total de viviendas | 689 |

1. Daños en materiales en función de la sobrepresión.
   1. Cuantificación del riesgo.

Una vez establecidas mediante el uso de software las distancias a las que se manifiestan los efectos letales de los accidentes, y empleando las frecuencias esperadas de ocurrencia de los mismos, puede establecerse la probabilidad de fatalidad en el entorno del accidente. A modo de ejemplo, considerando que el incendio de un charco de Xileno presentó una frecuencia de 4 x 10-5 (ver Tabla 11), en caso de disponer de un índice de letalidad del 1% a una distancia de 150 metros, la probabilidad de fallecer en dicha localización será de 4 x 10-5 x 0.01 = 4 x 10-7. Este tipo de cálculo se realiza para todos los efectos para finalmente adicionarse en función del espacio alrededor de la industria, de modo que finalmente puedan establecerse las curvas de isoriesgo. Mediante este tipo de curvas, se establecen las distancias a las que el riesgo de fatalidad es, por ejemplo, de 10-5, de 10-6, de 10-7, … de modo que se puede establecer un criterio de aceptación del riesgo (como norma general de 10-6). Con el propósito de facilitar esta tarea, existen aplicaciones software que permiten la realización automática de estos cálculos (por ejemplo, Risk Curves de TNO), de modo que quedan plasmados en el mapa del entorno.

1. Relación de accidentes graves identificados.

Una vez identificados y calculado el efecto de los accidentes graves, estos deben ser aportados a modo de resumen, siendo a su vez categorizados atendiendo a los siguientes criterios.

* 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.

Los objetivos del análisis del riesgo son identificar los accidentes graves que puedan ocurrir en el establecimiento, así como el cálculo de las consecuencias y daños producidos por aquéllos. De esta forma, quedarán determinados los que pueden ser calificados como accidentes de categorías 2 y 3.

1. Medidas de prevención, control y mitigación.

Para cada uno de los accidentes graves relacionados, se incluirá información sobre los parámetros técnicos y salvaguardias tecnológicas para evitar y mitigar sus consecuencias, así como los procedimientos previstos en el plan de autoprotección para dicho suceso. Se han de describir, por tanto, aquellas medidas de protección y mitigación asumidas por la política de seguridad del establecimiento, en relación al equipamiento disponible o instalado, así como los procedimientos previstos para los accidentes graves anteriormente identificados.

* 1. Medidas de Prevención, Control y Mitigación.
     1. Medios y recursos disponibles.

Como se indicó anteriormente, se han de describir las instalaciones encaminadas a potenciar la seguridad en el establecimiento. Estas deberían estar claramente identificadas y localizadas, empleando herramientas de apoyo que pudieran ser planos de ubicación de los medios materiales, principales características de los mismos, dotaciones de personal, ... Se podría atender, entre otras, a las siguientes tipologías:

