

ASPECTOS DE SEGURIDAD EN LOS TÚNELES CARRETEROS MEXICANOS

M. En I. Willington Araújo Quimbaya
ICA INGENIERÍA

Debido al auge en la construcción de túneles carreteros que se ha venido presentando en nuestro país se hace necesario establecer dentro de éstos algunos requerimientos mínimos de seguridad; más aún cuando no contamos actualmente con alguna normativa nacional que se refiera a este tema. Así mismo debido a las experiencias catastróficas sucedidas en los túneles carreteros en el mundo, se han delimitado algunas normativas internacionales, las cuales se han tomado como referencia para regular algunos requerimientos mínimos en el aspectos de dispositivos de seguridad para túneles carreteros de gran longitud.

Introducción

En nuestro país se han construido obras subterráneas desde épocas prehispánicas, tal es el caso de un túnel (longitud aproximada de 100 m) encontrado en la zona arqueológica de Teotihuacán; posteriormente en el virreinato este tipo de obras se emplearon principalmente en la minería y como desagüe en la Ciudad de México; sólo hasta 1950 se empleó el primer túnel con fines carreteros de aproximadamente 2,260 m conocido como "Ogarrio" (en el actual estado de San Luis Potosí), posteriormente en la década de los 80 se dotó de iluminación y pavimento semirrígido. (Asociación Mexicana de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas, AC, 2012).

Debido a los avances tecnológicos mundiales cada vez más se construyen en nuestro país túneles de mayor longitud, especialmente para el caso de túneles carreteros el aspecto de seguridad cobra mayor relevancia durante su construcción y operación; además se debe considerar que

en este tipo de túneles se pueden presentar incendios que generaran consecuencias catastróficas.

Durante los incendios en el interior de los túneles se registran temperaturas superiores a los 1,000 °C y se genera un fenómeno denominado efecto horno; debido a la concentración de calor, humo y desorientación de los usuarios generalmente se presentan un gran número de personas muertas y heridas; adicionalmente se generan cierres importantes durante días o meses que afectan la vialidad y economía de una región.

A partir de la década de los años noventa y considerando algunas experiencias catastróficas ocurridas en algunos túneles carreteros en funcionamiento (ver tabla 1), Organismos internacionales como la Asociación Mundial de Carreteras (AIPCR/PIARC) se empezaron a preocupar por los aspectos de seguridad en los túneles y realizaron valiosas aportaciones sobre el tema.

Tabla 1. Algunos Accidentes trágicos en túneles carreteros

Año	País	Túnel	Longitud (m)	Tubos	Victimas mortales
1978	Países Bajos	Velsen	770	2	5
1979	Japón	Nihonzaka	2,045	2	7
1980	Japón	Kajiwara	740	2	1
1980	Japón	Sakai	459	2	5
1982	EE. UU.	Caldecott	1,028	3	7
1983	Italia	Pecorillo	662	2	9
1986	Francia	L'Arme	1,105	1	3
1987	Suiza	Gumfens	343	2	2
1993	Italia	Serra Ripoli	442	2	4
1994	Sudáfrica	Huguenot	3,914	1	1
1995	Austria	Pfander	6,719	1	3
1996	Italia	Isola delle Ferminie	148	2	5
1999	Francia - Italia	Mont Blanc	11,600	1	39
1999	Austria	Tauren	6,401	1	12
2001	Austria	Gleinalm	8,320	1	5
2001	Suiza	St. Gotthard	16,918	1	11
2005	Francia - Italia	Frejus	12,870	1	2
2006	Suiza	Viomala	750	1	9
2012	Suiza	Sierre	2,400	2	28

Los principales estudios adelantados por la AIPCR/PIARC han sido el ensayo Eureka (1991), ensayos Memorial Tunnel (1993), QRAM Transporte de Mercancías Peligrosas (1995), Fire and Smoke Control (WG-6 C5, 1999). Adicionalmente a estos estudios se establecieron otras recomendaciones internacionales propuestas por Francia, Suiza, la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (UNECE) y las directivas Europeas.

Por otra parte, a continuación se describe en forma resumida los principales factores que intervienen en la seguridad de los túneles, la normativa internacional existente y el equipamiento con que cuentan algunos túneles carreteros en México, específicamente para el caso del Túnel de Acapulco y por último unas breves conclusiones.

