



Conclusiones del accidente de Toulouse: aplicación a la estimación de pérdidas por explosiones

Luis Bravo de la Iglesia
Gerente del Área de Seguridad Industrial
ITSEMAP Servicios Tecnológicos MAPFRE

«Las trágicas consecuencias de este accidente ponen de manifiesto un riesgo infravalorado, tanto desde el punto de vista de las medidas previstas en la gestión de la seguridad, que se manifestaron insuficientes o inadecuadas, como en las derivadas de la planificación urbanística, con la implantación de numerosas actividades caracterizadas por su vulnerabilidad ante eventos de este tipo.»

INTRODUCCIÓN

El día 21 de septiembre de 2001 a las 10.15 horas se produjo una explosión en un silo de almacenamiento de nitrato amónico en la planta química AZF al sur de Toulouse (Francia).

La fábrica y sus inmediaciones quedaron devastadas y se produjeron 31 muertes y daños materiales hasta distancias de tres kilómetros.

Las trágicas consecuencias de este accidente ponen de manifiesto un riesgo infravalorado, tanto desde el punto de vista de las medidas previstas en la gestión de la seguridad, que se manifestaron insuficientes o inadecuadas, como en las derivadas de la planificación urbanística, con la implantación de numerosas actividades caracterizadas por su vulnerabilidad ante eventos de este tipo.

Por otro lado, la singularidad de este tipo de accidentes hace que las estimaciones de pérdidas previsibles se realicen sobre la base de ensayos y supuestos con altas dosis de incertidumbre respecto de las condiciones reales.

Con el fin de avanzar en el conocimiento de los efectos de las explosiones, personal de ITSEMAP se desplazó a la zona del accidente para recabar datos de las consecuencias del accidente, y así validar o corregir ciertos parámetros empleados en la es-

timación de consecuencias de eventos de este tipo.

En el presente artículo se recogen las principales conclusiones de un estudio relativo al análisis de las consecuencias de dicho accidente, de manera que se aportan parámetros que suponen un avance en el conocimiento técnico para la estimación de pérdidas previsibles (PML) de industrias análogas.

EL NITRATO AMÓNICO

El nitrato amónico es usado ampliamente como base de abonos nitrogenados. En condiciones normales de presión y temperatura es un sólido cristalino incoloro o blanco y sin olor. Su punto de fusión es de 169,6 °C, mientras que su punto de ebullición es de 210 °C si bien se descompone a temperaturas inferiores.

No es una sustancia combustible pero sí comburente, de manera que puede contribuir al inicio de un incendio e intensificarlo en presencia de materiales combustibles, confirmando a su mezcla con éstos propiedades de «explosivo».

Asimismo es posible la descomposición violenta de nitrato amónico sin impurezas orgánicas, si bien para ello es necesaria la existencia, al menos localmente, de condiciones de presión y temperatura elevadas.



ANTECEDENTES DE SINIESTROS

La explosión más grave de nitrato amónico tuvo lugar en Opau (Alemania) en 1921. El accidente fue debido a negligencia y desconocimiento de la verdadera peligrosidad que presenta este compuesto. La causa del accidente se cree que fue el uso de explosivos para la disgregación de pilas de nitrato amónico apelmazado.

Este método había sido aplicado rutinariamente con anterioridad. Nunca más lo fue: los explosivos colocados actuaron como detonante de toda la masa. Las consecuencias de la explosión fueron devastadoras. Los efectos se notaron a más de 25 kilómetros de distancia. Murieron 562 personas. La cantidad de nitrato amónico involucrado fue estimada en más de 4500 toneladas.

LA INDUSTRIA

La fábrica de AZF, perteneciente a la empresa Grande-Poironne filial de TotalFinaElf, ocupa una extensión de aproximadamente 62 hectáreas y se encuentra situada en un polígono industrial al sur de la ciudad de Toulouse. El acceso a las instalaciones se realiza a través de la N-20 (conocida como carretera de España).