* **Red de abastecimiento de aguas:** Podría considerarse la instalación de una red de abastecimiento de aguas empleada en caso de precisar este elemento para la retención de fugas de sustancias o para su empleo para la dispersión de nubes de gases contaminantes, entre otros. Se incluiría la descripción de la misma (tuberías, caudal, presión, ...).
* **Medios de lucha contra incendios:** El establecimiento debe cumplir los requisitos exigidos por el Reglamento de seguridad contra incendios en establecimientos industriales. Se debe incluir la descripción de la misma (tuberías, caudal, presión, ...).
* **Redes para la recogida, canalización y retención de fugas de sustancias contaminantes.** Los establecimientos que almacenen sustancias contaminantes deberían estar dotadas de redes para la recogida y canalización de derrames accidentales hasta elementos de almacenamiento puntual en caso de emergencia, evitando de este modo vertidos al exterior del establecimiento. Se incluirían las principales características de la misma (dimensiones, capacidad, materiales que la componen, ...).
* **Sistemas de ventilación:** La correcta ventilación de espacios de trabajo en los que se ubican sustancias inflamables evita la generación de atmósferas explosivas, así como la formación de nubes tóxicas en caso de sustancias de esta tipología. Se incluirían las características del mismo (ventilación natural o por equipo, capacidad de regeneración del aire,...).
* **Distancias de seguridad:** Puede ser recomendable restringir el acceso a determinadas zonas, o a determinar unas distancias mínimas de seguridad, así como la determinación de espacio suficiente para realizar trabajos en condiciones de seguridad.
* **Comunicación de alarmas:** Se indicará el sistema de comunicación de alarma disponible (acústico, visual, ...).
* **Señalización:** Se considera oportuno la señalización de los diferentes espacios de trabajo, incluyendo los posibles peligros que de los mismos se desprenden debido a las actividades o materias almacenadas y/o gestionadas en las zonas.
* **Alumbrado y red eléctrica:** Podría ser conveniente disponer de sistemas que aseguren la disposición de alumbrado y electricidad a determinados procesos en caso de deficiencias en el sistema público, con indicación del tiempo de acción del mismo.
* **Medios auxiliares y de protección personal:** Todos aquellos medios de auxiliares de ayuda (como pudieran ser indicadores de la dirección del viento, medidores de atmósferas explosivas, ...), así como los de protección personal (guantes, botas, equipos de respiración, trajes, ...).
* **Recursos humanos, organización y procedimientos:** Relación de personal y responsabilidades de los mismos, así como la distribución en turnos y horarios. Disposición del personal encargado de la seguridad del establecimiento. Disposición de procedimientos de actuación en caso de emergencia, así como formación del personal en los mismos. Plan de mantenimiento.
  + 1. Procedimientos de actuación en caso de emergencia

Los procedimientos de actuación en caso de emergencia se recogen en el plan de autoprotección del establecimiento. Para la elaboración de los citados procedimientos es necesario atender a las características propias de las instalaciones y de las sustancias que se gestionan. Las características de las instalaciones pueden ser consultadas a partir de los documentos de diseño de las mismas, mientras que las características de las sustancias pueden ser consultadas a partir de las denominadas Fichas de Seguridad Química, en las que se definen los riesgos derivados de la fuga de las mismas o efectos sobre la salud, entre otros aspectos. A continuación, se muestran algunos procedimientos a modo de ejemplo.

Procedimiento: Fuga e incendio de gasolina:

La fuga podría originarse a partir de una fisura en el tanque, colapso del mismo o bien por sobrellenado por error en la operación de descarga desde un buque. Como medidas generales, preventivas y de control, cabe destacar:

* No realizar, en la medida de lo posible, en las proximidades de los tanques, operaciones que pudieran conllevar peligro para la su seguridad.
* Atender las normas de seguridad en referencia a la descarga de hidrocarburos.
  + No se han de superar en ningún caso los caudales acordados.
  + Se ha de garantizar el contacto permanente entre las partes implicadas en la descarga.
* Las factorías están dotadas de hidrantes y/o monitores por la periferia de los cubetos, disponiendo de un adecuado sis­tema de bombeo y de aporte de agua.
* El personal de dichas factorías dispone de los suficientes conocimientos para actuar en caso de accidente
* Evitar potenciales focos de ignición en la instalación (prohibir fumar, controlar los trabajos en caliente,...).

Como medidas de intervención generales cabe destacar:

* Cesar las operaciones de descarga (si fuera el caso) en la mayor brevedad posible.
* Acordonar el área afectada y evacuar al personal no relacionado con la mitigación de la emergencia.
* Si no se ha incendiado el derrame, se ha de evitar crear focos de ignición, recoger el producto derramado y limpiar el cubeto de retención.
* En caso de incendio, actuar con los medios contraincendios de los que la instalación está dotada.
* Refrigerar el tanque afectado y los vecinos con abundante agua (mediante cañones y/o hidrantes y con el sistema de refrigeración).
* Acordonar la zona y facilitar el acceso a los equipos de intervención (bomberos, ambulancias, etc.).
* Realizar las acciones usando equipos de protección personal.
* Una vez mitigado el incidente gestionar adecuadamente los residuos generados.

Procedimiento: Explosión de un explosivo:

Como medidas generales, preventivas y de control, cabe destacar:

* El explosivo ha de permanecer en el terminal de carga/descarga el mínimo tiempo indispensable.
* Acordonar la zona para no permitir el paso a toda persona ajena, durante el desarrollo de las operaciones.
* Disponer de un sistema eficaz de señalización del tráfico rodado.
* Evitar crear focos de ignición o disposición de llamas desnudas durante el desarrollo de las operaciones.
* Evitar golpes o movimientos bruscos durante el desarrollo de las operaciones.
* No realizar otras operaciones en las proximidades.