Factores que intervienen en la seguridad de los túneles

En general un túnel representa un sistema complejo en donde intervienen una gran cantidad de variables que se interrelacionan entre sí. En el caso de la seguridad también participan muchos factores, sin embargo la AIPCR/PIARC ha establecido cuatro grandes grupos, los cuales se pueden observar en la figura 1. (Technical Committee: C4 Road Tunnel Operations, 2011).

FIGURA 1. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA SEGURIDAD DE LOS TÚNELES CARRETEROS



La explotación consiste en el manejo adecuado y buen funcionamiento de todas las instalaciones de un túnel, al igual que el mantenimiento del mismo; en la infraestructura se considera principalmente el equipamiento de todos los sistemas dentro del túnel, para lo cual interviene el tipo de túnel, la sección transversal, el número de tubos, tipo de ventilación, etc.; por ello es uno de los principales parámetros que influye directamente en el costo de la construcción de un túnel. Dentro de los usuarios se incluye el factor humano, en este aspecto es importante que todas las personas que utilizan el túnel conozcan la información necesaria que les permita actuar adecuadamente ante cualquier emergencia. Finalmente en cuanto a los vehículos, se consideran el tipo de transporte y mercancías que circularán por el túnel.



Normativa Internacional

La mayoría de los organismos internacionales tienen como punto de partida una clasificación general de los túneles. Por ejemplo la AIPCR/PIARC en 1995 estableció que los principales factores que intervienen en la clasificación son la longitud (L), volumen de los vehículos, sentido del tránsito, número de tubos, tipo (urbano e interurbano) y nivel de servicio (tipo y clase de carretera).

La AIPCR/PIARC basado en los reportes anteriormente realizados y en la revisión de algunos túneles en funcionamiento, especialmente europeos, japoneses y estadounidenses, ha dividido el aspecto de seguridad en tres categorías principales:

- Emergencia y evacuación:** señales de emergencia en carreteras, luces de evacuación, teléfonos de emergencia, radios de comunicación, altavoces, extintores, hidrantes, regulaciones del tránsito, dispositivos automáticos contra incendios, sistemas para el derrame de sustancias peligrosas, evacuación de los usuarios (salidas de emergencia y bahías de estacionamientos), protección contra el fuego y planta de emergencia.
- Regulación del tránsito:** líneas de señalamiento, luces intermitentes de emergencia, señales dinámicas, barreras y control de altura de vehículos.
- Sistemas de operación:** centro automatizado de control, circuito cerrado de televisión (CCTV) y plan de contingencia para emergencias.

Francia cuenta con algunos túneles carreteros importantes, tal es el caso del Somport ($L = 8,608$ m) que comunica Francia con España y el Mont Blanc ($L = 11,600$ m), que une Francia con Italia y recordado porque en 1999 fue protagonista de unas de las mayores tragedias automovilísticas de Europa. Por otra parte se encuentra el Eurotúnel ($L = 50,000$ m) que comunica a Francia con el Reino Unido cruzando el Canal de la Mancha; si bien este último es un túnel ferroviario, debido a su gran longitud y características es uno de los túneles más importantes en el mundo.

La Normativa francesa [Circulaire Interministerielle No. 2000-63, 2000] consideran la longitud del túnel (L), el tipo de tránsito y de carretera como parámetros aplicables para túneles nuevos con longitudes mayores a 300 metros.

Alemania (BMVB, 1994) considera cuatro rangos de longitud ($L < 350$ m, de 350 m a 700 m, de 700 m a 1,050 m y $L > 1,050$ m) para establecer los requerimientos mínimos en cuanto al equipamiento de seguridad.

Por su parte en Japón los túneles carreteros (Mashima, 2002) se dividen en cinco categorías (AA, A, B, C y D) según el volumen del tránsito y la longitud de los mismos.

A partir del año 2004 la Unión Europea (UE) (Diario Oficial de la Unión Europea, 2004) fue más estricta en este tema, proponiendo parámetros adicionales para la clasificación de los túneles europeos; en esta categorización se incluyen algunos aspectos geométricos como la sección transversal, alineamiento horizontal y vertical, ancho del carril, dirección del tránsito a través del tubo (unidireccional o bidireccional), riesgo de congestionamiento, acceso para los servicios de emergencia, porcentaje de camiones, transporte de mercancías peligrosas, características de las vías de acceso, velocidad de circulación, medios geográficos y aspectos meteorológicos.

La UE integró todos los parámetros indicados anteriormente y estableció una normativa con el objeto de unificar los requerimientos mínimos de seguridad en los túneles que se encuentran en la red carretera transeuropea.

