

**METODOLOGIA PARA VALORACION DE SEGURIDAD VIAL EN TUNELES
PARA COLOMBIA**

GUSTAVO ADOLFO GUEVARA RENDÓN

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2009**

**METODOLOGIA PARA VALORACION DE SEGURIDAD VIAL EN TUNELES
PARA COLOMBIA**

GUSTAVO ADOLFO GUEVARA RENDÓN

**Tesis de Grado para optar al título de
Maestría en Ingeniería**

Asesor

Ing. Jairo Alberto Espejo Molano

Jurados

Jorge Acevedo Bohórquez

Francisco José Fernández Mejía

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

BOGOTÁ D.C.

2009

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	V
LISTA DE FIGURAS.....	VI
CAPITULO 1	1
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Objetivos.....	5
CAPITULO 2	6
2 ANTECEDENTES.....	6
2.1 Introducción.....	6
2.2 Contexto actual	7
2.3 Proyecciones.....	11
CAPITULO 3.....	13
3 ENTORNO TEORICO.....	13
3.1 Seguridad y diseño geométrico.....	15
3.1.1 Diseño en planta	16
3.1.2 Diseño en perfil	17
3.1.3 Secciones transversales.....	18
3.1.4 Elementos de seguridad	19
3.2 Riesgo y seguridad vial	24
3.2.1 Método determinista	30
3.2.2 Método probabilístico.....	31
3.3 Accidentalidad	32
3.4 Atención de eventos.....	36
CAPITULO 4.....	37

4	METODOLOGIA	37
4.1	Norma austriaca	38
4.1.1	Potencial de riesgo	39
4.1.2	Coeficiente de seguridad	40
4.1.3	Coeficiente de seguridad global.....	41
4.2	Metodología europea	45
4.2.1	Potencial de seguridad	46
4.2.2	Potencial de riesgo	49
4.2.3	Valoración total	53
	CAPITULO 5	57
5	APLICACIÓN.....	57
5.1	Parámetros	58
5.1.1	Evaluación de seguridad.....	60
5.1.2	Evaluación de riesgo.....	74
5.1.3	Evaluación final.....	78
	CAPITULO 6	80
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	80
	BIBLIOGRAFIA	84

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1 Mayores incendios en túneles carreteros	33
Tabla 4.1. Coeficiente de seguridad global Túnel de La Línea	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proyecciones en longitud de túneles.....	12
Figura 2. Elementos involucrados en la seguridad en el túnel	13
Figura 3. Incendio en el túnel de Mont Blanc	34
Figura 4. Incendio en el túnel de Tauern	35
Figura 5. Incendio en el túnel de St. Gotthard.....	35
Figura 6. Sección Túnel de La Línea – Alternativa A	43
Figura 7. Sección Túnel de La Línea – Alternativa A	45
Figura 8. Porcentaje de túneles en relación con la puntuación negativa por apartados	54
Figura 9. Deficiencias encontradas en las vías de escape y salvamento.....	54
Figura 10. Deficiencias encontradas en el apartado de comunicación.....	55
Figura 11. Deficiencias encontradas en el apartado de Protección contra incendios.	55
Figura 12. Deficiencias encontradas en el apartado de Tráfico y control circulatorio.	56
Figura 13. Folleto para conductores sobre comportamiento en túneles.....	65
Figura 14. Sistemas de ventilación.....	70
Figura 15. Zonas de iluminación del túnel.....	72

CAPITULO 1

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

En Colombia al tema de seguridad vial se le está prestando más atención y está tomando cada vez más fuerza gracias a los planes y campañas adelantadas por entidades como el Fondo de Prevención Vial, el INVIAS y el Ministerio de Transporte entre otros; no obstante teniendo en cuenta el alto incremento en el parque automotor y por ende la necesidad de incrementar la infraestructura vial muchos temas de seguridad vial aun requieren especial atención.

En los últimos años la población ha aumentado cerca de un 20% pero el aumento en la cantidad de vehículos supera el 80%. Este precisamente es el primer factor que aporta en el aumento de accidentes de tráfico de donde se derivan las estadísticas de muertes y heridos involucrados.

Comparando a Colombia con otros países en donde existen muchos más vehículos aquí se presenta un mayor índice de accidentalidad, esto obedece a dos factores, que el país no cuenta con la suficiente seguridad para ofrecerle a los

usuarios de las vías nacionales y que el riesgo que se corre en las vías nacionales está aumentando en mayor porcentaje que el aumento de vehículos.

Para empezar a reducir estas cifras se deben atacar ambos puntos, reducir el riesgo al que están enfrentados los usuarios de las vías nacionales y aumentar las medidas de seguridad, lo segundo se debe empezar a atacar desde dos puntos de vista, desde una perspectiva preventiva como una perspectiva correctiva.

Corregir los problemas de seguridad vial es cuestión de atender los eventos y casos puntuales que están por fuera de las normas nacionales y que por algún motivo han sido descuidados, por otro lado está el tema preventivo que es donde más se debe hacer un esfuerzo, ya que si se eliminan o minimizan todos los posibles riesgos que pueden llegar a ser generadores de accidentes y se educa a la gente para conducir de la manera adecuada se puede iniciar una etapa en la cual las estadísticas de accidentalidad y así mismo las estadísticas de muertes y heridos en accidentes de tránsito irán decreciendo con el tiempo.