La industria está dedicada a la producción de fertilizantes nitrogenados y productos químicos intermedios (320.000 t/año de urea y 280.000 t/año de nitrato amónico como productos más significativos)

La fábrica comenzó su actividad en los años 20 y ha sufrido diferentes modificaciones. Sin embargo, el almacenamiento de nitrato amónico se lleva a cabo en hangares de la primera etapa de actividad.

El hangar en el que se produjo el accidente contenía aproximadamente 200-300 toneladas de nitrato amónico que estaban almacenadas a granel, al parecer por encontrarse fuera de especificación comercial (en cuanto a tamaño y apariencia).



Vista general de la fábrica antes de la explosión.

EL ACCIDENTE

La explosión se produjo en el hangar número 221 de almacenamiento de nitrato amónico y provocó un cráter de 50 metros de diámetro y 10 metros de profundidad. Las edificaciones y equipos de proceso en un radio de unos 150 metros resultaron demolidos. La explosión fue registrada como equivalente a un sismo de 3,5 grados en la escala de Richter.

La causa apuntada como más probable sería un fallo en la gestión de residuos de un compuesto de cloro, de apariencia similar al nitrato amónico, del que se

ha podido comprobar su reactividad con éste.

Por otro lado, las sobrepresiones producidas y, por tanto, los efectos pudieron verse incrementados por el grado de confinamiento que presentaba el almacenamiento (las dimensiones del hangar 221 eran de 25 metros de largo, 8 de ancho y de 2 a 4 metros de alto).

LOS DAÑOS

En cuanto a los daños personales, los efectos de la explosión provocaron la muerte de 31 personas, 30 de ellos en la propia



Vista general de la fábrica después de la explosión.

planta de AZF e inmediaciones, y más de 2.400 resultaron heridas.

Se localizaron daños materiales a distancias superiores a tres kilómetros del lugar de la explosión, entre los que se han extraído los siguientes datos:

- 25.000 viviendas dañadas
- 11.000 viviendas con daños mayores
- 300 empresas afectadas
- 1.400 habitaciones dañadas en tres residencias universitarias
- Tres centros universitarios
- 70 colegios y guarderías afectados
- Un hospital seriamente dañado
- Un estadio de fútbol seriamente dañado
- Un centro de ocio seriamente dañado
- En conjunto se estiman unas pérdidas del orden de EUR 2.000 millones.

ESTIMACIÓN DE LOS DAÑOS CONSECUENCIA DE LAS EXPLOSIONES

Tradicionalmente la estimación de consecuencias de explosiones se realiza a través del modelo de masa equivalente de TNT, cuya simplicidad permite predecir los alcances de las consecuencias con herramientas sencillas, circunstancia muy importante desde el punto de vista asegurador, en la medida en que reduce los costes de suscripción.

Para ello, la masa del material potencialmente explosivo se corrige de acuerdo con la energía de descomposición característica y un factor de eficiencia, el cual viene determinado por la reactividad de la sustancia, el confinamiento en que tiene lugar la explosión, etc.

Para ello se emplea la siguiente expresión:

$$m_{eq\ TNT} = \eta m H_d / H_{TNT}$$

donde:

- $m_{eq\ TNT}$ masa equivalente de TNT (kg)

- η eficiencia de la explosión
- m masa de sustancia que causa la explosión (kg)
- H_d energía específica de descomposición del material considerado (J/kg)
- H_{TNT} energía específica de descomposición del TNT ($4,76 \cdot 10^6$ J/kg)

La eficiencia de la explosión h es dependiente tanto de la reactividad de la sustancia de que se trate como de las condiciones en que tenga lugar la explosión, principalmente el confinamiento.

De acuerdo con los estudios reflejados en la publicación *Ammonium Nitrate Guide* de la FMA (Fertilizer Manufacturer Association) la eficiencia máxima considerada para el nitrato amónico es del 25%.

Por otro lado, los efectos, tanto cualitativos (cráter, sobrepresión, ruido) como cuantitativos (valores de las variables asociadas a la explosión), guardan una fuerte dependencia de un parámetro denominado «distancia escalada», análogo a la relación entre la distancia a la explosión

y el tamaño (longitud característica) de la masa explosiva.

