

LA ADECUACIÓN DE LOS TÚNELES EN SERVICIO A LAS DISPOSICIONES DE LA DIRECTIVA EUROPEA 2004/54/CE.

APLICACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN SUSTITUCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA

**José Manuel Erauso Eizaguirre
y Manuel Alberto Abella Suárez**

Tras la aprobación de la Directiva Europea 2004/54/CE y posteriores transposiciones, el Real Decreto 635/2.006 sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado o el Decreto Foral 135/2006 sobre seguridad de túneles en carreteras de Bizkaia, se cuenta con una norma que permite el diseño de túneles cada vez más seguros.

No obstante, existen en la vasta red de carreteras, tanto dependientes del Estado, como de las Comunidades Autónomas, un gran número de túneles de diferentes longitudes, tipologías y singularidades que, al haberse construido en épocas sin ningún tipo de regulación, o por sus especiales características, tienen una especial dificultad o resulta exagerado el coste para su adecuación.

La esencia de la Directiva Europea 2004/54/CE, es sin ningún género de dudas, conseguir que los túneles carreteros sean elementos de tránsito seguros. Tan seguros como sea socialmente aceptable; es decir, ante la imposibilidad de conseguir un espacio libre de peligro –que en la mayor parte de las ocasiones deviene del propio usuario, y en otras es consustancial al entorno- se debe lograr unos parámetros mínimos dentro de los cuales exista una capacidad de resolución de los incidentes que se produzcan, minimizando los daños a las personas y a las propias instalaciones de forma que el túnel mantenga sus niveles de prestaciones y de seguridad.

La propia Directiva indica que esta filosofía debe transcribirse a los Estados Miembros, que deberán desarrollar sus entornos normativos conforme a ella. El plazo para su transcripción a los distintos Estados ya se ha cumplido, y en España ha devenido en el real Decreto 635/2.006.

No obstante de las 17 comunidades autónomas de España, entre las cuales hay comunidades autónomas con competencias en materia de carreteras, solamente tenemos constancia de la publicación del Decreto Foral de Bizkaia sobre Seguridad en Túneles, y una Circular de la Generalitat de Catalunya sobre especificaciones técnicas para el equipamiento de los túneles. Ello pone de manifiesto una escasa preocupación con respecto al mandato de la CE expresado en la Directiva, en cuyo preámbulo se señala que “Debe alentarse a los Estados miembros a que pongan en práctica niveles de seguridad comparables para los túneles de su territorio que no forman parte de la red transeuropea de carreteras y que, por lo tanto, no entran en el ámbito de actuación de la presente Directiva” y en su artículo 18 cuando requiere la transposición de la Directiva antes del 30/4/2006.

En ausencia de normativas propias, los proyectistas vienen utilizando, de facto, las prescripciones del real decreto en la mayor parte de las comunidades autónomas.

En un túnel de nueva construcción los costes de las instalaciones no suponen, contra lo que se pueda pensar, una inversión elevada.

Como orden magnitud se puede decir para un túnel medio, de unos 1.000 metros de longitud, que la relación entre el coste la obra civil (excavación, sostenimiento, revestimiento,...) respecto al coste de las instalaciones, dotándole de un equipamiento completo, conforme a las prescripciones del Real Decreto, está en una relación de 4 a 1.

Se debe hacer mención a que los costes del equipamiento son muy similares en cualquier tipo de túnel de esta longitud con ventilación longitudinal, mientras que los de obra civil varían en función del tipo de terreno atravesado y otros imponderables.

Instalaciones como el alumbrado y las acometidas eléctricas son inexcusables en cualquier túnel, como también lo es la ventilación a partir de determinadas longitudes y densidades de tráfico, por lo que casi se pueden considerar como parte de la obra civil aunque no lo sean, ni aquí se haya considerado.

Las instalaciones contra incendios no parece que tampoco sean discutibles, bien entendido que el fuego es el riesgo de mayor gravedad e incidencia social en un túnel. Ni se necesitan grandes cantidades de agua ni son instalaciones muy costosas salvo que hablemos del agua nebulizada. En alguna reunión con Bomberos se ha llegado a comentar que todas las carreteras deberían disponer de infraestructura de agua contra incendios.

Las instalaciones más sofisticadas, o de “tecnología superior” (DAI, CCTV, PMV, Centro de Control, etc.), serían el plus, si bien los avances en la electrónica y la informática, los han puesto al nivel “de consumo”.

En resumen “racanear”, si me permiten la expresión, en instalaciones de seguridad en túneles nuevos no es nunca una buena decisión. Cuestión diferente es el tratamiento de los túneles existentes que requieren de análisis más elaborados a la hora de decidir un equipamiento razonable, aunque la normativa sea la misma para unos y otros.