Se ha generado documentación para diseñar y ejecutar planes de seguridad vial vía lo cual ha ayudado para que el crecimiento de accidentalidad no continúe de manera drástica, estos planes se refieren por lo general a medidas preventivas y correctivas para la infraestructura vial existente más común, como barreras de protección, delineamiento, iluminación de la vía, intersecciones, señalización, mantenimiento, límites de velocidad, restricción de vehículos de carga, etc. Todas

estas enfocadas a vías rurales, departamentales y nacionales que se encuentran a “cielo abierto”.

Hoy en día y desde hace algunos años cuando se empezaron a construir vías por el modelo de concesiones estas se empezaron a construir con mayores especificaciones, entre otras cosas una mejora notable ha sido la implementación de túneles viales los cuales aumentan considerablemente la calidad de la vía disminuyendo distancias de recorrido y por lo tanto tiempo en los desplazamientos.

Así como la construcción de túneles cada vez más ambiciosos genera gran cantidad de ventajas puede llegar a generar algunas pocas desventajas pero de alto impacto social, el aumento del riesgo al momento de conducir por estas vías.

Al momento de conducir por un túnel empiezan a aparecer muchas condiciones nuevas que aumentarían el riesgo y así mismo la accidentalidad pero con un agravante adicional, un accidente en un túnel definitivamente es más peligroso y aumenta considerablemente la tendencia de involucrar más muertes y heridos que un accidente en una carretera a “cielo abierto”.

Aunque la probabilidad de ocurrencia de un accidente en un túnel es menor que en una vía a “cielo abierto” este es mucho más complicado de manejar, por ejemplo, en caso de un incendio este causaría mayores daños y puede involucrar

más afectados, debido a la concentración de gases, humo y altas temperaturas al interior del túnel y a la concentración de vehículos que llegarían al lugar del accidente sin notarlo, esto retrasaría y dificultaría el ingreso de los vehículos de rescate los cuales deberían atender el fuego en menos de seis minutos o de lo contrario este llegaría a ser incontrolable.

Es importante conocer cuáles son los riesgos adicionales que se encuentran al conducir en un túnel y cuáles deben ser los procedimientos para actuar en caso de ocurrir uno, esto haría que el accidente se pueda controlar de mejor manera o tal vez por qué no, dejarlo solamente como un incidente.

Este es un buen momento para crear la necesidad de implementar procedimientos de evaluación tanto para túneles construidos, en construcción y en diseño o proyectados, prestándole mayor atención los que ya se encuentran en servicio y que representan un riesgo potencial a los usuarios.

Afortunadamente hasta el momento no ha habido un evento catastrófico al interior de un túnel colombiano, no por esto se debe esperar a que esto ocurra para tomar medidas en el asunto y establecer parámetros o metodologías para evaluar las necesidades de seguridad y categorizar así mismo las condiciones existentes de seguridad instaladas.

1.2 Objetivos

Documentar y desarrollar una metodología para la evaluación de la seguridad en túneles colombianos basándose en la comparación, análisis e investigación de sistemas utilizados actualmente en otros países, ajustándolos a nuestro entorno socioeconómico.

Recopilar y analizar las metodologías existentes a nivel mundial para evaluar la seguridad en túneles.

Investigar las últimas tecnologías aplicadas en la prevención de accidentes en sistemas viales, específicamente en el área de túneles.

Realizar visitas de campo para conocer la realidad actual.

Elaborar una metodología para evaluar la seguridad en túneles que se adapte a las condiciones nacionales.

Realizar visitas a túneles existentes y aplicar la metodología propuesta a manera de prueba y así poder analizar la efectividad de esta.

Realizar recomendaciones de futuras prácticas en cuanto al tema.

CAPITULO 2

2 ANTECEDENTES

2.1 Introducción

A nivel mundial se está prestando un interés especial en fortalecer los sistemas de seguridad vial para ofrecer a los usuarios mayor tranquilidad a la hora de transitar por las vías, esta atención se ha prestado de igual manera a la seguridad un una obra especial de una vía que son los túneles. Estos por sus características subterráneas generan un ambiente de inseguridad para los usuarios, por tal motivo se ha creado una cultura de valorar los túneles en cuanto a la seguridad ofrecida mediante un método de calificación.

Esto genera un interés particular a los administradores viales en ofrecer las mejores condiciones de seguridad a los túneles para así quedar bien valorados en los estudios y generar confianza a los usuarios en la utilización de estos.

En Gobierno Nacional mediante el INVIAS recientemente ha asignado importantes recursos con el fin de ofrecer a los usuarios la posibilidad de transitar por las vías nacionales en condiciones de seguridad acordes al diseño propio de las mismas.

