

La prevención de accidentes mayores en la industria

Estudios determinísticos de seguridad

El pasado mes de septiembre se celebró en Madrid el seminario sobre “La Prevención de Accidentes Mayores en la Industria”, fruto de la colaboración prestada por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, la Dirección General de Protección Civil, la Secretaría General de Medio Ambiente y el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). Sobre el tema “Estudios Determinísticos de Seguridad”, el profesor Joaquín Casal Fábrega, del Centro de Estudios del Riesgo Tecnológico, del Departamento de Ingeniería Química, de la Universidad Politécnica de Cataluña, presentó la ponencia que publicamos seguidamente.

El análisis del riesgo originado por los accidentes potenciales consiste básicamente en la determinación, con una precisión razonable, de:

- accidentes que puedan ocurrir
- frecuencia de los mismos
- magnitud de sus consecuencias.

Para llevar a cabo este análisis se dispone de una serie de metodologías, cuya utilización es cada vez más extendida. Algunas de estas técnicas son claramente determinísticas, otras son netamente probabilísticas, y un tercer grupo resulta algo más difícil de clasificar; en él incluimos el análisis histórico, determinados modelos de vulnerabilidad, e incluso el Hazop. Su aplicación a un proyecto o a una planta química ya existente puede verse de forma esquemática en la Fig. 1.

En el presente trabajo se exponen brevemente los métodos determinísticos más usuales, comentando sus aspectos más importantes.

Identificación de los accidentes posibles

Para establecer los accidentes que razonablemente hay que tener en cuenta en el análisis de una determinada planta, hay que recurrir en primer lugar al estudio de los acontecimientos “externos”; éstos serán función del entorno (plantas vecinas, vías de circulación, etc.) y, aunque pueden aplicarse algunas técnicas específicas, su identificación es en general una cuestión de lógica y buen criterio.

Más interesante y laborioso es el establecimiento de los acontecimientos internos, procedentes de la propia planta. Entre las diversas técnicas existentes comentaremos las dos más utilizadas: análisis histórico y Hazop.

El análisis histórico es la revisión de una serie de accidentes ocurridos en plantas u operaciones similares a la que queremos estudiar. Si la muestra es suficientemente elevada, es posible tener información significativa sobre los accidentes que más probablemente pueden ocurrir en nuestra