Esta «distancia escalada» responde a la siguiente expresión:

$$\bar{r} = \frac{r}{\sqrt[3]{m_{eq\ TNT}}}$$

donde,

- \bar{r} es la distancia escalada.
- r es la distancia al centro de la explosión y
- $m_{eq\ TNT}$ es la masa equivalente de TNT del explosivo

De esta manera se puede inferir que, partiendo de una determinada explosión, para obtener por ejemplo un cráter del doble de diámetro, sería necesaria una cantidad de explosivo ocho veces la de partida.

A partir de esta «distancia escalada» diferentes autores han estimado el *pico de sobrepresión* producido en la explosión, variable más representativa para la estimación de los daños.

Los daños materiales consecuencia de una explosión a partir del nivel de sobrepresión pueden evaluarse de acuerdo con los datos expresados en la tabla siguiente.

Pico de sobrepresión ΔP_{max} (bar)	Daños
0,01	Rotura de algún cristal
0,02	Daños en techos de viviendas. 10% de las ventanas rotas
0,03	Viviendas habitables después de reparaciones simples. Daños estructurales menores
0,03-0,07	Rotura de cristales. Daños en marcos de ventanas
0,07	Rotura de todos los cristales de las ventanas
0,07-0,15	Habitables tras grandes reparaciones. Tejados dañados, 25% de todas las paredes han fallado. Daños en marcos y puertas. Rotura de paneles de fibrocemento. Desprendimiento de paneles de aluminio o acero
0,16-0,20	Colapso parcial de estructuras de hormigón, destrucción total de viviendas ordinarias
0,20-0,27	La maquinaria pesada industrial sufre daños leves. Rotura de tanques de almacenamiento de líquidos, colapso de estructuras metálicas en edificios de construcción ordinaria
0,35	Los daños no son reparables. Entre el 50 y el 75 % de las paredes exteriores están dañadas
0,47	Vuelcos de vagones
0,50	Rotura de paredes de ladrillo. Las casas requieren demolición
0,70	Demolición del 75% de las casas
1-2	100% destrucción



CONSIDERACIONES RESPECTO DE LA APLICABILIDAD DE LOS MODELOS AL ACCIDENTE DE TOULOUSE

Con el fin de recabar datos fehacientes y objetivos respecto de las consecuencias de la explosión de AZF se realizó una inspección *in situ* con el fin de validar o, en su caso, corregir los parámetros de cálculo de los modelos anteriormente descritos.

En líneas generales se obtienen resultados acordes con los efectos calculados según los modelos, con las siguientes salvedades:

– La eficiencia estimada para la explosión del nitrato amónico sería del orden del 60%, notablemente superior a la anteriormente propuesta por la Fertilizer Manufacturer Association, que señala un valor del 25%.

– Existe un gran efecto de atenuación del pico de sobrepresión por efecto de la existencia de estructuras (dos o más edificios) que produzcan apantallamiento respecto del lugar en que tiene efecto la explosión.

– La singularidad que supone el cauce del río, en cuanto a la «conducción» de la onda de presión, hace que los efectos sobre las estructuras a lo largo del mismo sean sensiblemente superiores a los esperados según los modelos anteriores.