2.2 Contexto actual

Hoy en día Colombia ocupa una posición importante a nivel latinoamericano en cuanto a desarrollo de túneles, de hecho, tiene dos de los túneles más largos según la siguiente lista:

- 1. Túnel de Occidente (Colombia):** Ubicado en la vía Medellín-Turbo. Su longitud es de 4.603 metros. Fue inaugurado el 20 de enero de 2006.
- 2. Túnel Las raíces (Chile):** Su longitud es de 4.528 metros. Fue inaugurado en 1939.
- 3. Túnel Buenavista (Colombia):** Ubicado en la vía Bogotá-Villavicencio. Su longitud es de 4.519 metros. Fue inaugurado en 2003.
- 4. Túnel Under (Chile):** Su longitud es de 4.000 metros. Fue inaugurado en 2005.
- 5. Túnel La dormida (Chile):** Está ubicado en la autopista La dormida. Tiene una longitud de 3.200 metros. Fue inaugurado en 2003.

*Tomado del artículo "A un túnel de distancia" de Darío Yoany Mesa Ruiz publicado el 24 de septiembre de 2006

Chile es el otro país latinoamericano con túneles de longitudes considerables, en este país se celebró el "*Seminario Internacional OPERACIÓN Y SEGURIDAD EN TÚNELES*" y donde se habló, entre otros, del proyecto del Túnel de La Línea y un posterior análisis de con relación a los Requerimientos de Seguridad de la Directiva del Consejo de la Unión Europea – Abril 2004 (Apoyado de las recomendaciones del Working Group 6 de la PIARC) y al cual se le calculó el

Potencial de Riesgo y el Coeficiente de Seguridad según la Norma Austriaca RVS 9.232 la cual se explicará más adelante.

A continuación se presentan los cinco túneles más largos del mundo en donde podemos apreciar que Colombia en el corto plazo se puede encontrar con los riesgos a los cuales han estado varios países expuestos y que en la actualidad luego de varias catástrofes y pérdidas de vidas humanas se han preocupado más en garantizar que los usuarios no solo estén seguros al momento de transitar por ellos sino que además sientan que están seguros.

1. Túnel de Laerdal (Alemania): Está ubicado en la vía Aurdal-Laerdal. Su longitud es de 24.510 metros. Fue inaugurado el 27 de noviembre de 2000.

2. San Gottardo (Suiza): En los Alpes suizos. Su longitud es de 16.918 metros. Fue inaugurado el 5 de septiembre de 1980.

3. Arlberg (Austria): Está en Asphal. Su longitud es de 13.972 metros. Fue inaugurado el primero de diciembre de 1978.

4. Hsuehshan (Taiwan): Su longitud es de 12.942 metros. Fue inaugurado el 16 de junio de 2006

5. Fréjus (Francia-Italia): Su longitud es de 12.895 metros. Fue inaugurado el 12 de julio de 1980.

*Tomado del artículo "A un túnel de distancia" de Darío Yoany Mesa Ruiz publicado el 24 de septiembre de 2006

En cuanto a normatividad, en Colombia se emplea el Manual de Diseño Geométrico para carreteras publicado por el INVIAS del año 1998, en este se presentan unos conceptos básicos sobre el diseño geométrico en túneles pero sin embargo las consideraciones de seguridad se basan en unas instalaciones mínimas independientemente del riesgo al que estén expuestos los usuarios en cada túnel en particular.

A continuación se presenta un resumen de los temas tratados y requerimientos mínimos para el diseño de túneles.

En cuanto a la iluminación se especifica que se debe pasar de 8000 candelas por metro cuadrado a 120 candelas por metro cuadrado en 2.5 segundo, a 10 candelas por metro cuadrado en 2.5 segundos.

Para la ventilación se habla sobre partículas contaminantes con límites como 150 – 250 partes por millón de monóxido de carbono y la velocidad del sistema entre 10 a 12 metros por segundo. En cuanto a ventilación no se habla sobre como debe estar configurada para la extinción de incendios.

En cuanto a los alineamientos prácticamente se especifica que este debe ser similar al alineamiento de los tramos en superficie.

Para la velocidad de diseño, se recomiendan 80 km/h al momento de transitar pero un diseño geométrico para 100 km/h

En cuanto a las conexiones transversales se definen cada 300 – 400 m para tráfico peatonal y 1000 m para vehicular.

Las bahías se especifica que deben estar mínimo cada 1000 m

Para los nichos de seguridad, estos deben estar mínimo cada 200 m

Sobre el tema de otros dispositivos como detectores de monóxido de carbono, de humos, de incendios, monitores de tránsito y anemómetros, todos ellos conectados al Centro de Control se especifica que deben estar instalados pero no están relacionados con ningún tipo de riesgo por lo cual es un estándar.

Para las secciones transversales se plantean calzada de 11.50 metros y andenes de 0.60 metros para unidireccional (tres carriles) y calzada de 8.00 metros y andenes de 0.60 metros unidireccional o bidireccional (dos carriles).

En cuanto a normatividad para la parte preventiva, el Instituto Nacional de Vías – INVIAS mediante la ley 80 de 1993 establece que *“las Entidades Estatales deben hacer la revisión periódica de las obras contratadas para verificar las condiciones de la calidad ofrecidas por los contratistas”*

Para este contrato a la Universidad Nacional para elaborar los Manuales de Inspección de Obras, que a partir de octubre de 2006 se aplican a la infraestructura nacional, los manuales elaborados corresponden a:

- Manual para la Inspección visual de Estructuras de Drenaje.
- Manual para la Inspección visual de Pavimentos Flexibles.
- Manual para la Inspección visual de Pavimentos Rígidos.
- Manual para la Inspección visual de Puentes y Pontones.
- Manual para la Inspección visual de obras de Estabilización.

