

CRITERIOS DE SEGURIDAD EN LOS TÚNELES DE COLOMBIA

M. López Rodríguez & F. Palazón Rubio
Tekia Ingenieros S.A., Spain - Tekia Ingenieros de México S.A. de C. y V., México
mlopez@tekia.es, fpalazon@tekia.es

RESUMEN

La seguridad en los túneles de carretera ha sido normalizada en las últimas décadas en los países más desarrollados (Europa, Norteamérica, Japón, Australia, etc.) con el objetivo de mantener unos niveles de riesgo tolerables por sus sociedades. Las diversas leyes y normas técnicas regulan las medidas constructivas de obra civil e instalaciones de seguridad, la explotación y el marco administrativo y procedimental de aseguramiento de la seguridad.

En los países en desarrollo en los que se están construyendo ahora grandes infraestructuras viales, los túneles de carretera se han convertido en infraestructuras estratégicas de vertebración de las comunicaciones por tierra que permiten el desarrollo de regiones de difícil acceso. Esto resulta especialmente significativo en países de Sudamérica con geografías accidentadas por las formaciones de la cordillera de Los Andes como Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile y Argentina.

En el caso de Colombia destacan el Túnel de La Línea (Camino Bogotá – Buenaventura), los túneles de la Ruta del Sol, el Túnel de Buenavista (Bogotá – Villavicencio) y los túneles en proyecto del desdoblamiento de la calzada de esta misma vía.

En este documento se pretende mostrar cómo se ha abordado el estudio de mejora de las medidas de seguridad del Túnel de Buenavista mediante un estudio de riesgos aplicando análisis cuantitativo.

ABSTRACT (ENGLISH)

Safety in road tunnels has been standardized in recent decades in most developed countries (Europe, North America, Japan, Australia, etc..) in order to maintain tolerable levels of risk for their companies. The various laws and standards govern the constructive measures of civil works and safety installations, operation and the administrative and procedural safety assurance.

In developing countries which are now building major road infrastructure, road tunnels have become the backbone of strategic infrastructure in the land communications that enable the development of areas of difficult access. This is especially significant in countries in South America with rugged terrain because of the “Cordillera de Los Andes” (Colombia, Ecuador, Peru, Bolivia, Chile and Argentina).

In the case of Colombia highlights the tunnel of La Linea (Bogotá - Buenaventura), tunnels in the Ruta del Sol, the Tunnel of Buenavista (Bogotá - Villavicencio) and tunnels in the unfolding project of the carriageway in this road.

These infrastructures are a major investment effort for these countries, however do not have their own regulatory frameworks with safety requirements in road tunnels, so apply

design criteria and safety of other countries. The conflict arises when the government and technical staff have to decide the standards and safety criteria to be applied, inevitably associated with increases in the construction and operation costs of the tunnels. The safety criteria must be consistent with the level of development of societies, establishing admissibility and tolerability criteria of risk for different types of activities, depending on variables such as risk aversion, the contribution to the society activity (eg on GDP, etc.). This paper aims to show how it has approached the improvement study of safety measures Buenavista Tunnel, through a risk assessment using quantitative analysis.

Personal safety and sustainability are concepts that are self-involved, so that a safety tunnel for people travelling on it, is socially sustainable infrastructure. The risk analysis of Buenavista Tunnel has studied the safety criteria in road tunnels, concluding that their degree of severity depends on the economic and social development of countries. The project provides a solution to fixing the criteria that this article explains.

1. INTRODUCCIÓN

La seguridad en los túneles de carretera ha sido normalizada en las últimas décadas en los países más desarrollados (Europa, Norteamérica, Japón, Australia, etc.) con el objetivo de mantener unos niveles de riesgo tolerables por sus sociedades. Las diversas leyes y normas técnicas regulan las medidas constructivas de obra civil e instalaciones de seguridad, la explotación y el marco administrativo y procedimental de aseguramiento de la seguridad.

La construcción de los ejes viarios que articulan el continente suramericano forma parte vital de la estrategia para la integración y desarrollo de estos países. Dentro de estas actuaciones, y debido a su geografía accidentada, los túneles se han convertido en una solución recurrente que permite la vertebración de las comunicaciones por tierra para las regiones de difícil acceso, disminuyendo el tiempo de viaje, mejorando la seguridad y ahorrando combustible.

Esto resulta especialmente significativo en países de Sudamérica con geografías accidentadas por las formaciones de la cordillera de Los Andes como Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile y Argentina.

Estos ejes son los siguientes:

- 1) Eje Andino.
- 2) Eje Andino Sur.
- 3) Eje Capricornio.
- 4) Eje de la Hidrovia. Paraguay-Paraná.
- 5) Eje del Amazonas.
- 6) Eje del Escudo Guayanes.
- 7) Eje del Sur.
- 8) Eje Interoceánico.
- 9) Eje Mercosur-Chile.
- 10) Eje Peru-Brasil-Bolivia.

I. I. R. S. A.
Iniciativa para la Integración de la Infraestructura Regional Suramericana



Colombia es uno de los países más importantes en el área Andina desde el punto de vista de inversiones y comercio. El desarrollo y el crecimiento económico requieren de sistemas de transporte masivo y de infraestructuras viarias que permitan integrar y articular las regiones del país. Con objeto de corregir el déficit actual de infraestructuras viarias que cumplan con esos objetivos, el Gobierno de Colombia desarrolla un plan estratégico en el que se contempla la construcción de 63 túneles en la accidentada geografía colombiana.