Como medidas de intervención generales cabe destacar:

* Si se detecta bulto defectuoso, se ha de separar del resto y evitar en la medida de lo posible su manipulación.
* Acordonar el área afectada y evacuar al personal no relacionado con la mitigación de la emergencia.
* En caso de que el explosivo no sea reactivo con el agua, existe la posibilidad de lanzarlo al mar (si fuera posible), en una zona alejada de bienes y equipos vulnerables.
* En caso de explosión, se ha de atender al resto de contenedores que hubiera en las proximidades, por si hubieran quedado afectados y que pudieran contener carga en sustancias peligrosas.
* Realizar las acciones usando equipos de protección personal.
* Una vez mitigado el incidente gestionar adecuadamente los residuos generados.

Procedimiento: Rotura de contenedor con producto tóxico:

Como medidas preventivas y de control generales cabe destacar:

* Evitar golpes o movimientos bruscos durante el desarrollo de las operaciones.
* Evitar en la medida de lo posible la circulación de vehículos en las proximidades del contenedor.
* Disponer de un sistema eficaz de señalización del tráfico rodado.
* Acordonar la zona para no permitir el paso a toda persona ajena, durante el desarrollo de las operaciones.
* Garantizar que el contenedor esté siempre localizado, emplear etiquetas de identificación del tipo de sustancia almacenada en su interior.

Como medidas de intervención generales cabe destacar:

* Acordonar el área afectada y evacuar al personal no relacionado con la mitigación de la emergencia. Mantenerse en dirección del viento contraria al derrame.
* Intentar taponar la fuga, prestando especial atención al lí­quido fugado, dado que aparte de intoxicación puede cau­sar síntomas de congelación.
* Contener la propagación del charco de líquido con sacos de arena, absorbentes compatibles o medios similares destinados a tal efecto.
* Facilitar la dispersión de la nube de tóxica con agua pulveri­zada, en la dirección del viento, controlando el destino final del agua contaminada.
* Realizar medidas de concentración de contaminante en el aire, para prever el alcance de la nube tóxica.
* Mantener la comunicación para la coordinación de la emergencia.
* Realizar las acciones usando equipos de protección personal.
* Una vez mitigado el incidente gestionar adecuadamente los residuos generados.

Procedimiento: Rotura de contenedor con producto inflamable:

Como factor importante para la reducción de las consecuencias, se considera la disposición de medios para el control de la fuga, así como equipos contra incendios en las inmediaciones.

Como medidas preventivas y de control generales cabe destacar:

* Evitar golpes o movimientos bruscos durante el desarrollo de las operaciones.
* Evitar en la medida de lo posible la circulación de vehículos en las proximidades del contenedor.
* Disponer de un sistema eficaz de señalización del tráfico rodado.
* Acordonar la zona para no permitir el paso personas ajenas, durante el desarrollo de las operaciones.
* Garantizar que el contenedor esté siempre localizado, emplear etiquetas de identificación del tipo de sustancia almacenada en su interior.
* Disponer en las proximidades de este tipo de contenedores, equipos de lucha contra incendios.
* Evitar potenciales focos de ignición en las proximidades de la zona de operación.

Como medidas de intervención generales cabe destacar:

* Acordonar el área afectada y evacuar al personal no relacionado con la mitigación de la emergencia.
* Intentar cortar la fuga lo más rápidamente posible.
* Intentar contener el líquido derramado, evitar que acceda al alcantarillado u otras vías de evacuación.
* Evitar potenciales focos de ignición en las proximidades de la zona de emergencia y cubrir el charco inflamable con espuma.
* En caso de ignición de la sustancia inflamable, intentar sofocar el incendio con polvo químico seco y espuma.
* Retirar en la medida de lo posible de la zona del derrame los contenedores con peligro de incendio y/o explosión.
* Mantener la comunicación para la coordinación de la emergencia.
* Realizar las acciones usando equipos de protección personal.
* Una vez mitigado el incidente gestionar adecuadamente los residuos generados.