Como se puede observar, entre estos manuales no existe un Manual para la Inspección visual de Túneles y Obras Subterráneas.

2.3 Proyecciones

En Colombia hace unos diez años, la cantidad de túneles no sumaban entre ellos más de 10 kilómetros, en ese tiempo se inició la adjudicación de construcción de nuevas vías por el sistema de concesiones, esto impulsó la inversión de más recursos y así mismo el mejoramiento del diseño, lo que ha llevado a que en la actualidad hay aproximadamente 23 kilómetros de túneles construidos en el país.

Según los proyectos de construcción de nuevas vías, las cuales ya están en etapas de planeación o diseño, se estima que en no más de diez años se tengan construidos más de 63 kilómetros de túneles y alrededor de 120 kilómetros en el transcurso de veinte años, esto aumenta considerablemente la exposición al riesgo al que estarán sometidos los usuarios y es muy importante empezar a tomar medidas de prevención ahora y no esperar la ocurrencia de accidentes como ha pasado en otros países.

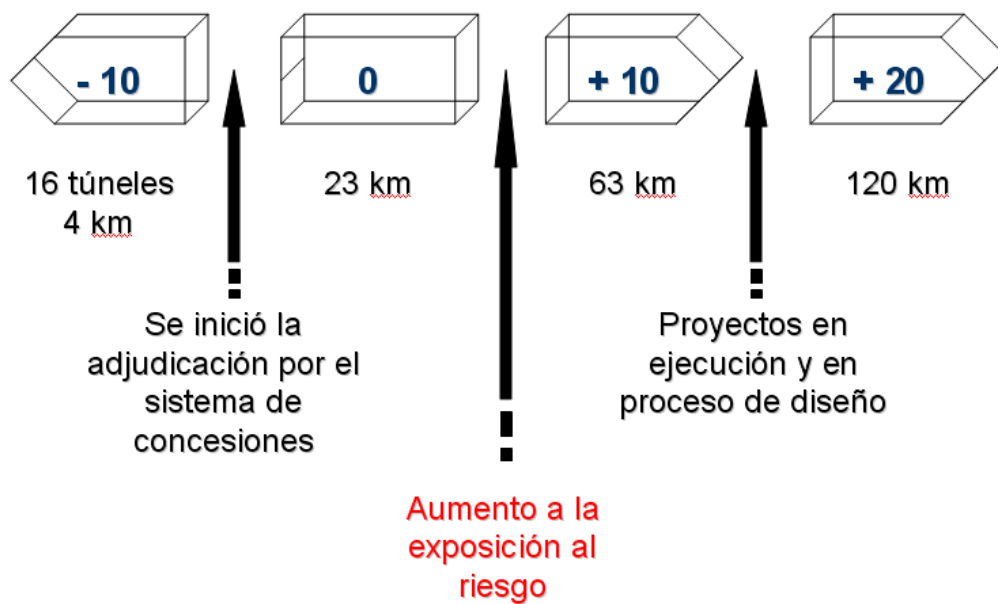


Figura 1. Proyecciones en longitud de túneles

CAPITULO 3**3 ENTORNO TEORICO**

En cuanto al tema de seguridad y riesgo, se plantea que los elementos que afectan directamente a la seguridad al interior de un túnel son los usuarios del túnel, la explotación del túnel, la infraestructura de seguridad del túnel y las condiciones de los vehículos.