Colombia es pionero en la construcción de los túneles más largos de América Latina, como lo son el túnel de Buenavista (Bogotá – Villavicencio), de 4.500 metros, y el de San Jerónimo, en Antioquia, de 4.600. Entre las nuevas actuaciones destacan:

- La Ruta del Sol, que incluye seis túneles.
- La segunda calzada Bogotá-Villavicencio, que contará con 13 túneles.
- El Túnel de La Línea (Camino Bogotá – Buenaventura). El tramo Cisneros-Loboguerrero –entre Buga y Buenaventura–, con 12 túneles.
- El Túnel de Oriente, Con 8.2 kilómetros de longitud.

2. VISIÓN INTEGRADA DE LA SEGURIDAD EN LOS TÚNELES DE CARRETERA.

A raíz de los siniestros de los túneles de Mont Blanc, Tauern y San Gotardo, se impulsaron numerosas iniciativas y proyectos para la mejora de la seguridad en los túneles de carretera.

Los objetivos de la seguridad en los túneles se pueden enunciar de la siguiente forma:

1. Evitar eventos críticos que puedan poner en peligro la salud y la vida de las personas, el medioambiente y las propias infraestructuras viarias.
2. Reducir las consecuencias de los accidentes y siniestros, tales como los incendios, creando las condiciones que permitan:
 - El auto-rescate de las personas implicadas en un siniestro.
 - La intervención inmediata de los propios usuarios de los túneles para evitar que los incidentes tengan consecuencias mayores.
 - Asegurar la intervención eficiente de los servicios de emergencia.
 - La protección del medioambiente.
 - Limitar el daño sobre las infraestructuras e instalaciones de los túneles.

La seguridad en los túneles de carretera se puede afrontar uno los enfoques siguientes:

- Mediante el cumplimiento de los requerimientos normativos sobre seguridad.

En las reglamentaciones se especifican los requerimientos constructivos, operacionales y organizativos que deben cumplirse en el diseño, construcción y operación de los túneles, de forma universal y sin tener en cuenta las características específicas de cada túnel.

Para articular la implantación de estos requerimientos se enuncian criterios de clasificación de los túneles por su peligrosidad, en base a unos pocos parámetros asociados con factores de riesgo, tales como el tipo de tráfico soportado (unidireccional o bidireccional), entorno (urbano o interurbano), longitud e intensidades de tráfico soportadas.

Normativa: German standard RABT (2006), US standard NFPA 502 (2008), Austrian standards RVS (09.01.24, 09.02.22/31/41/51, 09.03.11/12), French guideline: "Technical Instructions for Safety Dispositions in New Road Tunnels".

- Mediante la aplicación de medios y medidas de seguridad en base a los riesgos a los que se deben hacer frente en cada túnel.

Se basa en la aplicación, para cada túnel, de metodologías de análisis y evaluación de riesgos, que deberían estar normalizadas y armonizadas entre los diferentes países y regiones.

Esta estrategia permite establecer las medidas más adecuadas en términos de su aportación a la seguridad global del túnel teniendo en cuenta además su coste (inversión inicial y de reposición, y costes de operación y mantenimiento).

Como resultado de algunos de estos trabajos se formuló el concepto de la visión integrada de la seguridad de los túneles de carretera, en el que se aboga por la adopción de forma combinada y complementaria de los enfoques basados en prescripciones normativas y en la aplicación de metodologías de análisis y evaluación de riesgos.

El concepto de visión integrada de la seguridad ha sido enunciado formalmente por el Comité Técnico de la PIARC C-4¹ como una metodología para el planeamiento, diseño, construcción y explotación de los túneles, en la que se tienen en cuenta el conjunto de todos los aspectos importantes para la seguridad, tales como las regulaciones normativas, los elementos constructivos y operacionales de seguridad, métodos y modelos de análisis y evaluación de riesgos, la explotación, el retorno de la experiencia y la gestión de la seguridad.

Elementos que forman parte de la metodología de seguridad integral de túneles:

- Criterios de nivel de seguridad (reglamentaciones y recomendaciones).
- Medidas de seguridad constructivas y operacionales.
- Criterios socioeconómicos y de coste-beneficio.
- Técnicas de análisis y evaluación del riesgo.
- Explotación de los túneles.
- Fases del ciclo de vida de los túneles (planeamiento, diseño, construcción, puesta en servicio, explotación y remodelaciones).
- Retorno de la experiencia en la explotación.
- Condiciones de operación de los túneles.

Los países con más experiencia han venido adoptando esta metodología a lo largo de las dos últimas décadas, con nuevos marcos regulatorios. El caso de los países europeos es significativo ya que la Directiva sobre seguridad en túneles de carretera, de 2004, es la primera norma a nivel internacional.

Los países sudamericanos, que están viviendo procesos de modernización y desarrollo espectaculares, en los que las nuevas infraestructuras de transporte tiene un papel clave, no cuentan, sin embargo, con marcos regulatorios sobre la seguridad en túneles de

¹ Approaches to Road Tunnel Safety - Current Practice

carretera. Los criterios de seguridad que se vienen aplicando en el diseño, construcción y explotación de los túneles en Latinoamérica no son claros ni homogéneos, y se basan en la adopción de buenas prácticas y requerimientos normativos importados de Norte América y Europa principalmente.

En este sentido, la comunicación y el intercambio de experiencias e información técnica entre países se convierten en un elemento clave para la mejora de la seguridad en los túneles. Sería muy conveniente que estos procesos, que actualmente se llevan a cabo de forma espontánea, en el marco de los diferentes proyectos de túneles, se pudiesen realizar sobre estructuras y metodologías formales y comúnmente aceptadas, basadas en la visión integrada de la seguridad.

La adopción por parte de los países de Latinoamérica de los criterios de seguridad empleados en EEUU o Europa debe llevarse a cabo con ciertas precauciones, evitando el traslado automático e irreflexivo de los requerimientos que establecen estos estándares.