En Estados Unidos de América (EE. UU.) los túneles se clasifican en cinco grandes grupos (X, A, B, C y D) para establecer los requerimientos mínimos de seguridad (NFPA, 2008).

En la tabla 2 se observa una comparativa de los equipamientos de seguridad obligatorios establecidos en los diferentes países anteriormente indicados.

Tabla 2. Equipamientos de seguridad mínimos obligatorios

Equipamiento	Francia	Alemania	Japón	UE	EE. UU.
Centro de control	L > 1,000 m	L > 1,500 m	L > 3,000 m	L > 3,000 m	L > 1,000 m
Salidas de emergencia	L > 300 m	L > 350 m	L > 3,000 m	L > 500 m	L > 240 m
Iluminación básica	Según la PIARC	Según la PIARC	L > 500 m	L > 500 m	-
Iluminación de emergencia	L > 300 y balizas a 1 m c/ 10 m a los lados de las salidas de emergencia	L > 350 m	L > 3,000 m	L > 500 m	L > 240 m
Señalización de los elementos de seguridad	L > 300 m	L > 350 m	L > 1,000 m	L > 500 m	L > 300 m
Ventilación	L > 300 m	L > 350 m	-	L > 500 m	L > 240
Sistemas de ventilación	Unidireccionales: Longitudinal para L < 500 m Longitudinal con extracción masiva para L > 500 m Bidireccionales: semitransversal o transversal	Según la UE	-	Mecánica transversal o semitransversal con extracción de humos para L > 1 000 m y con dispositivos especiales para L > 3,000 m	Según la PIARC
Detección automática de incendios	L > 1,000 m	L > 700 m	L > 1,000 m	L > 500 m	L > 240 m
Hidrantes	L > 300 m (c/ 200 m)	L > 1,050 m	L > 1,000 m	L > 250 m	L > 300 m (c/250 m)
Extintores	L > 300 m (c/ 200 m)	L > 350 m	L > 1,000 m	L > 500 m	L > 240 m
Teléfonos de emergencia (postes SOS)	L > 300 m (c/200 m)	L > 500 m	L > 500 m	L > 500 m	L > 240 m
CCTV	L > 1,000 m	L > 1,050 m	L > 3,000 m	L > 3,000 m	L > 1,000 m
Semáforos en los portales	L > 300 m	-	-	L > 1,000 m	-
Señales dinámicas	L > 1,000 m	L > 500 m	-	L > 500 m	-

En Latinoamérica, Brasil ha sido uno de los pioneros en implementar una normativa relacionada con la seguridad en los túneles carreteros (ABNT, 2009), aunque en algunos países como Chile y Colombia existen túneles importantes [en construcción y operación] que han tomado recomendaciones internacionales como las establecidas por la AIPCR/PIARC.



Túneles carreteros mexicanos

En nuestro país se considera que un túnel carretero (independientemente de su longitud) debe tener iluminación y aquel que tenga una longitud de 500 m o superior debe poseer ventilación (Asociación Mexicana de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas, AC, 2012).

En México existen túneles de gran longitud como es el caso del Túnel de Acapulco ($L = 2,900$ m), el cual hasta el momento es el más largo que se encuentra en operación; otros están en construcción como el Sinaloense ($L = 2,600$ m), El Zoquitán ($L = 1,361$ m) y finalmente se han proyectado varios túneles como el de la Supervía Reforma ($L > 10,000$ m) en la Ciudad de México y el de la Carretera Mante-Tula ($L > 1,400$ m) en el estado de Tamaulipas.

Túnel de Acapulco

Este túnel se localiza en el estado de Guerrero sobre la autopista del Sol, que comunica a la Ciudad de México con el puerto de Acapulco de Juárez, en el año de 1996 empezó a funcionar y cuenta con las siguientes características: sección transversal de 13.60 m de ancho, gálibo de 9.60 m y está compuesto por un tubo bidireccional (tres carriles). Para el equipamiento de seguridad se consideraron las recomendaciones establecidas por la AIP-CR/PIARC en 1978 (Schmitter & Ayala, 1992); además estos sistemas de seguridad se han estado actualizando según las recomendaciones internacionales y actualmente se cuenta con los siguientes elementos:

- Centro de Control.
- Caseta con sistema de cobro

electrónico de lectura óptica.