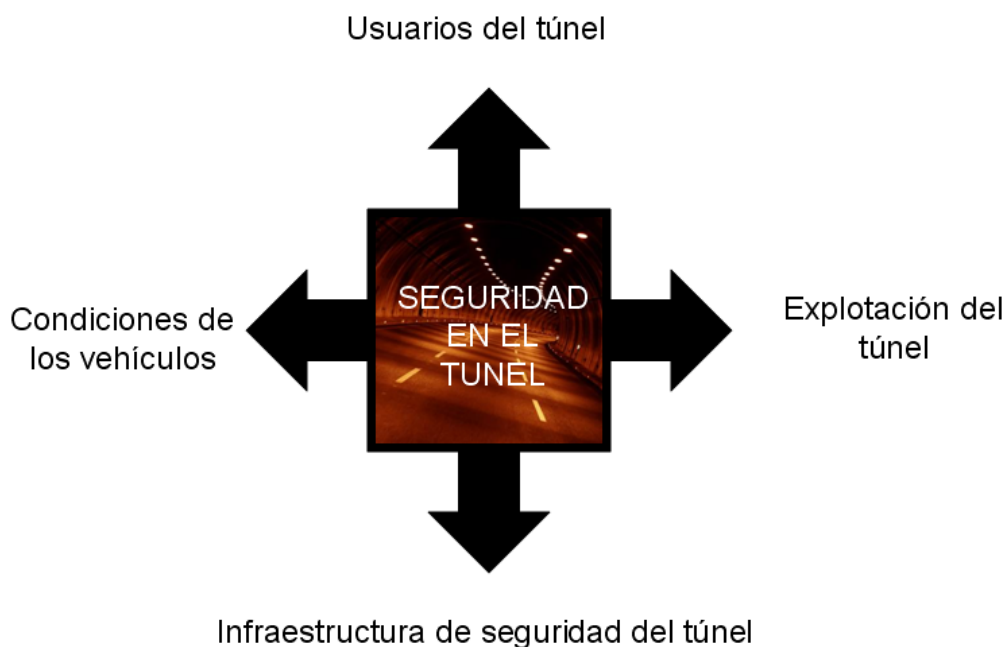


Figura 2. Elementos involucrados en la seguridad en el túnel

Los usuarios son el principal factor que influye en la seguridad en el túnel, ya que en la gran mayoría de los casos los accidentes son causados por el mal comportamiento en cuanto a cultura vial.

En cuanto a la explotación del túnel, se refiere a los administradores del túnel que lo están operando, sobre ellos recae la responsabilidad de monitorear lo que ocurre al interior del túnel y reaccionar de manera adecuada para prevenir accidentes.

La infraestructura de seguridad instalada afecta la seguridad en el túnel debido a que de esta depende que los usuarios puedan transitar bajo las mejores condiciones de seguridad que sean capaces de atender cualquier eventualidad y potencial accidente.

Por último, las condiciones de los vehículos afecta la seguridad en el túnel en la medida que su mantenimiento o condiciones de operación no sean las más adecuadas por lo que pueden atentar contra la seguridad al momento de causar un accidente.

Tomando esto en cuenta se puede ver que si se tiene todo controlado desde el punto de vista de la operación misma del túnel, el error humano esta presente en todo momento, ya que se presenta en el error de los conductores por no acatar las medidas de comportamiento propias de un túnel en cuanto a conducción, esta

presente en la explotación del túnel ya que personal poco calificado puede desatender las políticas de seguimiento y control al interior del túnel, en cuanto a la infraestructura de seguridad el error humano puede estar presente desde el mismo diseño hasta el mal mantenimiento que se le pueda dar y que las condiciones de operación no sean como estaban diseñadas desde un principio. Finalmente en las condiciones de los vehículos el error humano esta presente tanto desde el punto de vista del conductor que no tenga en la mejores condiciones de mantenimiento el vehículo hasta de los mismos operadores que permitan transitar vehículos con insuficiencia tecno-mecánicas.

3.1 Seguridad y diseño geométrico

Colombia por tener una topografía escarpada en la mayoría del territorio nacional en donde están ubicadas las principales ciudades presenta dificultades en la construcción de vías para atender la demanda. Estas vías existentes son en su gran mayoría obsoletas en cuanto a su diseño o no pueden atender eficientemente la demanda.

Muchas de las vías nacionales se construyeron en una época en la cual la demanda no era tan elevada y las características económicas del país no requerían de mayor cosa, por tal motivo el trazado de muchas carreteras no es el más óptimo y en su mayoría no pueden atender la demanda actual.

En la actualidad teniendo en cuenta el crecimiento económico del país, el aumento en el comercio internacional y otras variables socioeconómicas, la exigencia en el diseño vial también ha aumentado, generándose la necesidad de convertir muchas de las vías actuales de una calzada a doble calzada. Así mismo mejorar el alineamiento tanto horizontal como vertical para prestar un mejor servicio a los usuarios permitiendo mayores velocidades de desplazamiento, menor longitud de recorrido y finalmente menor tiempo de desplazamiento.

Para atender estas necesidades teniendo en cuenta que la topografía es la misma escarpada de siempre, se ve la necesidad de incluir túneles en el diseño geométrico y mejorar indiscutiblemente los tiempos de desplazamiento.

Para la incorporación de túneles en las nuevas vías proyectadas es importante tener en consideración los elementos de diseño geométrico relacionados a estas obras como son el diseño en planta, el diseño en perfil, las secciones transversales y finalmente, no menos importante, el diseño de los elementos de seguridad.

3.1.1 Diseño en planta

El portal debería ser visible por lo menos 15 segundos antes de llegar a él, esto depende de la velocidad de diseño de la carretera.

Se deben evitar las intersecciones en las proximidades del túnel y dentro de él, en caso de no ser posible se debe iluminar y señalizar adecuadamente para evitar que los usuarios hagan cambio de carril dentro del túnel. Si son fuera del túnel estas deberían ser por lo menos a 300 m de los portales.

En cuanto a la visibilidad en curvas, se debe establecer una distancia de seguridad suficiente y superior a la distancia de parada, esto depende de la relación entre la velocidad del proyecto, las pendientes y el menor radio de curvatura.

3.1.2 Diseño en perfil

Las pendientes verticales deberían estar entre 0,2% y 0,4% para desalojar adecuadamente el agua que se infiltra al interior del túnel y evitar superficies mojadas que reducen las distancias de parada y pierden adherencia. Se deben evitar secciones cóncavas para evitar acumulación de agua.

Las pendientes deben en todo caso minimizarse para así evitar que los vehículos produzcan más gases contaminantes y los vehículos pesados no tengan problemas o queden inmobilizados y provoque riesgos potenciales de accidente.