A continuación vamos a tratar de hacer un comparativo entre los elementos e instalaciones exigidos actualmente por las diferentes normativas, sea la Directiva Europea, (de aplicación obligatoria), el Real Decreto 635/2.006, el Decreto Foral de Bizkaia, o las recomendaciones de la Generalitat de Catalunya. Los resultados son los que se muestran a continuación.

Obviamente no es posible hacer referencia a todos los túneles existentes pero sí podemos referirnos a dos de ellos, a modo de ejemplo.

Comenzaremos por un túnel típico que se puede considerar corto -350m- aunque con una alta densidad de tráfico que incluso podría caracterizarse como urbano. El resultado es el que se muestra en el cuadro siguiente:

TÚNEL A

L=350 m/ IMD=54.000	ACTUAL	R.D.- 635	D. E	G.C.	D.F.B.
* Aceras			NADA		
* Salidas de Emergencia			ESPECIAL		
* Conexiones Transversales					
* Cruce de Mediana					

V SIMPOSIO DE TÚNELES
SEGURIDAD PARA LOS TÚNELES DEL SIGLO XXI

* Apartaderos					
* Drenaje de líquidos tóxicos					
* Centro de Control					
* CCTV					
* Sistema Informático de extracción de Humos					
* Iluminación Normal					
* Iluminación de Seguridad					
* Iluminación de Emergencia					
* Ventilación					
* Doble suministro Eléctrico					
* Generadores de Emergencia					
* SAI					
* Detectores de CO					
* Opacímetros					
* Cable para detección de Incendios					
* DAI					
* Puestos de Emergencia				SOS	
* Señalización Salidas y equipamientos de Emergencia					
* Señalización según 8.1y 8.2 IC					
* Paneles de señalización variable					
* Barreras Exteriores					
* Semáforos Exteriores					
* Semáforos Interiores					
* Megafonía					
* Red de Hidrantes					
* Extintores					

* Extintores					
* Aforadores					
* Sistema de Radiocomunicación para servicios de emergencia					
* Mensajería por radio					
* Resistencia de Estructura al Fuego					
* Resistencia de Equipos al Fuego					
* S.O.S Postes					
* TV móvil Exterior					
* Estación Meteorológica					

La disparidad entre los requerimientos del Decreto Foral de Bizkaia con la Directiva Europea y el Real Decreto, son claras, aunque a mi juicio es esta norma de Bizkaia la que mejor se corresponde con las necesidades de este tipo de túneles.

Además su adecuación de este tipo de túneles a una norma como la de Bizkaia no requiere de actuaciones de importancia en cuanto a la afección a la infraestructura, siendo por ello, relativamente sencillas y baratas.

En el caso de túneles de mayor longitud, los que superan los 500 metros, las exigencias son mayores. Para esta ponencia, se ha seleccionado un túnel con un nivel de equipamiento que bien se puede considerar característico de los construidos en la pasada década el túnel elegido es un túnel unidireccional, de 790 m. de longitud el tubo más largo, con una IMD baja, entorno a los 15.000 vehículos día.

El comparativo se muestra en el siguiente cuadro:

TUNEL B

L=785/790 m/ IMD=15.000

	ACTUAL	R.D.- 635	D. E	G.C.	D.F.B.
* Aceras					
* Salidas de Emergencia					
* Conexiones Transversales					

V SIMPOSIO DE TÚNELES

SEGURIDAD PARA LOS TÚNELES DEL SIGLO XXI

* Cruce de Mediana					
* Apartaderos					
* Drenaje de líquidos tóxicos					
* Centro de Control					
* CCTV					
* Sistema Informático de extracción de Humos					
* Iluminación Normal					
* Iluminación de Seguridad					
* Iluminación de Emergencia					
* Ventilación					
* Doble suministro Eléctrico					
* Generadores de Emergencia					
* SAI					
* Detectores de CO					
* Opacímetros					
* Cable para detección de Incendios					
* DAI					
* Puestos de Emergencia					
* Señalización Salidas y equipamientos de Emergencia					
* Señalización según 8.1 y 8.2 IC					
* Paneles de señalización variable					
* Barreras Exteriores					
* Semáforos Exteriores					
* Semáforos Interiores					

* Megafonía					
* Red de Hidrantes					
* Aforadores					
* Sistema de Radiocomunicación para servicios de emergencia					
* Mensajería por radio					
* Resistencia de Estructura al Fuego					
* Resistencia de Equipos al Fuego					
* S.O.S Postes					
* TV móvil Exterior					
* Estación Meteorológica					

Como se aprecia, el actual equipamiento es importante, aunque aún está por debajo de los requerimientos de la Directiva y otras normativas. Por desgracia no todos los túneles contemporáneos con éste en su construcción están dotados de los mismos elementos.

En este tipo de túneles existen una serie de elementos de seguridad que se deberían de instalar y que plantean especiales dificultades: son todos aquellos que se refieren a actuaciones en la infraestructura del túnel:

- Aceras y apartaderos
- Drenaje de Vertidos
- Apertura de galerías de evacuación.