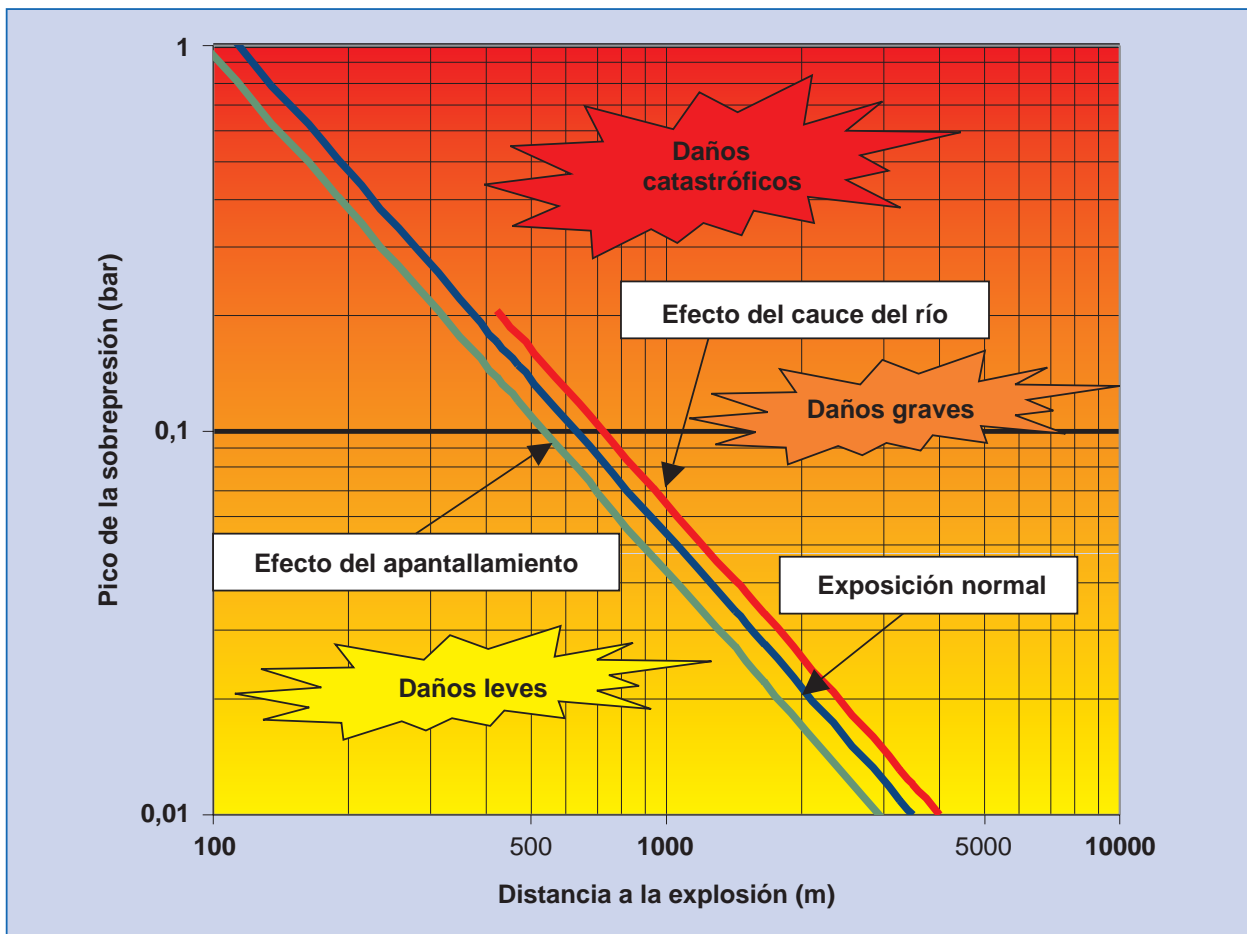
En la gráfica de esta página se muestra la influencia de los dos últimos factores en los niveles de sobrepresión obtenidos respecto de los previstos, así como una evaluación de los daños asociados

CONCLUSIONES

De las consecuencias derivadas de este accidente y del análisis

de las mismas se extraen las siguientes conclusiones:

- El accidente de Toulouse ha vuelto a poner de manifiesto las consecuencias devastadoras de la explosión de almacenamientos de nitrato amónico, riesgo que se tenía por «controlado» en el sector.
- En consecuencia, deben revisarse los Sistemas de Gestión de Seguridad (SGS) de las industrias que realizan este tipo de actividad de manera que se asegure el control del riesgo, tanto en lo que respecta a las medidas preventivas (incompatibilidades, actividades, etc.) como a las tendentes a la reducción de las consecuencias (cantidades máximas, segregación, etc.)
- Los hallazgos respecto del grado de reactividad del nitrato amónico como explosivo hacen que deban ser revisadas las estimaciones de pérdidas derivadas de accidentes de este tipo. ■



Sobrepresiones y daños estimados en la explosión de Toulouse en función de la distancia y de los condicionantes orográficos.