3.1.3 Secciones transversales

Los anchos de carril deberían ser de 3,5 m en general y el número de carriles preferiblemente el mismo que la carretera a cielo abierto con la cual conecte el túnel.

Si son túneles bidireccionales deberían tener máximo tres carriles, en caso de ser doble calzada con dos carriles cada una es preferible tener túneles separados.

Se debe tener en cuenta el gálibo dependiendo de la altura máxima permitida según la ley y adicionar unos 10 cm para posibles refuerzos en el futuro o en caso de instalación de ventilación transversal.

En cuanto a las aceras, éstas deberían ser de 1,5 m como mínimo y estar protegidas preferiblemente con barreras físicas.

Debido a que al momento de diseñar no se conocen las dimensiones exactas de los equipos es recomendable diseñar de manera amplia la sección transversal. Es mejor adaptar la sección a las instalaciones y no seleccionar las instalaciones dependiendo del espacio que quede disponible para ello.

3.1.4 Elementos de seguridad

Aceras: Si no se diseñan para paso de peatones si se debe diseñar por lo menos una sección de 75 cm para el tránsito de peatones en caso de emergencia.

Escape para peatones: En caso de túneles separados unidireccionales se recomienda diseñar galería de comunicación para peatones entre ambos túneles por lo menos cada 300-400 m en túneles bidireccionales se realizaría la evacuación por la aceras del punto anterior.

Escape para vehículos: Al igual que para peatones se deberían tener comunicación para vehículos cada 800-1000 m en túneles unidireccionales y estar ubicados preferiblemente en los sitios de sobre ancho del túnel.

Parqueo de vehículos: Preferiblemente deben coincidir estos sobre anchos con las conexiones de escape para vehículos y así facilitar la maniobra de estos en caso de necesitar evacuar por el otro tubo.

Nichos de seguridad: Estos deberían estar por lo menos cada 100 m y estar equipados para proteger a las personas en caso de un incendio.

Iluminación: Esta debería ser obligatoria sin importar el nivel de tráfico ni la longitud del túnel. Siempre se debe tener en cuenta las situaciones más desfavorables y garantizar una visibilidad total.

En la entrada de los túneles se presenta el fenómeno de llamado “agujero negro” cuando la luminosidad del exterior es mayor y la visión del conductor no es la adecuada al momento de entrar al túnel. A medida que llega más adentro del túnel la iluminación puede ir disminuyendo hasta llegar a la óptima y permitirle al conductor adaptar su visión.

La iluminación se puede dividir en varios tramos en los cuales se puede instalar diferente intensidad de luz.

Ventilación: Dependiendo de las características del túnel como geometría, longitud, tráfico, se pueden emplear diferentes tipos de ventilación, entre ellas la natural, la longitudinal, la transversal y la semi-transversal.

Además de la ventilación y de la iluminación, en un túnel de carretera es muy importante la instalación de una serie de equipamientos para la explotación del mismo: fundamentalmente se trata de señalización para el tráfico y de instalaciones de seguridad para el caso de que ocurra un accidente o un incendio.

La adopción de unos equipos u otros depende, básicamente, del nivel de tráfico que soporte el túnel: cuanto mayor sea éste, mayor será la probabilidad de que puedan ocurrir incidentes en su interior y más potentes tendrán que ser las instalaciones de explotación y seguridad.

Por el contrario, en túneles cortos de carreteras secundarias, lo habitual es que no se disponga de ninguna instalación de este tipo, ya que su coste de implantación y, sobre todo de mantenimiento, no guarda relación con el tráfico que circula por el túnel.

Aforos de tráfico: Resulta conveniente instalar unos sistemas para aforar el tráfico que accede al túnel tanto en número de vehículos como en velocidad de los mismos. Esto permite, prevenir, en tiempo real, la saturación del tráfico dentro del túnel y también estudiar, pensando en un futuro, la adopción de nuevas instalaciones (estudio estadístico). También se suelen disponer unos controladores de gálibo para detectar vehículos demasiado altos e impedir su acceso al túnel.

Circuito cerrado de televisión: Permite, desde el puesto de control, observar directamente cómo transcurre la circulación de los vehículos y detectar rápidamente cualquier incidente. Las cámaras se sitúan en la zona alta de la sección, fuera del campo de visión de los conductores, con una frecuencia

aproximada de una cámara cada 200 metros. Las zonas potencialmente conflictivas deberán llevar una densidad mayor de vigilancia.

Postes SOS y pulsadores de alarma: Se deben colocar en el lado derecho de la circulación de los vehículos en túneles unidireccionales, o en ambos lados para túneles bidireccionales. Su situación debe estar convenientemente señalizada con paneles reflectantes. Normalmente constan de un pulsador para avisar al puesto de mando y de un intercomunicador.

Sistemas de detección automática de incendios: Permiten detectar de forma automática la formación de un incendio, bien sea por un aumento de la temperatura, bien por un incremento súbito en el nivel de humos. Actualmente no se utilizan este tipo de sistemas debido a su baja fiabilidad, y porque otras instalaciones del túnel proporcionan un medio más fiable de detección: en concreto los postes SOS y el circuito cerrado de televisión.