Analizaremos brevemente cada uno de ellos.

Aceras y apartaderos

El cumplimiento de la normativa referente a estos elementos requiere de obras de una gran complejidad para su ejecución en túneles en servicio. Por ello sus carencias, durante la vida útil del túnel, deben ser suplidas implantando medidas paliativas en orden a reforzar la señalización y el balizamiento, limitando la velocidad de circulación, restringiendo la circulación de determinados vehículos, o mediante instalaciones de vigilancia y control, las que hemos denominado como de “tecnología superior”.

Drenaje de vertidos

La ejecución de un sistema de recogida o drenaje de vertidos accidentales a la calzada, conlleva la realización de excavaciones en la solera del túnel, justo al pie de un hastial, o de ambos, alternativamente, en caso de cambio de peralte en el túnel.

Si no se dispone del perfil geológico, y del historial del túnel (en cuanto a incidentes de tipo geológico, caídas o desprendimientos de material, grietas en el revestimiento etc.), la excavación de una zanja de dimensiones nada despreciables, (pueden llegar a ser del orden de dos metros de ancho por otros dos metros de profundidad) introduce un riesgo a considerar, con la necesidad en muchas ocasiones de tener que reforzar el sostenimiento del túnel. Podría darse el caso de que una actuación como ésta obligue a modificar o rehacer la red de drenaje u otras canalizaciones del túnel. En cualquier caso se generarán costes importantes.

Durante la duración de los trabajos es obligado cortar, al menos, un carril del túnel; si la sección de éste es estricta, es probable que sea necesario cortar ambos carriles, es decir, cerrar el tubo.

Como es natural los desvíos necesarios, habilitando el tubo contiguo –supuesto túnel unidireccional- para doble sentido de circulación, o estableciendo si fuera posible un itinerario alternativo, introducen unos inconvenientes y unos riesgos nada despreciables en el tráfico durante la ejecución de estos trabajos que debe ser considerado y comparado con el indudable beneficio de disponer de los sistemas en cuestión.

Quizás puede ser oportuno reflexionar sobre la necesidad real de este elemento a la vista de con qué casuística nos podemos encontrar.

El incendio de una cisterna con líquidos inflamables siendo un caso real tiene una probabilidad extremadamente baja. Salvo el incendio en el túnel de Caledcott de un vehículo de estas características, no se tiene noticia de otro accidente como éste. Y éste ocurrió en 1982, hace por tanto 27 años con un balance, yo diría que milagroso, de sólo 7 muertos.

En el caso de incendio de un transporte más convencional resulta dudosa la necesidad del caz de vertidos pues en caso de rotura el contenido de los depósitos de combustible probablemente sería pasto de las llamas al no ser grandes volúmenes.

Y un vertido contaminante, sin incendio, podría ser recogido por la red de drenaje del propio túnel ó en su defecto saldría al exterior como si de una carretera convencional se tratara.

Dicho así podría parecer que el caz de vertidos no sería necesario. No obstante entiendo que se trata de un elemento útil, que en obra nueva no representa un costo excesivo y que cumple una función como es la de coadyuvar a mitigar los efectos de un incendio de líquidos y contener la contaminación que se genera en el túnel. En todo caso la seguridad –que no su función intrínseca- que proporciona este elemento puede ser compensada por otros elementos de los denominados de “tecnología superior”.

Apertura de galerías de evacuación

Si puede ser compleja la ejecución de un caz de vertidos, no es menor la apertura de galerías de escape, normalmente al tubo contiguo; en caso de ser al exterior, podría ser más fácil, al ejecutar la mayor parte de los trabajos desde el exterior, siendo comprometido solamente los últimos metros de cale al túnel.

En todo caso este elemento no es fácilmente cuestionable y menos sustituible por otras medidas compensatorias. Únicamente su interdistancia podría ser objeto de análisis más precisos al amparo del artículo 13 de la Directiva, pero tratándose de un elemento fundamental de seguridad, EVACUACIÓN = SEGURIDAD, no habría más remedio que abordar en su caso su ejecución, a pesar del importante coste económico que podría conllevar.

Alternativas posibles

No son muchas las alternativas posibles para evitar el tener que actuar sobre la infraestructura de un túnel en servicio, sin embargo las propias disposiciones normativas son, en algún modo, conscientes de esta dificultad, y establecen un mecanismo que permite ciertas alternativas. Tanto en el artículo 13 de la Directiva, como el artículo 11 de la normativa del Estado o el artículo 17 de la norma de la Diputación Foral de Bizkaia, en consonancia con la Directiva Europea dejan abierta la puerta al empleo de este tipo de medidas. El mayor inconveniente, por tanto, estriba en determinar, de un modo “cualitativo”, el nivel de seguridad y el que se conseguiría si se adoptasen medidas alternativas y plantear cuales serían éstas; es decir, realizar un análisis de riesgos comparativo.