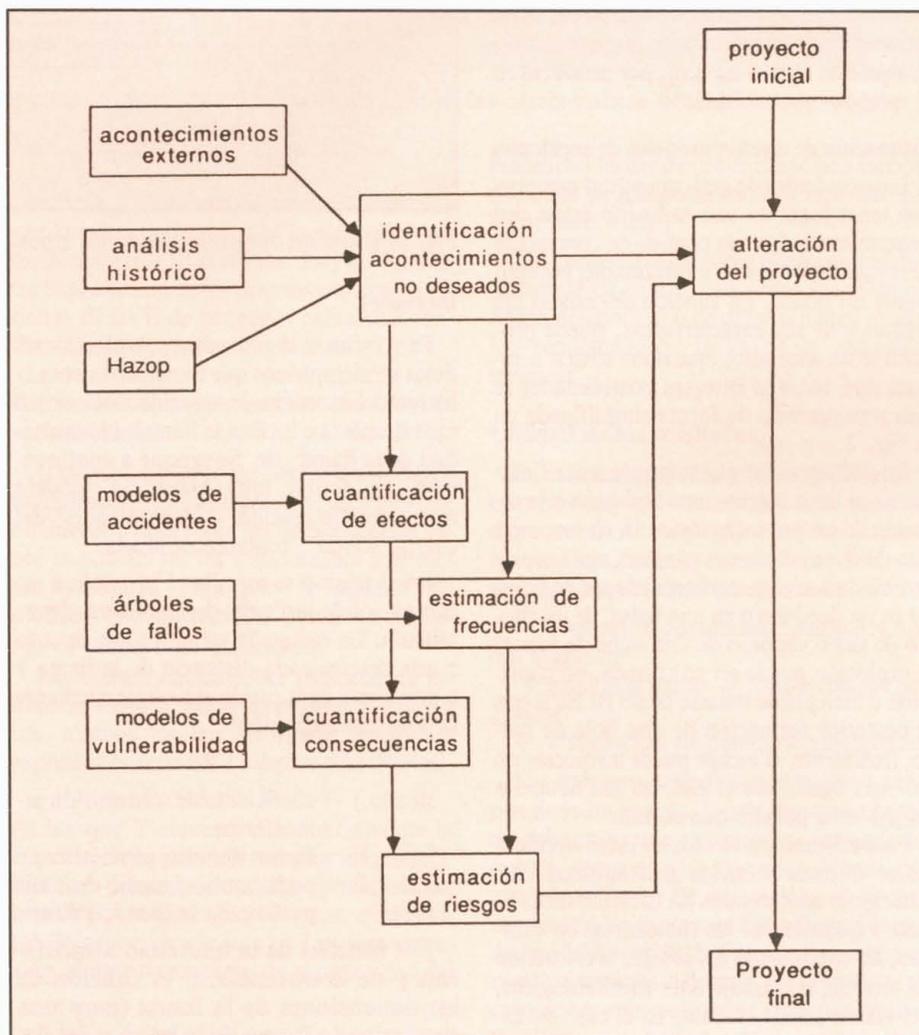


Fig. 1. Esquema general del análisis de riesgos.

planta. Esto permite el establecimiento “a priori” de los puntos débiles; las oportunas modificaciones permitirán pues, de una forma directa, reducir el riesgo. El análisis histórico tiene la ventaja de ser extraordinariamente rápido, y el inconveniente de requerir un banco de datos (informatizado) sobre accidentes.

Este conocimiento directo no debe consi-

derarse en absoluto substitutorio del que se obtendrá de un estudio sistemático, sino que tan sólo lo complementa. Es aconsejable por tanto realizar un análisis de peligros y funcionalidad (Hazop).

Esta metodología se basa en el hecho de que la probabilidad de que aparezcan problemas aumenta cuando las condiciones y variables de operación se alejan de sus valo-

res normales. Se utilizan una serie de palabras-guía (*no, más, menos, otro, etc.*) destinadas a hallar posibles desviaciones al ser aplicadas sistemáticamente a los diversos componentes de la instalación en estudio; este método permite también establecer las medidas a adoptar para reducir el riesgo (modificar la instalación o la forma de operar, instalar equipo redundante, etc.). El Hazop se lleva a cabo en grupo, de una manera formal y generando una notable cantidad de documentación.

Una vez establecidos los accidentes a tener en cuenta, la determinación del riesgo requiere la cuantificación de sus efectos y la estimación de su frecuencia; no se comentará aquí este último aspecto, por utilizarse en él métodos probabilísticos.

Estimación de efectos: modelos de accidentes

Los accidentes de gran magnitud que pueden tener lugar en una industria están casi siempre asociados a la pérdida de contención de un producto tóxico o inflamable, generalmente un fluido. En función del estado del mismo y de sus características, puede producirse un incendio, una nube tóxica o inflamable, etc. Las diversas posibilidades se han representado de forma simplificada en la Fig. 2.

En definitiva, lo que se puede tener finalmente es un incendio, una explosión o la difusión de un producto tóxico. A su vez, cada uno de estos accidentes presenta una serie de posibilidades: el incendio puede ser de líquido en un depósito o en una balsa, de un chorro de gas o vapor, o de una nube de vapor; la explosión puede ser confinada, no confinada o bien puede tratarse de un BLEVE con la posterior formación de una bola de fuego; finalmente, el escape puede involucrar un gas más ligero que el aire, un gas neutro o un gas más pesado que el aire.

Para estimar los efectos de estos accidentes se utilizan modelos matemáticos. Sus ecuaciones comprenden las características físicas y químicas de las sustancias en cuestión, las condiciones del escape, la estructura del terreno, las condiciones meteorológicas, etc. Así se puede estimar, en el caso de explosiones, la masa involucrada y la sobrepresión originada a diversas distancias; en el caso de incendios, se calcula la radiación térmica sobre personas e instalaciones en función de la distancia y la cota; y en el caso de productos tóxicos, puede preverse de forma aproximada cómo tendrá lugar la difusión, prediciendo así la distribución de concentraciones en función de la distancia y el tiempo.

A continuación se comentan brevemente algunos modelos para la estimación de los efectos de incendios y explosiones.