Se deberían tener en cuenta las siguientes consideraciones. La construcción de túneles supone un gran esfuerzo inversor para estos países que. El conflicto surge cuando las administraciones y los técnicos se plantean los estándares y criterios de seguridad que deben aplicarse, ineludiblemente asociados a incrementos en los costes de construcción y explotación de los túneles. El uso de grandes cantidades de los recursos de un país en seguridad no se pueden justificar solamente en términos económicos, sin embargo, los recursos son limitados es necesario que las inversiones en seguridad se hagan de una forma racional. Los criterios de seguridad deben ser coherentes con el nivel de desarrollo de las sociedades, que establecen criterios de admisibilidad y tolerabilidad del riesgo para los distintos tipos de actividades, en función de diversas variables como la aversión al riesgo, la aportación a la sociedad de dicha actividad (por ejemplo sobre el PIB), etc.

Estos criterios, que deben establecerse para cada país, son relativamente similares para países de la OECD, sin embargo no lo serán tanto para gran parte de los países de Latinoamérica.

En la siguiente gráfica se presentan los indicadores ICAF (Implied Cost of Averting a Fatality) de algunos países de la OECD. El ICAF se emplea como criterio de seguridad en algunos casos, y expresa la relación entre el coste marginal de la implantación de una medida de seguridad con la reducción del riesgo conseguida (en términos económicos).

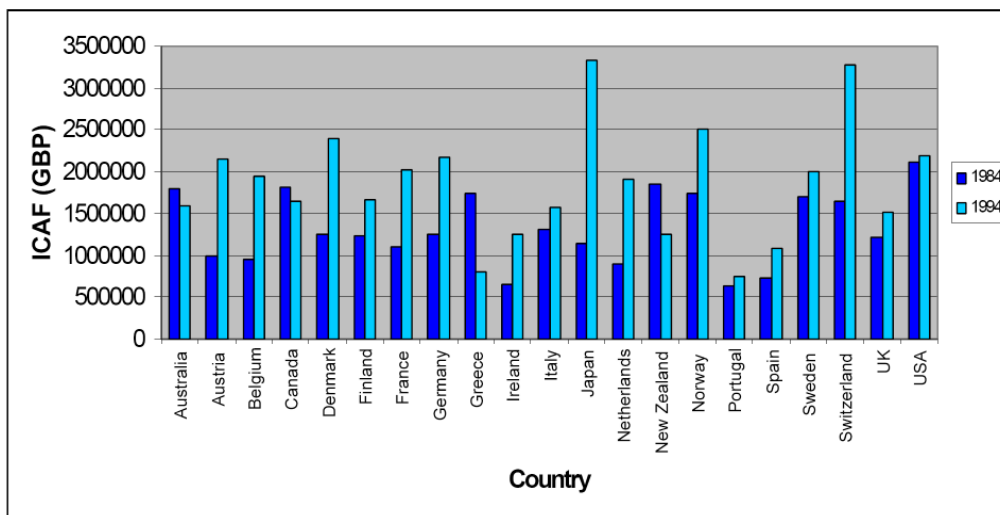


Figura 1. Comparación de los Valores de ICAF entre los años 1984 y 1994 de algunos países (Skjovm and Ronold, 1998).

El establecimiento de criterios claros y justos de seguridad debe permitir que las inversiones en seguridad que se realicen en un país sean rentables en términos de seguridad y además se destinen coherentemente. Así, a la hora de adoptar criterios de seguridad norteamericanos o Europeos en los túneles de carretera de los países Latinoamericanos, es conveniente valorar los niveles de riesgo que se soportan en el resto de las redes de carreteras o incluso en otros tipos de infraestructuras e instalaciones.

En las siguientes tablas se muestran los índices de Accidentalidad y Mortalidad en diferentes países⁽³⁾.

PAÍS	AÑO DE REGISTRO	ACCIDENTES	MUERTOS	HERIDOS	POBLACIÓN	VEHÍCULOS	TASAS DE MORTALIDAD	
							Muertos por 100 Mil HAB.	Muertos por 10 Mil VEH.
Argentina	2.007	212.205	7.439	90.641	39.356.383	12.399.887	18,9	6,0
Bolivia *	2.006	53.046	1.465	11.956	9.827.522	699.646	14,9	20,9
Brasil *	2.005	335.620	24.840	187.630	186.770.562	45.755.647	13,3	5,4
Chile	2.006	44.839	1.652	47.025	16.432.674	2.657.892	10,1	6,2
Colombia	2.007	181.076	5.409	38.727	43.971.792	4.951.225	12,3	10,9
Ecuador*	2.006	18.572	1.801	9.082	13.802.987	961.556	13,0	18,7
Perú*	2.005	75.012	3.302	40.512	27.219.264	795.236	12,1	41,5
Uruguay *	2.006	1.511	145	1.585	3.415.920	1.189.535	4,2	1,2
Venezuela	2.007	156.008	4.680	34.321	27.483.208	3.142.723	17,0	14,9

