



taria asociada al número de víctimas mortales (por año) correspondiente al túnel considerado.

Situando esta función en el plano FN y considerándola con respecto al nivel de riesgo tolerable y al nivel de riesgo aceptable se muestra si el diseño adoptado puede ser aceptado o no.

4.5.3. Rango y límites de aplicación

El modelo de riesgo puede aplicarse tanto a túneles nuevos como a existentes, en particular para seleccionar el equipamiento complementario adicional apropiado que el túnel necesita o las medidas de seguridad alternativas a adoptar cuando no haya oportunidad de implementar todos los requisitos mínimos del túnel considerado.

No se han encontrado limitaciones especiales para la aplicación del método en todos los tipos de túneles posibles. Sin embargo se deberían tener en cuenta algunos requisitos adicionales cuando se estudia la gestión y transporte de mercancías peligrosas.

4.5.4. Caso de estudio

El caso de estudio describe algunas condiciones básicas y los principios de la evaluación de riesgos siguiendo el enfoque italiano. Se muestran los pasos individuales del análisis y un ejemplo de árbol de eventos. Finalmente se representan tres ejemplos de resultados característicos.

► 4.6. MODELO DG/QRA OECD/AIPCR PARA MERCANCÍAS PELIGROSAS

En este capítulo se presenta la metodología del modelo DG/QRA OECD/AIPCR y las principales características de su aplicación en Francia.

4.6.1. Metodología adoptada

Como parte de la documentación de seguridad, en Francia se realizan análisis de riesgos relacionados con el transporte de mercancías peligrosas en todos los túneles de longitud superior a 300 metros. Para ello se utiliza el método DG/QRA desarrollado por la OECD/ AIPCR.

En un primer paso se calcula, para el túnel en cuestión, un valor de riesgo esperado (riesgo social). Se le llama “riesgo intrínseco” y corresponde al número

esperado anual de víctimas debido al transporte de mercancías peligrosas en el propio túnel, suponiendo que se les permita el paso. En el caso de un conjunto de túneles se calcula un valor esperado acumulado. Para ello se necesitan los siguientes datos:

- volumen y composición del tráfico de mercancías peligrosas,
- volumen de tráfico global, composición (turismos, vehículos pesados, autobuses, furgonetas) y variaciones estacionarias diarias,
- tasas de accidentes a lo largo de las rutas,
- características del túnel (longitud, geometría, perfil longitudinal, sección transversal, ventilación, sistema de drenaje, salidas de emergencia, etc.).

Los datos utilizados están referidos a 10 años antes de poner el túnel en funcionamiento (para túneles en fase de proyecto o autorización) o 10 años después de que se realice el estudio QRA (para túneles en servicio).

Si el riesgo intrínseco calculado para el túnel está por encima de un cierto umbral, se realiza entonces un segundo paso: El modelo DG QRA se usa para comparar rutas alternativas (rutas por los túneles y alternativas). Se pueden seleccionar hasta tres alternativas. Se realiza después el estudio QRA de la siguiente manera:

- recopilación de datos para las rutas alternativas, con un nivel homogéneo de detalle para todas las rutas comparadas,
- cálculo del riesgo social para la comparación de las rutas (curvas FN, valores esperados),
- comparación de curvas (para todo el tráfico, para varios grupos de mercancías peligrosas, o considerando medidas de limitación de transporte en determinados periodos de tiempo),
- análisis de sensibilidad en los principales parámetros (generalmente: los datos de población, tráfico de mercancías peligrosas, tráfico global y tasas de accidentes).



El modelo DG QRA permite un enfoque cuantitativo por medio de:

Análisis de frecuencia cuantitativo:

- el modelo DG QRA incluye resultados de un análisis de la secuencia de eventos desde un evento inicial (accidente, avería) hasta un conjunto de consecuencias de escenarios, traducido en probabilidades condicionadas para obtener escenarios, dado un accidente ocurrido. Se ha establecido e incluido una tabla en el modelo que incluye cifras cuantitativas para cada escenario y que distingue entre diferentes condiciones de contorno (rutas al aire libre/túneles, áreas rurales/urbanas),
- el usuario puede introducir las tasas de accidentes en rutas al aire libre/túneles basadas en las estadísticas nacionales (valores por defecto, generalmente usados para túneles en proyecto), o estadísticas locales (investigación de los accidentes de las carreteras y túneles en servicio).