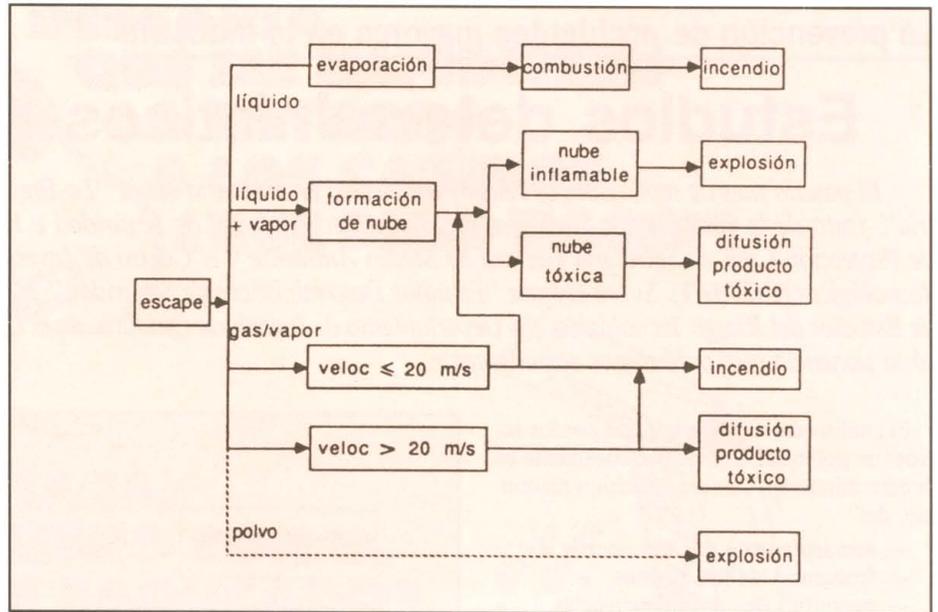


Fig. 2. Esquema simplificado de los tipos de accidentes

Incendios

Para estimar la radiación se utilizan modelos semiempíricos que tienen en cuenta la forma del incendio, la velocidad del viento (que desplaza e inclina la llama), la emisividad de la llama, etc. Se expone a continuación, de forma muy breve, un modelo relativamente sencillo, el denominado “del cuerpo sólido”, bastante utilizado.

En el mismo se asimila el incendio a un cuerpo sólido radiante, de una forma determinada. La radiación en un punto situado a una determinada distancia de la llama y a una cierta cota puede estimarse mediante la siguiente expresión:

$$q = j FE$$

siendo *j* = coeficiente de transmisión atmosférica,

F = factor de vista geométrico,

E = poder emisor medio de la superficie de la llama, kW/m².

j es función de la humedad atmosférica y de la distancia. *F* es función de las dimensiones de la llama (para una determinada forma de la balsa o del depósito, la altura puede calcularse mediante ecuaciones empíricas) y su cálculo es complejo; sin embargo, está tabulado para diversos casos: incendio rectangular, cilíndrico, etc. Finalmente, el poder emisor de la llama puede obtenerse también de la bibliografía, aunque de forma aproximada.

En la Fig. 3 puede verse la previsión para un caso concreto (una balsa de gasolina); se ha representado la radiación que incidiría sobre tres superficies (ver-

tical, horizontal e inclinada a 45°, respectivamente).

radiación térmica, kW/m²

Explosiones no confinadas

La deflagración de una nube de gas o vapor puede dar lugar a ondas de presión de efectos muy destructores. Como ejemplo pueden recordarse los accidentes de Flixborough (1974) y de los Urales (1989).

La severidad de una explosión depende de la masa involucrada y de la fracción de la energía desprendida que pasa a formar onda de presión. En general las sustancias que pueden originar nubes de vapor inflamables en la industria —los hidrocarburos, principalmente— tienen un contenido energético muy alto: 1 kg de GLP equivale, en contenido energético, a unos 10 kg de TNT. Por suerte, con estas sustancias no son de esperar detonaciones sino deflagraciones; por otra parte, tan sólo una pequeña parte de la energía desprendida contribuye a crear la onda de presión.

Un modelo simple para calcular los efectos de este tipo de explosiones es el denominado del TNT equivalente. Este método requiere estimar en primer lugar la cantidad de TNT que equivale, desde el punto de vista de la deflagración, a la masa de hidrocarburo presente en la nube. En general se acepta que

$$M_{TNT} = 0,2 \times M_{hidr}$$

aunque hay quien recomienda el criterio conservador de que 1 kg de hidrocarburo es igual a 1 kg de TNT.