PAÍS	AÑO DE REGISTRO	MUERTOS	HERIDOS	POBLACIÓN 1)	VEHÍCULOS 1)	TASAS DE MORTALIDAD	
						Muertos por 100 Mil HAB.	Muertos por 10 Mil VEH.
Austria	2.007	691	41.096	8.315	5.796	8,3	1,2
Alemania	2.006	5.091	422.337	82.490	54.900	6,2	0,9
Canada	2.007	3.963	19.235	32.976	27.577	12,0	1,4
Dinamarca	2.006	306	5.403	5.427	2.020	5,6	1,5
Eslovenia	2.006	262	1.220	2.025	1.200	12,9	2,2
España	2.006	4.104	143.450	44.708	30.497	9,2	1,3
Finlandia	2.005	366	8.979	5.237	2.871	7,0	1,3
Francia	2.006	4.709	82.430	63.195	34.972	7,5	1,3
Hungría	2.005	1.278	20.800	10.098	3.370	12,7	3,8
Islandia *	2.006	31	1.327	299	227	10,4	1,4
Italia	2.006	5.426	313.727	59.131	45.515	9,2	1,2
Japón	2.006	6.352	1.098.199	127.417	79.236	5,0	0,8
Irlanda	2.006	396	9.318	4.234	2.296	9,4	1,7
Noruega	2.006	242	11.025	4.640	2.600	5,2	0,9
Polonia	2.006	5.243	59.123	38.557	18.035	13,6	2,9
Portugal	2.006	850	47.137	10.576	7.210	8,0	1,2
Republica Checa	2.006	1.063	28.114	10.212	5.632	10,4	1,9
Republica de Corea *	2.004	6.563	220.755	48.082	18.062	13,6	3,6
Suecia	2.006	445	26.636	9.029	5.810	4,9	0,8
Suiza	2.005	409	5.059	7.415	5.043	5,5	0,8
Reino Unido	2.006	3.172	29.000	60.068	33.369	5,3	1,0
USA	2.005	43.443	1.900.000	291.410	241.194	14,9	1,8

Se puede apreciar que las tasas de mortalidad en accidentes en carretera de los países Latinoamericanos superan, por ejemplo, a las de los países Europeos en un orden de magnitud.

3. CRITERIOS DE SEGURIDAD APLICADOS EN EL TÚNEL DE BUENAVISTA (COLOMBIA).

La empresa Concesionaria COVIANDES S.A. se encarga desde el año 2.003 de la explotación del Túnel de Buenavista (de 4,52 kilómetros) en la carretera de Bogotá - Villavicencio. El paso de transportes de mercancías peligrosas a través de este túnel ha estado prohibido desde su puesta en servicio, empleándose como itinerario permitido el tramo alternativo de la Ruta 40 que, sin embargo, recorre el núcleo urbano de la ciudad de Villavicencio.

Este hecho a llevado a las Autoridades de la Administración a valorar la posibilidad de establecer el Túnel de Buenavista en el itinerario preferente para el paso de transportes de mercancías peligrosas.

El Instituto Nacional de Concesiones (INCO) y la Concesionaria COVIANDES consideraron oportuno analizar el riesgo que esto podía inducir en el funcionamiento del túnel, con objeto de tener una base consistente para soportar las decisiones sobre la estrategia de seguridad más adecuada a seguir.

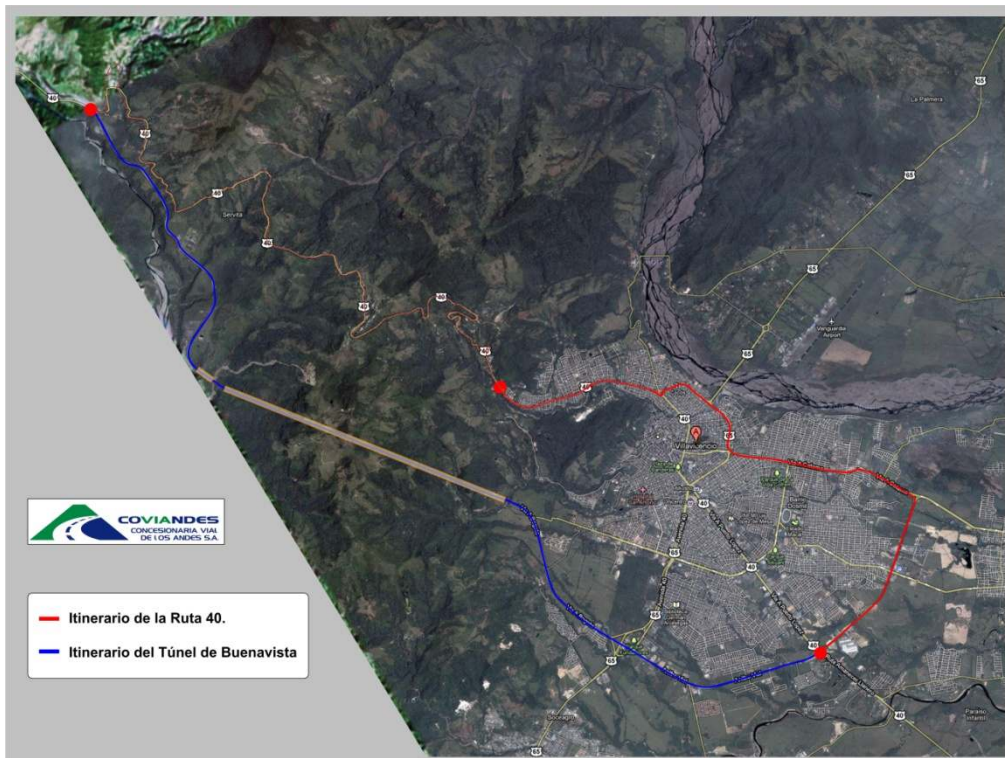


Figura 2. Ubicación del Túnel de Buenavista.

Así, se encargó a la empresa TEKIA Ingenieros la realización de un Estudio de los Riesgos asociados al transporte de mercancías peligrosas a través del Túnel de Buenavista, con los siguientes objetivos:

1. Analizar la conveniencia, en términos de seguridad, de establecer el Túnel de Buenavista como itinerario preferente para el paso de transportes de mercancías peligrosas entre Villavicencio y Bogotá, frente al itinerario empleado actualmente a través de la Vía Antigua el Mirador en la Ruta Nacional 40.