Actualmente se está desarrollando varios sistemas o metodologías para realizar los análisis de riesgos, aunque a fecha de hoy, aún no hay ninguno establecido como

“oficial”. Los basados en los métodos QRAM, no son válidos por si solos, necesitan la introducción de elementos que en principio no consideran y tienen sin duda una mayor importancia, por la frecuencia a la que se producen – casi diaria en túneles de alta IMD- que la explosión o incendio de una cisterna de gasolina.

En Gipuzkoa se ha realizado un estudio de los túneles de su red de carreteras en el que se ha planteado como sistema de evaluación de la seguridad de un túnel, el basado en el documento *Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau* (Directrices y regulaciones para la construcción de carreteras) de la Norma Austriaca, que permite de una forma sencilla determinar los objetivos que se pretenden.

Este método de evaluación considera los elementos propios de la infraestructura del túnel, elementos de las instalaciones, como son la presencia de sistemas de detección de incidentes, circuito cerrado de televisión, Centro de Control, etc. que permiten poder disponer de una información veraz y en tiempo real de lo que ocurre y “actuar” en caso de incidente, sea con la ventilación, o la señalización. También valora y considera el tipo de tráfico, la cantidad de vehículos con mercancías peligrosas, la cercanía de equipos de intervención (bomberos). Estas consideraciones se están teniendo en cuenta actualmente de forma muy significativa en los diferentes modelos de análisis de riesgo. Es decir tiene en cuenta situaciones y elementos más reales, y otorga una especial importancia a lo que en todos los foros de seguridad en túneles se pone como axioma: los primeros minutos en cualquier incidente, y mucho más en los graves como un incendio, son cruciales. La vigilancia permanente, y la posibilidad de actuar aunque sea de forma mínima, pueden ser, y de hecho lo son, más importantes que disponer de determinados sistemas como pueden ser la recogida de vertidos sin que ello signifique que se deban eliminar: simplemente se propone que en túneles en servicio, y según que circunstancias, sería posible la colocación de sistemas alternativos o paliativos que eleven el nivel de seguridad.

Como es natural, se puede considerar el método como subjetivo: ciertamente lo es en alguna medida, aunque no mucho más que cualquier otro, incluso los puramente matemáticos basados en estadísticas, (de las que carecemos en cada túnel), A su favor se puede decir que parte de la consideración de la realidad de cada túnel y tiene la legitimidad de ser el método oficial de aplicación en Austria.

Es posible hacer una valoración comparativa de los costes de actuar en la obra civil del túnel frente a realizar actuaciones de índole tecnológica, aunque no se considera adecuado -por la gran diferencia existente a favor de la tecnología- para no parecer tendenciosos.

APLICACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN SUSTITUCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA

Trasladando a los túneles que en esta ponencia se han planteado como tipos, el resultado de implementar medidas de “tecnología superior” se muestra a continuación:

DATOS BÁSICOS:			
Designación del túnel.	TÚNEL A		
Longitud (m).	350		
CÁLCULO DEL PELIGRO POTENCIAL DEL TÚNEL:			
Datos de tráfico:			
Año	2007		
MSV (actual): Volumen de tráfico horario (Q_{30}). El volumen de tráfico horario MSV, expresado como Q_{30} , es el valor alcanzado o superado en 30 horas al año. A falta de datos más precisos puede suponerse equivalente a la I.M.D./8 horas	6723,875		
MSV (pronóstico estadístico para el año de cálculo): Proyección estadística a partir de datos de campo. La prognosis de tráfico se realiza con base en la estimación estadística de las condiciones de tráfico esperadas a 10 años, después de la entrada en s	0		
MSV (pronóstico inferido): Proyección inferida como: MSV (actual)*1,5. Si no se dispone de datos para el MSV (pronóstico estadístico para el año de cálculo) se tomará un 50% superior al MSV (actual).	10085,81		
MSV (volumen máximo de tráfico): estimación estadística.	3500		
Número de carriles.	2		
Situación de tráfico:			
Sentido del tráfico (g_k): Tráfico unidireccional $g_{B1}=1,0$; Tráfico bidireccional $g_{B2}=2,0$; Tráfico con cambios periódicos $g_{B3}=1,5$.	1,0		
Puntos conflictivos existentes (g_k): No hay dentro del túnel incorporación de vehículos procedentes de otros carriles $g_k=1,0$; Hay incorporación de vehículos dentro del túnel procedentes de otros carriles $g_{kV}=1,5$; Existe incorporación de vehículos proceden	1,2		
Transporte de mercancías peligrosas (g_C): Circulan un máximo de 10 mercancías peligrosas al día $g_{C-10}=1,0$; Circulan un máximo de 50 mercancías peligrosas al día $g_{C-50}=1,5$; Circulan más de 50 mercancías peligrosas al día $g_{C-50}=2,0$.	2,0		
PELIGRO POTENCIAL DEL TÚNEL ($G=MSV * g_k * g_C * g_C$):	(G)	(S)	
MSV (actual).	16137	25	
MSV (pronóstico estadístico para el año de cálculo).	0	0	
MSV (pronóstico inferido).	24206	25	
MSV (volumen máximo de tráfico).	8400	10	
CLASE		PELIGRO POTENCIAL (G)	COEFICIENTE DE SEGURIDAD MÍNIMO REQUERIDO (S)
Túneles con peligro potencial menor de 1000, túnel con poco tráfico.	I	Menor que 1 000	1
Túneles con peligro potencial entre 1000 y 2500 con tráfico bidireccional moderado; túneles con tráfico unidireccional pero con tráfico pesado pueden entrar en esta Clase.	II	1 001 a 2 500	5
Túneles con peligro potencial entre 2501 y 10000, con tráfico pesado y riesgos adicionales.	III	2 501 a 10 000	10
Túneles con peligro potencial por encima de 10000, con intenso tráfico pesado y riesgos adicionales. Estos túneles son usualmente situados en áreas densamente pobladas.	IV	Mayor que 10 000	25
COEFICIENTE DE SEGURIDAD DETERMINADO POR LAS INSTALACIONES DEL TÚNEL:			
Ventilación de humos (S_Q):			
Altura máxima del túnel H (m).	7,00		
Factor de la sección transversal del túnel $R_Q=H/5$.	1,40		
Distancia de salida de los humos A (m). En caso de ventilación longitudinal sin extracción de humos es igual a la longitud del túnel.	350		
Volumen de humos extraídos en ventilación transversal y semitransversal para la sección más desfavorable del túnel V (m^3/s).	0		
Factor de movimiento de humos (R_A): Para ventilación longitudinal $R_{AP}=800/A$ (en ventilación longitudinal sin extracción mecánica de humos $A=Longitud$ del túnel); Para ventilación transversal o semitransversal $R_{AV}=1+V/80$.	R_{AP} 2,29 R_{AV} 0		
Factor Ventilación de Humos ($S_Q=R_Q+R_A$).	3,69		
Distancia de vías de escape y salvamento (S_W):			
Longitud de la vía de escape F (km). La longitud de una vía de escape se define como la máxima distancia entre los cruces de acceso para peatones, rutas de escape y las bocas del túnel.	0,35		
Factor de la vía de escape $W_1=2,0-F$ (los valores negativos se tomarán como cero).	1,65		
Distancia recorrida por los vehículos de salvamento en el interior del túnel L (km).	0,35		
Factor distancia para las unidades de salvamento $W_E=1,5-0,1 * L$ (los valores negativos se tomarán como cero).	1,47		
Factor Vía de Escape y Salvamento ($S_W=W_1+W_E$).	3,12		
Medidas adoptadas para la Gestión y Control del túnel (S_B):			
Centro de Control permanentemente vigilado B_{C1} : Si=2,0; No=0,0.	0,0		
Centro de Control permanentemente vigilado con reducidas instalaciones para una primera coordinación (no se considera conjuntamente con el anterior) B_{C2} : Si=0,5; No=0,0.	0,0		
Video transmisión B_{C3} : Si=0,5; No=0,0.	0,0		
Identificación automática de tráfico congestionado B_{C4} : Si=0,5; No=0,0.	0,0		
Identificación automática de mercancías peligrosas B_{C5} : Si=1,0; No=0,0.	0,0		
Brigadas permanentes contra fuego (con rutas de acceso a menos de 5 km; en áreas urbanas a menos de 1,5 km de la boca del túnel) B_{C6} : Si=1,0; No=0,0.	0,0		
Alarma automática contra incendios B_{C7} : Si=1,0; No=0,0.	0,0		
Alarma de detección de humos sin llama B_{C8} : Si=0,5; No=0,0.	0,0		
Comunicación inalámbrica dentro del túnel B_{C9} : Si=0,5; No=0,0.	0,5		
ΣB_i	0,5		
Factor de Operación y Gestión del túnel ($S_B=1+\Sigma B$)	1,5		
COEFICIENTE DE SEGURIDAD ACTUAL DEL TÚNEL ($S=S_Q * S_W * S_B$).	17,22		
COEFICIENTE DE SEGURIDAD REQUERIDO SEGÚN LA PELIGROSIDAD DEL TÚNEL:			
MSV (pronóstico inferido)	25		

V SIMPOSIO DE TÚNELES

SEGURIDAD PARA LOS TÚNELES DEL SIGLO XXI

Como se puede apreciar en la tabla, el túnel corto con intensidad importante de tráfico, el coeficiente de seguridad requerido es de 25, obteniendo con la instalación existente un nivel de 17,25. En la tabla siguiente se introducen mejoras tecnológicas, tales como disponer de Centro de Control permanentemente vigilado, CCTV, etc.; aplicando los mismos criterios, el resultado obtenido es el que se muestra:

DATOS BÁSICOS:			
Designación del túnel.	TÚNEL A adecuado		
Longitud (m).	350		
CÁLCULO DEL PELIGRO POTENCIAL DEL TÚNEL:			
Datos de tráfico:			
Año	2007		
MSV (actual): Volumen de tráfico horario (Q_{24h}). El volumen de tráfico horario MSV, expresado como Q_{24h} , es el valor alcanzado o superado en 30 horas al año. A falta de datos más precisos puede suponerse equivalente a la I.M.D./8 horas	6723,875		
MSV (pronóstico estadístico para el año de cálculo): Proyección estadística a partir de datos de campo. La prognosis de tráfico se realiza con base en la estimación estadística de las condiciones de tráfico esperadas a 10 años, después de la entrada en s	0		
MSV (pronóstico inferido): Proyección inferida como: MSV (actual)*1,5. Si no se dispone de datos para el MSV (pronóstico estadístico para el año de cálculo) se tomará un 50% superior al MSV (actual).	10085,81		
MSV (volumen máximo de tráfico): estimación estadística.	3500		
Número de carriles.	2		
Situación de tráfico:			
Sentido del tráfico (g_k): Tráfico unidireccional $g_{BU}=1,0$; Tráfico bidireccional $g_{BG}=2,0$; Tráfico con cambios periódicos $g_{BM}=1,5$.	1,0		
Puntos conflictivos existentes (g_k): No hay dentro del túnel incorporación de vehículos procedentes de otros carriles $g_{kV}=1,0$; Hay incorporación de vehículos dentro del túnel procedentes de otros carriles g_{kV} . Existe incorporación de vehículos proceden	1,2		
Transporte de mercancías peligrosas (g_k): Circulan un máximo de 10 mercancías peligrosas al día $g_{G-10}=1,0$. Circulan un máximo de 50 mercancías peligrosas al día $g_{G-50}=1,5$; Circulan más de 50 mercancías peligrosas al día $g_{G-10}=2,0$.	2,0		
PELIGRO POTENCIAL DEL TÚNEL ($G=MSV * g_k * g_{kV} * g_G$):	(G)	(S)	
MSV (actual).	16137	25	
MSV (pronóstico estadístico para el año de cálculo).	0	0	
MSV (pronóstico inferido).	24206	25	
MSV (volumen máximo de tráfico).	8400	10	
CLASE		PELIGRO POTENCIAL (G)	COEFICIENTE DE SEGURIDAD MÍNIMO REQUERIDO (S)
Túneles con peligro potencial menor de 1000, túnel con poco tráfico.	I	Menor que 1 000	1
Túneles con peligro potencial entre 1000 y 2500 con tráfico bidireccional moderado; túneles con tráfico unidireccional pero con tráfico pesado pueden entrar en esta Clase.	II	1 001 a 2 500	5
Túneles con peligro potencial entre 2501 y 10000, con tráfico pesado y riesgos adicionales.	III	2 501 a 10 000	10
Túneles con peligro potencial por encima de 10000, con intenso tráfico pesado y riesgos adicionales. Estos túneles son usualmente situados en áreas densamente pobladas.	IV	Mayor que 10 000	25
COEFICIENTE DE SEGURIDAD DETERMINADO POR LAS INSTALACIONES DEL TÚNEL:			
Ventilación de humos (S_v):			
Altura máxima del túnel H (m).	7,00		
Factor de la sección transversal del túnel $R_G=H/5$.	1,40		
Distancia de salida de los humos A (m). En caso de ventilación longitudinal sin extracción de humos es igual a la longitud del túnel.	350		
Volumen de humos extraídos en ventilación transversal y semitransversal para la sección más desfavorable del túnel V (m^3/s).	0		
Factor de movimiento de humos (R_k): Para ventilación longitudinal $R_{AP}=800/A$ (en ventilación longitudinal sin extracción mecánica de humos A=Longitud del túnel); Para ventilación transversal o semitransversal $R_{AV}=1+V/80$.	R_{AP} 2,29 R_{AV} 0		
Factor Ventilación de Humos ($S_k=R_G+R_k$).	3,69		
Distancia de vías de escape y salvamento (S_w):			
Longitud de la vía de escape F (km). La longitud de una vía de escape se define como la máxima distancia entre los cruces de acceso para peatones, rutas de escape y las bocas del túnel.	0,35		
Factor de la vía de escape $W_F=2,0-F$ (los valores negativos se tomarán como cero).	1,65		
Distancia recorrida por los vehículos de salvamento en el interior del túnel L (km).	0,35		
Factor distancia para las unidades de salvamento $W_L=1,5-0,1 * L$ (los valores negativos se tomarán como cero).	1,47		
Factor Vía de Escape y Salvamento ($S_w=W_F+W_L$).	3,12		
Medidas adoptadas para la Gestión y Control del túnel (S_g):			
Centro de Control permanentemente vigilado B_a : Si=2,0; No=0,0.	2,0		
Centro de Control permanentemente vigilado con reducidas instalaciones para una primera coordinación (no se considera conjuntamente con el anterior) B_c : Si=0,5; No=0,0.	0,0		
Video transmisión B_v : Si=0,5; No=0,0.	0,5		
Identificación automática de tráfico congestionado B_d : Si=0,5; No=0,0.	0,5		
Identificación automática de mercancías peligrosas B_p : Si=1,0; No=0,0.	0,0		
Brigadas permanentes contra fuego (con rutas de acceso a menos de 5 km; en áreas urbanas a menos de 1,5 km de la boca del túnel) B_f : Si=1,0; No=0,0.	0,0		
Alarma automática contra incendios B_i : Si=1,0; No=0,0.	0,5		
Alarma de detección de humos sin llama B_h : Si=0,5; No=0,0.	0,0		
Comunicación inalámbrica dentro del túnel B_t : Si=0,5; No=0,0.	0,5		
ΣB	4,0		
Factor de Operación y Gestión del túnel ($S_g=1+\Sigma B$)	5		
COEFICIENTE DE SEGURIDAD ACTUAL DEL TÚNEL ($S=S_k * S_w * S_g$).	57,41		
COEFICIENTE DE SEGURIDAD REQUERIDO SEGUN LA PELIGROSIDAD DEL TÚNEL:			
MSV (pronóstico inferido)	25		

APLICACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN SUSTITUCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA

Como se ve el resultado ha pasado a ser el doble del requerido.

En el caso del túnel más largo pero con una IMD moderada, se puede ver que con la actual instalación ya cumpliría con los requisitos de seguridad mínimos según la norma austriaca.

DATOS BÁSICOS:			
Designación del túnel.	TÚNEL B		
Longitud (m).	790		
CÁLCULO DEL PELIGRO POTENCIAL DEL TÚNEL:			
Datos de tráfico:			
Año	2007		
MSV (actual): Volumen de tráfico horario (Q_{30}). El volumen de tráfico horario MSV, expresado como Q_{30} , es el valor alcanzado o superado en 30 horas al año. A falta de datos más precisos puede suponerse equivalente a la L.M.D./8 horas	1806,5		
MSV (pronóstico estadístico para el año de cálculo): Proyección estadística a partir de datos de campo. La prognosis de tráfico se realiza con base en la estimación estadística de las condiciones de tráfico esperadas a 10 años, después de la entrada en s	0		
MSV (pronóstico inferido): Proyección inferida como: MSV (actual)*1,5. Si no se dispone de datos para el MSV (pronóstico estadístico para el año de cálculo) se tomará un 50% superior al MSV (actual).	2709,75		
MSV (volumen máximo de tráfico): estimación estadística.	3500		
Número de carriles.	2		
Situación de tráfico:			
Sentido del tráfico (g_a): Tráfico unidireccional $g_{a1}=1,0$; Tráfico bidireccional $g_{a2}=2,0$; Tráfico con cambios periódicos $g_{a3}=1,5$.	1,0		
Puntos conflictivos existentes (g_k): No hay dentro del túnel incorporación de vehículos procedentes de otros carriles $g_k=1,0$; Hay incorporación de vehículos dentro del túnel procedentes de otros carriles g_{kv}	1,0		
Existe incorporación de vehículos proceden			
Transporte de mercancías peligrosas (g_c): Circulan un máximo de 10 mercancías peligrosas al día $g_{c-10}=1,0$			
Circulan un máximo de 50 mercancías peligrosas al día $g_{c-50}=1,5$; Circulan más de 50 mercancías peligrosas al día $g_{c-50}=2,0$.	1,5		
PELIGRO POTENCIAL DEL TÚNEL ($G=MSV * g_a * g_k * g_c$):	(G)	(S)	
MSV (actual).	2710	10	
MSV (pronóstico estadístico para el año de cálculo).	0	0	
MSV (pronóstico inferido).	4065	10	
MSV (volumen máximo de tráfico).	5250	10	
CLASE		PELIGRO POTENCIAL (G)	COEFICIENTE DE SEGURIDAD MÍNIMO REQUERIDO (S)
Túneles con peligro potencial menor de 1000, túnel con poco tráfico.	I	Menor que 1 000	1
Túneles con peligro potencial entre 1000 y 2500 con tráfico bidireccional moderado; túneles con tráfico unidireccional pero con tráfico pesado pueden entrar en esta Clase.	II	1 001 a 2 500	5
Túneles con peligro potencial entre 2501 y 10000, con tráfico pesado y riesgos adicionales.	III	2 501 a 10 000	10
Túneles con peligro potencial por encima de 10000, con intenso tráfico pesado y riesgos adicionales. Estos túneles son usualmente situados en áreas densamente pobladas.	IV	Mayor que 10 000	25
COEFICIENTE DE SEGURIDAD DETERMINADO POR LAS INSTALACIONES DEL TÚNEL:			
Ventilación de humos (S_v):			
Altura máxima del túnel H (m).	7,00		
Factor de la sección transversal del túnel $R_Q=H/5$.	1,40		
Distancia de salida de los humos A (m). En caso de ventilación longitudinal sin extracción de humos es igual a la longitud del túnel.	790		
Volumen de humos extraídos en ventilación transversal y semitransversal para la sección más desfavorable del túnel V (m^3/s).	0		
Factor de movimiento de humos (R_A): Para ventilación longitudinal $R_{AP}=800/A$ (en ventilación longitudinal sin extracción mecánica de humos $A=Longitud$ del túnel); Para ventilación transversal o semitransversal $R_{AV}=1+V/80$.			