Sistemas de extinción de incendios: Habitualmente se sitúan extintores junto a los postes SOS, de manera que los usuarios puedan utilizarlos, a la vez que dan la alarma sobre la aparición de un incendio. Otro sistema es la colocación de hidrantes cada 200 metros por término medio, con la correspondiente instalación de suministro de agua a presión, o bien la instalación de columna seca en el túnel.

Galerías de escape: Cuando el incendio es de proporciones medias o incluso pequeñas, se ha comprobado, con la experiencia de varios túneles donde ha ocurrido este tipo de accidente, que la extinción del fuego es prácticamente imposible por las siguientes razones: acumulación de humos, dificultad en acceder al punto concreto donde está el fuego, no disponibilidad de espacio para maniobrar, etc. Hoy en día la tendencia en los túneles importantes se dirige más hacia la implantación de un sistema de escape, que hacia la instalación de un sistema de extinción. En los túneles dobles se deben disponer galerías de conexión para peatones y para vehículos, convenientemente señalizadas, y en túneles simples, se ha llegado incluso a construir una galería de emergencia paralela al túnel principal en toda su longitud, conectada con éste cada cierto intervalo. Se admite generalmente que la separación más conveniente entre galerías es de 300 metros para las peatonales y 900 metros para las de vehículos.

Radiocomunicación: Colocando un cable antena a lo largo del túnel, es posible la comunicación por radio entre el centro de control y el personal de mantenimiento, que pudiera estar realizando labores dentro del túnel. En túneles urbanos largos, en ocasiones se dispone un sistema de radio para los usuarios, de forma que éstos puedan sintonizar desde el receptor de su vehículo algunas emisoras comerciales y también mensajes de emergencia emitidos desde el centro de control.

Estaciones de bombeo: Cuando el túnel presenta un punto bajo en su trazado, es obligada la instalación de una estación de bombeo. Generalmente se disponen bombas de accionado automático. Lo habitual es disponer en la estación de una unidad más de bomba de las necesarias, con objeto de poder utilizarse en caso de avería.

Jalonamiento: Como ayuda a la iluminación del túnel, suele ser conveniente la disposición de hitos reflectantes en ambos laterales del túnel. Estos permiten guiar a los vehículos incluso en el caso de un fallo en la iluminación.

Como se puede ver son muchas las variables que afectan la seguridad en los túneles, por tal motivo es importante mantener un adecuado control de todos estos sistemas para estar preparados en cualquier momento para afrontar un incidente dentro del túnel.

3.2 Riesgo y seguridad vial

Cualquier medio de transporte implica un riesgo de sufrir un accidente, en el caso terrestre por ser el medio de transporte más usado, las cifras de accidentes siempre serán mayores que otros medios de transporte como el aéreo, marítimo o fluvial.

Para la construcción de cualquier carretera nacional se deben cumplir ciertas normas en cuanto a señalización y dispositivos para la prevención de accidentes, como son las barreras metálicas, señales de tránsito preventivas y reglamentarias, señalización horizontal mediante la demarcación de carriles y líneas que indican sectores de la vía en los cuales no es seguro adelantar otros vehículos, etc.

En el caso de los túneles también hay ciertas normas en cuanto a los sistemas de seguridad mínimos que se deben implementar, además de los mismos de una carretera como señalización horizontal y vertical, hay otros propios de los túneles como es la iluminación, la ventilación, las salidas de emergencia, etc.

Aunque estas medidas aportan para el mejoramiento de la seguridad vial, hoy en día en el país no se tiene conciencia frente al riesgo que implica transitar dentro de un túnel y por lo tanto no se detectan las necesidades de disminuir el riesgo implícito que existe.

En otros países, en especial de la Unión Europea, tomaron conciencia sobre la importancia de valorar el riesgo luego de los más recientes accidentes ocurridos en el Túnel de Mont-Blanc que comunica Italia con Francia en el cual se perdieron 39 vidas además de las grandes pérdidas económicas en el año 1999, otro evento importante fue el accidente en el túnel de San Gotardo en Suiza en el año 2002 en el cual fallecieron 11 personas.

En los últimos 20 años, aproximadamente han muerto en el mundo un unas 160 personas involucradas en un accidente dentro de un túnel, un gran porcentaje de estas, debido al incendio en el túnel de Mont-Blanc.

A pesar que este fue un hecho catastrófico, de este se pudieron obtener valiosas lecciones aprendidas, las cuales se han tenido en cuenta en recientes investigaciones sobre la estimación del riesgo sobre todo en Europa en donde los usuarios han demandado mayor seguridad y han llevado al los países europeos a invertir más en investigaciones y establecer nuevas normativas para el tránsito en los túneles.

El concepto del riesgo al igual que el de seguridad en un túnel se debe atender en todas las fases, se debe estudiar desde la etapa de diseño, durante la etapa de construcción y finalmente durante toda la etapa de operación.

Actualmente hay muchas investigaciones sobre el riesgo en túneles y sobre criterios para establecer valores admisibles, en el documento “Análisis y evaluación de riesgo de túneles carreteros en explotación” del los ingenieros españoles Germán Martínez Montes, José del Cerro Grau, Javier Alegre Bayo y Javier Ordóñez García se presenta una clasificación del riesgo de la siguiente manera:

Riesgo Individual (R_{ind}): Es el que afecta a una persona considerada de forma aislada y corresponde a unas determinadas y específicas condiciones de explotación de la infraestructura.