2. Evaluar el incremento del riesgo que supone para el Túnel de Buenavista el paso de transportes de mercancías peligrosas, frente a la situación actual de restricción total de dichos transportes.
3. Proponer la estrategia a seguir para asegurar unas condiciones de seguridad aceptables, mediante la implantación de medidas adicionales de seguridad, constructivas y operacionales. Las diferentes medidas de seguridad deberían ser evaluadas en términos de su aportación a la reducción del riesgo y su viabilidad técnica y económica.

Para este estudio de riesgos se emplearon los Modelos de Análisis Cuantitativo de Riesgos **QRAM** (*Quantitative Risks Assessment Models*) y de Ayuda a la Decisión **DSM** (*Decision Support Model*), desarrollados por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) y la Asociación Mundial de Carreteras (PIARC), ambos orientados análisis y evaluación de los riesgos asociados al transporte de mercancías peligrosas por carretera.

3.1. Análisis preliminar.

El Túnel de Buenavista es una infraestructura viaria estratégica que se integra en la Vía Bogotá-Villavicencio, eje único de comunicación entre las Regiones de Cundinamarca y Meta.

Se trata de un túnel de único tubo bidireccional, de 4.520 metros de longitud y una pendiente de 2,66 %. Tiene dos carriles (uno para cada sentido de circulación) de 3,41 m. Carece prácticamente de arcones (0,26 m) y las aceras apenas tienen 0,50 metros de anchura. Su sección transversal es estrecha, con 47.8 m² y gálibo permitido de 4,4 m. Se diseñó y construyó con especificaciones de túnel de doble tubo con tráfico unidireccional, en previsión de ser desdoblado en el futuro cuando las condiciones de servicio y de seguridad así lo exigiesen.

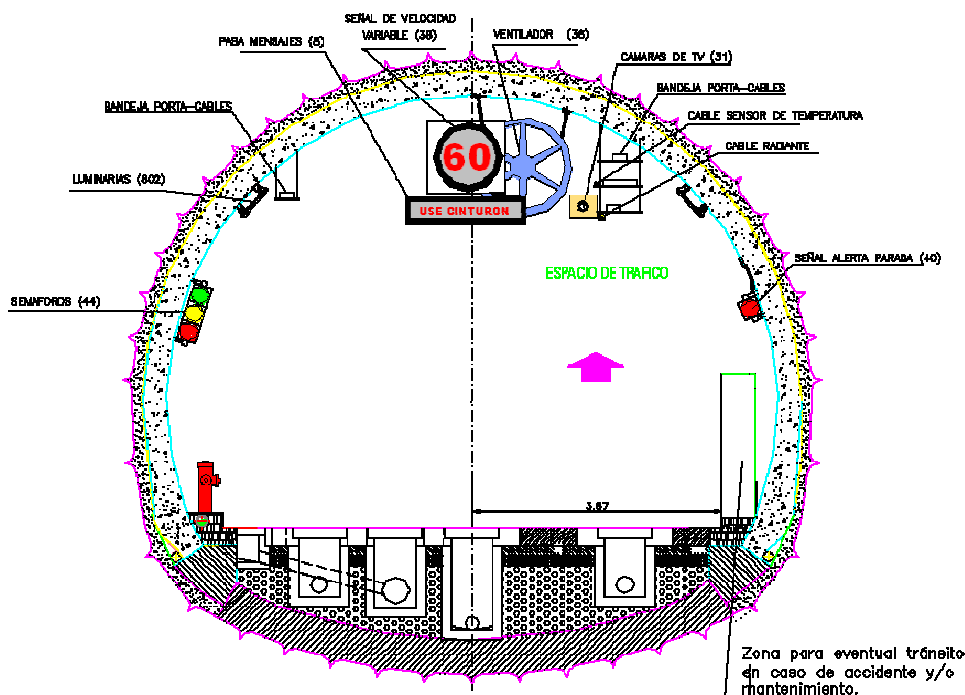


Figura 3. Sección transversal del Túnel de Buenavista.

El túnel cuenta con los siguientes sistemas electromecánicos y de control:

- Sistema de suministro de energía.
- Sistema de iluminación.
- Sistema de ventilación longitudinal.
- Sistema de control ambiental.
- Sistema de detección de incendios.
- Sistema de extinción de incendio.
- Sistema de auxilio SOS.
- Sistema de señalización y control de tráfico.
- Sistema de circuito cerrado de televisión.
- Sistema de megafonía.
- Sistema de redifusión de radio mediante radiante.
- Sistema de control y supervisión.

El Túnel de Buenavista soporta una IMD de 7.360 veh/día con 32,9% de vehículos pesados. Se estima que el Túnel de Buenavista llegue a saturación con un Volumen Horario de 1.200 Veh/h (17.000 veh/día). Según las previsiones de tráfico esto ocurrirá en el año 2018.