R_{AP}	1,01		
R_{AV}	0		
Factor Ventilación de Humos ($S_H=R_Q+R_A$).	2,41		
Distancia de vías de escape y salvamento (S_W):			
Longitud de la vía de escape F (km). La longitud de una vía de escape se define como la máxima distancia entre los cruces de acceso para peatones, rutas de escape y las bocas del túnel.	0,79		
Factor de la vía de escape $W_F=2,0-F$ (los valores negativos se tomarán como cero).	1,21		
Distancia recorrida por los vehículos de salvamento en el interior del túnel L (km).	0,79		
Factor distancia para las unidades de salvamento $W_L=1,5-0,1 * L$ (los valores negativos se tomarán como cero).	1,42		
Factor Vía de Escape y Salvamento ($S_W=W_F+W_L$).	2,63		
Medidas adoptadas para la Gestión y Control del túnel (S_B):			
Centro de Control permanentemente vigilado B_{cc} : Si=2,0; No=0,0.	2,0		
Centro de Control permanentemente vigilado con reducidas instalaciones para una primera coordinación (no se considera conjuntamente con el anterior) B_{cc} : Si=0,5; No=0,0.	0,0		
Video transmisión B_v : Si=0,5; No=0,0.	0,5		
Identificación automática de tráfico congestionado B_{at} : Si=0,5; No=0,0.	0,0		
Identificación automática de mercancías peligrosas B_{ip} : Si=1,0; No=0,0.	0,0		
Brigadas permanentes contra fuego (con rutas de acceso a menos de 5 km; en áreas urbanas a menos de 1,5 km de la boca del túnel) B_{bf} : Si=1,0; No=0,0.	0,0		
Alarma automática contra incendios B_{ai} : Si=1,0; No=0,0.	1,0		
Alarma de detección de humos sin llama B_{ad} : Si=0,5; No=0,0.	0,0		
Comunicación inalámbrica dentro del túnel B_c : Si=0,5; No=0,0.	0,5		
ΣB	4,0		
Factor de Operación y Gestión del túnel ($S_{IG}=1+\Sigma B$)	5		
COEFICIENTE DE SEGURIDAD ACTUAL DEL TÚNEL ($S=S_H * S_W * S_B$).	31,74		
COEFICIENTE DE SEGURIDAD REQUERIDO SEGUN LA PELIGROSIDAD DEL TÚNEL:			
MSV (pronóstico inferido)	10		

Conclusión

Para los túneles nuevos, a mi juicio no hay mucha discusión, cumplir la norma. Eso sí primero hay que disponer de ella.

Sin embargo para los túneles antiguos la lectura a realizar de la norma no puede ser tan estricta. Razonable es que no existan normas diferentes para unos u otros túneles, pero la problemática de los túneles en servicio puede ser compleja y requerir de flexibilidad a la hora de aplicar la norma.

El artículo 13 de la Directiva o su equivalente en otras normas en referencia a los análisis de riesgo para evaluar medidas compensatorias a inevitables incumplimientos normativos requiere de un desarrollo al estilo de lo que la norma austriaca propone.

Señalar que los equipamientos que hemos denominado de “tecnología superior” puestos al “nivel de consumo” proporcionan unas mejoras notables de la seguridad a bajo costo que deben tenerse en cuenta.

Dentro de este tipo de medidas, el disponer de un Centro de Control multitúnel debe estar presente en cualquier administración que gestiona túneles. Gestionar un único túnel o un grupo de túneles no cuesta más, el Centro de Control es el mismo y los operadores también los mismos. Y quiero mencionar al Centro de Control de Túneles de Vic, que visité recientemente, porque es a mi juicio un ejemplo a seguir.

Y todo ello no vale de gran cosa si no se dispone de unos operadores perfectamente formados y entrenados para conseguir actuaciones rápidas y eficaces, que garanticen la seguridad en los túneles y dotados, además, de las herramientas adecuadas: programas informáticos diseñados y elaborados “ad hoc”, considerando cada túnel y su entorno.