Análisis de consecuencias cuantitativo:

- en el modelo DG QRA se han implantado herramientas 2D y una herramienta unidimensional basada en cálculos predeterminados de consecuencias físicas al aire libre (para un rango de condiciones meteorológicas). El modelo puede calcular las consecuencias para los usuarios de las carreteras y para la población local en los alrededores de las mismas, para un conjunto representativo del tráfico de mercancías peligrosas observado;
- asimismo se ha incorporado una herramienta unidimensional para el cálculo de las consecuencias físicas y psicológicas de los escenarios en túneles.

La combinación de los análisis frecuencia-consecuencia cuantitativos permite el cálculo de las curvas FN.

Estos escenarios son representativos de los efectos principales que pueden ocurrir: grandes explosiones con o sin efectos térmicos, efectos tóxicos graves debidos a la fuga accidental de gases o líquidos volátiles, incendios de consecuencias importantes.

Así, en un rango observado de tráfico de mercancías peligrosas, la mayor parte de ellas se pueden representar por medio de este conjunto de escenarios.

El modelo DG QRA está basado en el siguiente conjunto de 13 escenarios representativos:

| Escenario n° | Descripción | Capacidad del tanque | Tamaño de la fisura (mm) | Caudal másico (kg/s) |
|--------------|---|----------------------|--------------------------|----------------------|
| 1 | Vehículo mercancías pesadas incendio 20 MW | - | - | - |
| 2 | Vehículo mercancías pesadas incendio 100 MW | - | - | - |
| 3 | BLEVE ¹ de GLP en botellas | 50 kg | - | - |
| 4 | Incendio de un depósito de gasolina | 28 tm | 100 | 20,6 |
| 5 | VCE de gasolina | 28 tm | 100 | 20,6 |
| 6 | Fuga de cloro | 20 tm | 50 | 45 |
| 7 | BLEVE de GLP en cisterna | 18 tm | - | - |
| 8 | VCE de GLP en cisterna | 18 tm | 50 | 36 |
| 9 | Antorcha de fuego de GLP en cisterna | 18 tm | 50 | 36 |
| 10 | Liberación de amoníaco | 20 tm | 50 | 36 |
| 11 | Fuga de Acroleína transportada en cisterna | 25 tm | 100 | 24,8 |
| 12 | Fuga de Acroleína transportada en botellas | 100 tm | 4 | 0,02 |
| 13 | BLEVE de aire líquido refrigerado | 20 tm | | |

- ¹ BLEVE: Expansión explosiva del vapor de un líquido en ebullición (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion).
- ² VCE: Explosión de una nube de vapor (Vapour Cloud Explosion).



4.6.2. Resultados del análisis de riesgo y estrategia de evaluación del riesgo

Los resultados producidos por el modelo DG QRA se presentan generalmente en forma de curvas FN:

Proceso de evaluación del riesgo



El riesgo intrínseco (RI) es el valor esperado medio para el túnel. Este valor se obtiene aplicando el modelo DG QRA para el túnel solamente suponiendo todas las mercancías peligrosas pasando por él, como se describe arriba (primer paso del análisis de riesgo). Si $RI > 0,001$ para un túnel dado, se lleva a cabo un estudio QRA para comparar el túnel y las rutas alternativas. Si es $< 0,001$ no se considera un problema el riesgo debido al transporte de mercancías peligrosas y, la decisión sobre la autorización o no del transporte de mercancías peligrosas se puede hacer sobre la base de otros criterios distintos de los derivados de la aplicación QRA.

Cuando se requiere un estudio QRA completo (segundo paso del análisis de riesgo), el modelo DG QRA se utiliza para comparar el nivel de riesgo ocasionado por el transporte de mercancías peligrosas a lo largo del túnel con el nivel de riesgo asociado a su transporte por rutas alternativas.

El resultado del análisis de riesgos para el transporte de mercancías peligrosas es una propuesta para la decisión de la autoridad administrativa, relativa a la autorización total, parcial o la prohibición del transporte de mercancías peligrosas por el túnel objeto de estudio.

4.6.3. Rango y límites de aplicación

El modelo es muy adecuado para tomar decisiones relativas a la autorización o no del transporte de mercancías peligrosas por un túnel. El modelo no es adecuado para un análisis general de riesgo en los túneles de carretera. En general, es difícil trasladar los resultados de este estudio a las autoridades locales.

4.6.4. Caso de estudio

Para la demostración del modelo DG QRA se utiliza un túnel corto de doble tubo. Se explican los datos de entrada necesarios para la definición del sistema del túnel y la situación de tráfico. Se presentan y comparan los valores de riesgo calculados para la ruta del túnel así como para dos rutas alternativas. Se da una recomendación para una ruta favorable para el transporte de mercancías peligrosas tomando como base estos resultados.