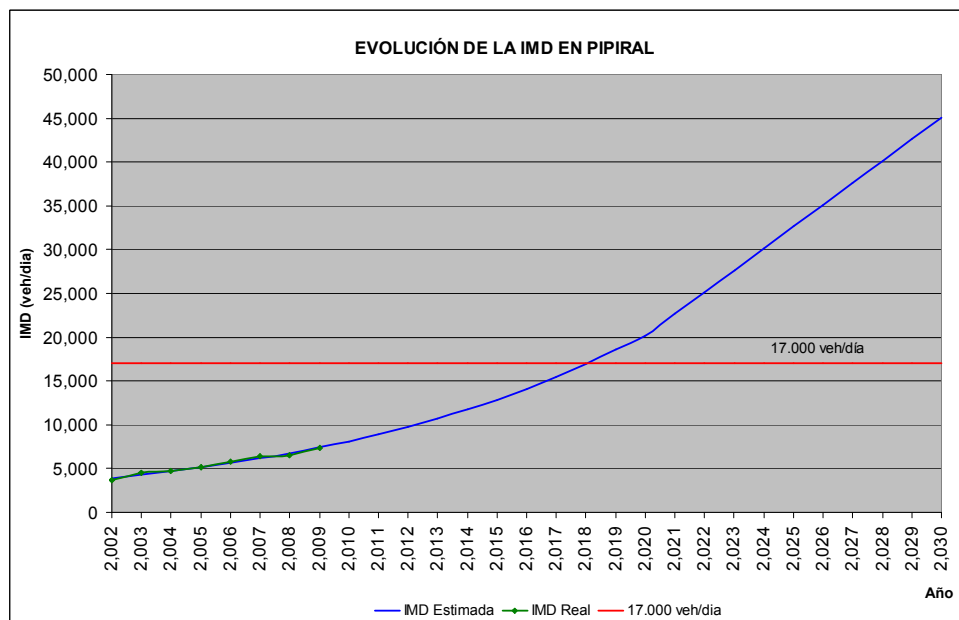


Figura 4. Evolución del Tráfico del Túnel de Buenavista.

La vía Bogotá-Villavicencio soporta un tráfico importante de transportes de mercancías peligrosas con intensidades diarias superiores a los 520 veh/día. Más del 65% se corresponde con líquidos inflamables, con origen-destino la planta de extracción de crudo de Puerto López.

3.2. Criterios de seguridad empleados en el estudio.

Debido a que no existe un marco normativo sobre seguridad en túneles de carretera en Colombia se han adoptado criterios de seguridad empleados en otros países.

A la hora de establecer criterios de seguridad para determinar la admisibilidad del riesgo se tuvo en cuenta que el Túnel de Buenavista forma parte de un corredor que va a ser objeto de unas importantes obras de desdoblamiento de calzada y adecuación de trazados, con unos requerimientos totalmente equiparables a los empleados en carreteras de países desarrollados. Así, se consideró adecuado asimilar criterios de admisibilidad de

riesgos europeos para el Túnel Buenavista. Se tomaros como referencia los niveles de admin.¡civilidad del riesgo enunciados en la nuevo norma Austriaca de seguridad en túneles,

Los estándares tomados como referencia en el estudio son los siguientes:

- **Directiva 2004/54/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo sobre requerimientos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras.
- **Real Decreto 635/2006** sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de la Red de Carreteras del Estado, transposición al ordenamiento jurídico español de la Directiva 2004/54/CE.

Para la evaluación de cada caso analizado se aplicaron criterios de admisibilidad del riesgo basados en valores límite de Riesgo Tolerable según estándares Europeos:

- Riesgo Individual (R_{ind}).
 - Riesgo Individual para los Usuarios.
 - Riesgo Individual para la Población.

Los Límites de Riesgo Individual aplicados en este estudio se corresponden con los del Estándar británico de la HSE (Health and Safety Executive)⁶.

- Riesgo Social (R_{soc}). Curvas F-N.

Los Límites de Riesgo Social aplicados en el estudio se corresponden con los fijados por la norma Austriaca⁷ de seguridad en túneles.