- Iluminación básica.
- Iluminación de emergencia.
- Planta de emergencia.
- Ventilación.
- Circuito cerrado de televisión (CCTV).
- Nichos de emergencia (cada 260 m aproximadamente).
 - Teléfonos de emergencia (sistema SOS).
 - Hidrantes.
 - Extintores.
- Bóvedas de emergencia (cada 260 m aproximadamente).
- Semáforos en los portales.
- Señales dinámicas.
- Detectores automáticos de fuego y niebla.
- Detectores automáticos de CO.
- Equipos de emergencia.
- Equipos de rescate.
- Planes de emergencia.

Otros Túneles

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (Fimbres, 2009) y algunos gobiernos estatales proyectaron para el periodo 2006 - 2012 más de un centenar de túneles carreteros algunos de los cuales se encuentran en funcionamiento y otros en construcción. Finalmente, en conjunto representan una longitud acumulada de 31,660 m. En la tabla 3 se muestra una relación detallada de estos túneles.

Tabla 3. TÚNELES PROYECTADOS PARA EL PERIODO 2006 - 2012

Carretera	No. de Túneles	Longitud total (m)
Durango - Mazatlán	61	17,500
México - Tuxpan	7	6,000
Rio Verde - Ciudad Valles	4	750
Libramiento de Xalapa	1	270
Barranca Larga - Ventanilla	3	320
Arriaga - Tuxtla Gutiérrez	2	380
Acceso portuario a Salina Cruz	1	550
Atlixpán - Atlacomulco	1	380
Libramiento de Puerto Vallarta	1	450
Mitla - Tehuantepec II	13	2,000
Toluca - Naucalpan	3	840
Libramiento de Tamazunchale	1	180
Tapic - Vallarta (Compostela)	1	250
Amozac - Perote	1	340
Mante - Tula	1	1,450
TOTAL		31,660

A finales del 2008 el Gobierno del Distrito Federal anunció la proyección de un gran túnel urbano que tendría una longitud superior a los 10,000 m; este proyecto se denominó Supervía Reforma, que comunicaría el centro de la ciudad con el poniente que comprende la zona conocida como Santa Fe. Este megatúnel queda en etapa de anteproyecto a la espera de que algún día se retomé la idea de los grandes túneles urbanos en la Ciudad de México.



Conclusiones y recomendaciones

- Debido a los avances tecnológicos en el mundo y al auge en la construcción de túneles carreteros en nuestro país, cada vez se construyen túneles más largos; sin embargo es necesario considerar aspectos de seguridad adecuados que ofrezcan un buen servicio y calidad a los usuarios.
- Es importante establecer unos requerimientos mínimos de seguridad para los túneles carreteros en México, con el fin de prevenir accidentes trágicos como los ocurridos en algunos túneles internacionales.
- Se debe considerar desde la etapa de diseño de un túnel carretero los requisitos y equipos de seguridad, debido a que éstos generalmente representan un precio considerable durante la construcción; razón por la cual es importante realizar detalladamente análisis y evaluaciones de riesgos para evitar sobrecostos en la obra.
- Es recomendable que en los túneles construidos y que actualmente se encuentran en operación, se realicen inspecciones detalladas periódicamente con el objeto de evaluar los equipamientos y buen funcionamiento de todos los sistemas de seguridad que intervienen durante una emergencia.

Normativa Internacional

ABNT. (2009). *Proteção contra incêndio em túneis*. Brasília: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Asociación Mexicana de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas, AC. (2012). *Túneles en México*, México D.F., México.

BMVB. (1994). *Richtlinien für Ausstattung und Betrieb von Strassentunneln*. Bonn: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.

Circulaire Interministerielle No. 2000-63. (2000). *Relative à la sécurité dans les tunnels du réseau routier national*. Paris: Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement.

Diario Oficial de la Unión Europea. (2004). *Requisitos Mínimos de Seguridad para Túneles de la Red Transeuropea de Carreteras*.

Fimbres, J. M. (2009). Simposio: Diseño, Construcción y Supervisión de Túneles Carreteros. [SCT - AMITOS - AMIVTAC]. México, D.F.

Mashima, H. (2002). State of the road tunnel safety technology in Japan. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 17, 145-152.

NFPA. (2008). *Standard for Road Tunnels, Bridges and Other Limited Access Highways*.

Schmitter, J. J., & Ayala, R. (1992). Túneles de acceso vehicular al puerto de Acapulco. *Proceeding of the International Congress Towards New World in Tunnelling*, 1, págs. 117 -123. Acapulco.

Technical Committee: C4 Road Tunnel Operations. (2011). *Road Tunnel Manual*. México, D.F.: World Road Association [PIARC].