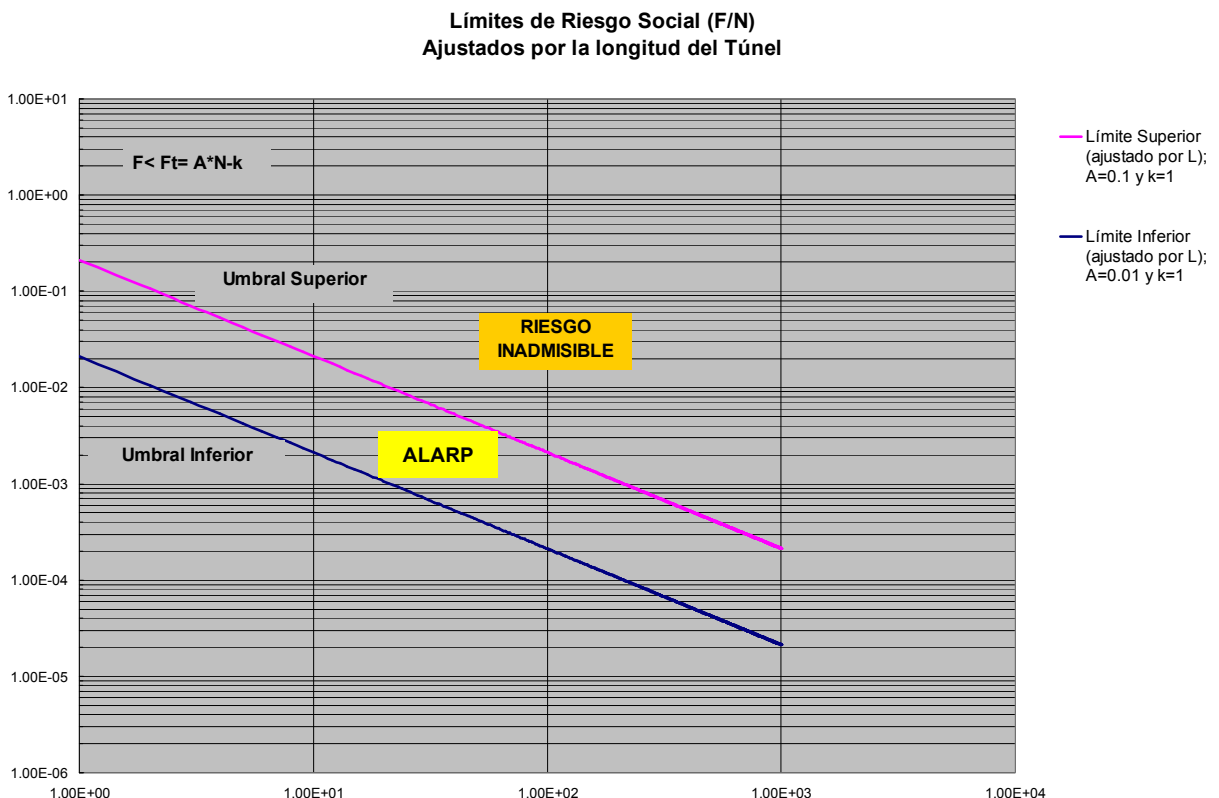


Figura 5. Límites de Riesgo Social.

Realizado el contraste de las características constructivas del túnel de Buenavista y de su dotación de equipamiento de seguridad con los requerimientos normativos tomados como referencia (Estándares Europeos y otras normas o recomendaciones de referencia), se observan las siguientes carencias:

- Número de tubos y carriles.
 La longitud del túnel es un factor de riesgo, el túnel de Buenavista es un túnel largo, de 4.500 metros. Los túneles largos incrementan el riesgo fundamentalmente por dificultar su evacuación en caso de incendio y por dificultar la intervención de los servicios de emergencia.
 El Túnel de Buenavista dispone de un solo tubo bidireccional con 2 carriles, uno por sentido. De acuerdo con los Estándares Europeos, debería tener dos tubos con tráficos unidireccionales.

- El túnel presenta un tráfico bidireccional, lo que incrementa el riesgo por penalizar la gravedad de los siniestros y dificultar el control de los humos en caso de incendio.

- Sección transversal reducida. De acuerdo con los estándares europeos se incumplen los siguientes aspectos:
 - Anchura de carriles menor de 3,50 metros (3,30 metros efectivos).
 - Ausencia de arcones.
 - Aceras estrechas.
 - Ausencia de mediana para separar los sentidos de circulación.
 - Área de la sección transversal de 47,8 m², lo que supone un inconveniente en caso de incendio, al encontrarse la capa de humos a baja altura.

- Salidas de Emergencia.
 El Túnel de Buenavista no dispone de salidas de emergencia. De acuerdo con los Estándares Europeos y el RD 635/2006 español, la distancia entre dos salidas de emergencia consecutivas no debe superar los 400 metros en los túneles interurbanos sin retenciones.

- Conexiones transversales para acceso de vehículos de emergencia.
 El túnel no dispone de estas infraestructuras. De acuerdo con los Estándares Europeos y el RD 635/2006 español, los túneles de más de 1.000 metros deberán contar con conexiones transversales que permitan el acceso de los vehículos de emergencia al menos cada 1.200 metros.

- Ventilación.
 El sistema de ventilación del Túnel de Buenavista es de tipo longitudinal, compuesto por 36 ventiladores, 20 de ellos reversibles de 52 Kw y 45 m³/seg de caudal y 16 unidireccionales. Está dimensionado para un fuego de 30 MW.
 Se incumplen los siguientes criterios de diseño:
 - Según el RD 635/2006.
 - Los túneles con circulación bidireccional con longitudes mayores de 1.000 metros no pueden tener sistemas de ventilación longitudinal. Puede haber excepciones si se justifica mediante un análisis del riesgo o si se toman medidas específicas, tales como una apropiada gestión del tráfico, una reducción de la distancia entre salidas de emergencia y la colocación de extractores de humo a intervalos adecuados.
 - Sistema de ventilación mecánico obligatorio capaz de extraer el humo para un incendio tipo con potencia mínima de 30MW y caudal mínimo de humos de 120 m³/seg (diseño para tráfico sin mercancías

- peligrosas). Para mercancías peligrosas debería ser, al menos, de 100 MW.
- El proyecto de ventilación debe considerar el control de los contaminantes emitidos por los vehículos en flujo normal, denso o detenido así como el control del calor y el humo en caso de incendio.
- Según las recomendaciones de la PIARC.
 - Método de cálculo para emisiones de contaminantes de vehículos.
 - Valores de diseño para concentraciones de CO, opacidad y NOx.
 - Para evitar pérdida de rendimiento aerodinámico, se recomienda que la primera pareja de ventiladores estén ubicados a 80-100 m de la boca, aunque se admite esta ubicación por la menor probabilidad de pérdida en caso de incendio.
 - Ventiladores con resistencia a la temperatura mínima de 250°C, 1 hora.

En el diseño del sistema de ventilación debe considerarse indisponibilidad de los ventiladores cuando el fuego está próximo. Se ha constatado que los algoritmos de control de la ventilación implantados deben mejorarse.

- Sistema de drenaje para la recogida y separación de vertidos tóxicos e inflamables. No se dispone de una sistema con capacidad insuficiente para la recogida de vertidos importantes en calzada y con elementos sifónicos para evitar la propagación de vertidos inflamados a lo largo del túnel.
- Otras carencias detectadas en relación con los estándares de referencia:
 - Dotación insuficiente de cámaras de CCTV (cada 200 metros).
 - Ausencia de sistema de detección automática de incidentes (DAI).
 - Cableado de potencia y control sin protección contra el fuego. En caso de incendio o explosión el control del túnel se perdería.
 - Señalización dinámica y balizamiento mejorables.
 - Ausencia de barreras para el cierre del túnel.

3.3. Conclusiones del Estudio

En una primera etapa del estudio de riesgos se constató que el tránsito de mercancías peligrosas por el túnel de Buenavista, con la dotación de instalaciones y las condiciones de operación actuales, implicaría un riesgo superior al itinerario de la Vía Antigua el Mirador; en ambos casos los niveles de riesgo, de acuerdo con los criterios establecidos, son intolerables. Ello hace imposible asegurar mayores niveles de seguridad para el tránsito de mercancías peligrosas por el Túnel de Buenavista que por el itinerario actual a través de la Vía Antigua El Mirador.

En una segunda etapa del estudio se analizó un conjunto de medidas adicionales de seguridad, viables técnica y económicamente, que pudiesen ser implantadas en un plazo inferior a 2 años. Los resultados de esta etapa permitieron concluir que la adecuación y refuerzo de las instalaciones del Túnel de Buenavista permite mejorar las condiciones de seguridad del Túnel de Buenavista, sin embargo, no aporta una reducción del riesgo suficiente para conseguir unos niveles tolerables para el tránsito de mercancías peligrosas por el túnel.

En el corto plazo, sólo se consigue reducir los niveles de riesgo por debajo del límite tolerable implantando medidas operacionales con afección severa del servicio a los usuarios, como las alternativas de operación basadas en el establecimiento de los

periodos de Horas Valle del Túnel de Buenavista para el tráfico obligado y exclusivo de transportes de mercancías peligrosas, derivando el resto del tráfico a la Ruta 40.

En vista de estos resultados, se abordó una tercera etapa del estudio en la cual se evaluaban actuaciones de mayor calado, con un plazo de implantación de 4-5 años. Así, se concluyó que la única alternativa cuyo análisis conduce a niveles de riesgo tolerables y garantiza el servicio a los usuarios de la vía, es el desdoblamiento del tráfico del túnel de Buenavista, con la construcción de un tubo paralelo.

Esta actuación se justifica fundamentalmente por motivos de seguridad, pero también por motivos de capacidad. En dicho horizonte temporal se alcanzarían unos Niveles de Servicio críticos, aproximándose a la capacidad de la vía. De acuerdo con el estudio de capacidad y niveles de servicio realizados, en el año 2018 se alcanzaría en el Túnel de Buenavista un Nivel de Servicio F (volumen Horario de 1.200 veh/h, equivalente a 17.000 veh/día), con lo que se incrementaría los niveles de accidentalidad y haría más crítica la operación del túnel.

Los autores del estudio advirtieron que, en el caso de no emprenderse la construcción de un tubo paralelo, en un plazo de 5 años (año 2015) el Túnel de Buenavista se encontrará en unas condiciones de seguridad intolerables.

4. CONCLUSIONES

La rápida proliferación de túneles de carretera supone un gran esfuerzo inversor para los países Latinoamericanos que, sin embargo no cuentan con estándares propios. Esto hace que actualmente se apliquen criterios de diseño y seguridad de otros países. El conflicto surge cuando las administraciones y los técnicos se plantean los estándares y criterios de seguridad que deben aplicarse, ineludiblemente asociados a incrementos en los costes de construcción y explotación de los túneles. Los criterios de seguridad deben ser coherentes con el nivel de desarrollo de las sociedades, que establecen criterios de admisibilidad y tolerabilidad del riesgo para los distintos tipos de actividades, en función de diversas variables como la aversión al riesgo, la aportación a la sociedad de dicha actividad (por ejemplo sobre el PIB), etc.

Por esto, es necesario que las diferentes Administraciones y departamentos nacionales competentes impulsen la creación de normas propias que garanticen la seguridad de los túneles de carretera.

La adopción de una visión integrada de la seguridad en los túneles facilitaría la colaboración de estos países con otros que acumulan mayor experiencia en esta materia mediante el intercambio de buenas prácticas y de conocimiento.

La visión integrada de la seguridad en túneles, con el uso combinado y complementario de enfoques basados en prescripciones normativas y en metodologías de análisis y evaluación de riesgos permitirá un uso racional de los recursos y coherente con las condiciones específicas de cada país.

El hecho de que muchos de los países Latinoamericanos compartan unos con otros aconseja que la normalización de los criterios de seguridad se haga con cierta coordinación, de forma similar, aunque probablemente no tan rígida, al proceso seguido en Europa.

REFERENCES RÉFÉRENCES

1. PIARC Technical Committee C3.3 Road tunnel operation. INTEGRATED APPROACH TO ROAD TUNNEL SAFETY (2007).
2. Bernhard Kohl, MSc (2010). Approaches to Road Tunnel Safety - Current Practice. Technical Committee C.4 - Road Tunnel Operation. Working Group 2: Road Tunnel Safety.
3. ACCIDENTALIDAD VIAL EN COLOMBIA – 2007. Editado por el Fondo de Prevención Vial.
4. MARITIME SAFETY COMMITTEE - INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO). FORMAL SAFETY ASSESSMENT. Decision parameters including risk acceptance criteria Submitted by Norway. (Febrero de 2000)
5. TEKIA Ingenieros. ESTUDIO DE RIESGOS DEL PASO DE TRANSPORTES DE MERCANCÍAS PELIGROSAS POR EL TÚNEL DE BUENAVISTA (2010)
6. HSE Health and Safety Executive (2001). Reducing risks, protecting people.
7. NEW AUSTRIAN GUIDELINE FOR THE TRANSPORT OF DANGEROUS GOODS THROUGH ROAD TUNNELS (2010). Diernhofer F.1, Kohl B.1, (ILF Consulting Engineers, Linz). Hörhan R. (Austrian Ministry of Transport, Innovation and Technology, Vienna)
- 8.