Riesgo esperable (R_{exp}): Se expresa en términos de número de muertes por túnel y año.

Riesgo Social (R_{soc}): Corresponde al número de individuos afectados por el incidente y/o accidente. Normalmente se expresa en términos de frecuencia acumulada $F = P(R_m > N)$ de que el número de muertes exceda un número N por unidad de túnel o kilómetro de túnel a lo largo del año (esta función es conocida como Curva F-N)

Para el cálculo del Riesgo Individual se utiliza la siguiente expresión:

$$R_{ind} < \beta * 10^{-4} \text{ (por año)}$$

En donde β depende del tipo de usuario siendo $\beta = 1$ para empleados, $\beta = 0.1$ para pasajeros o usuarios y $\beta = 0.01$ para las personas que viven o realizan alguna actividad en los alrededores del túnel.

En el caso del Riesgo Social se calcula mediante la siguiente expresión:

$$F < F_t = A \cdot N^{-k}$$

En donde los parámetros A y k definen los límites de la siguiente manera:

1. Límite más alto severo; A=0.1 y k=1
2. Límite más alto moderado; A=0.01 y k=1
3. Nivel Medio; A=0.1 y k=2
4. Límite más bajo moderado; A=0.01 y k=2
5. Límite más bajo severo; A=0.0001 y k=1

El riesgo no admisible y que conlleva a la reconsideración total de un túnel es el que queda por encima del límite superior ya que esto refleja que la probabilidad de una catástrofe es inminente, si está por debajo del límite inferior se puede decir que el riesgo involucrado al túnel es tolerable por lo tanto no hay necesidad de aplicar ninguna medida, finalmente si se encuentra en el medio de los dos límites, se deben aplicar medidas de seguridad adicionales para mantener el riesgo tan bajo como sea posible.

Para evaluar el riesgo en los túneles carreteros, las investigaciones han coincidido en la siguiente metodología:

Definir el sistema: Se deben definir las características geométricas del túnel, la tipología e intensidad del tráfico, las medidas de seguridad existentes, salidas de emergencia, planes de evacuación, etc.

Identificar posibles accidentes o incidentes: Registrar todos los accidentes de tránsito, incendios, derrames de sustancias peligrosas, etc.

Analizar consecuencias: Controlar el número de heridos y muertes, intoxicaciones, daños estructurales, etc.

Analizar probabilidades de ocurrencia: Definir el método para llevar estadísticas de todo lo ocurrido en el túnel.

Presentar el riesgo: Documentar según el riesgo el número de víctimas anuales estimadas, daños anuales esperados, etc.

Evaluación del riesgo: Evaluar los efectos de las medidas de control, de los escenarios de accidentes, de las medidas de emergencia, etc.

Estos modelos pueden variar según las características socio-económicas en donde se apliquen, pero lo que se está incluyendo en la gran mayoría de modelos es una fase de inspección y auditoría, la cual evalúa los túneles en operación anualmente para garantizar que las características de seguridad y de riesgo

propias de cada túnel se mantengan por encima de los límites mínimos racionales para garantizar la seguridad de los usuarios en caso de un accidente al interior de este.

La evaluación del riesgo en los túneles se puede realizar de manera probabilística y de manera determinista.

3.2.1 Método determinista

Este método considera la severidad y la consecuencia del riesgo, teniendo en cuenta casi siempre el peor de los casos, en este método se utilizan paquetes computacionales como SIMULEX o SOLVENT+TunnEVAC entre muchos más existentes en el mercado para crear modelos de efectos físicos, modelos de daños y modelos de evacuación.

La desventaja de estos modelos deterministas es que no se tiene en cuenta la probabilidad de ocurrencia o frecuencia de los eventos lo que lleva a resultados bastante conservadores y por lo tanto costosos.

3.2.2 Método probabilístico

Respecto al método determinista, este método aporta un valor adicional ya que tiene en cuenta tanto la consecuencia del evento como su probabilidad de ocurrencia. Esto optimiza las medidas de seguridad implementadas en el túnel así como los sistemas de gestión.

Para el caso de países en desarrollo este puede ser el mejor método para mantener una buena relación costo-beneficio de las instalaciones de seguridad requeridas en los túneles.

A continuación se muestran los métodos aplicados en algunos países con alta experiencia en túneles:

Canadá: Utilizan un análisis cualitativo y un análisis determinista.

Francia: Solo utilizan análisis cualitativo.

Gran Bretaña: Utilizan un análisis cualitativo y un análisis determinista de escenarios.

Dinamarca: Utilizan un análisis cualitativo y un análisis determinista de escenarios.

Suecia: Utilizan un análisis cualitativo y un análisis determinista de escenarios.

EEUU: Utilizan un análisis cualitativo y un análisis determinista de escenarios.

España: Utilizan un análisis cualitativo y un análisis determinista de escenarios.

3.3 Accidentalidad

En la medida que se incrementan las especificaciones de una vía se incrementa la probabilidad que un accidente tenga mayor impacto, pero por lo general las medidas para atender estos accidentes en las carreteras es el mismo.

Para el caso de un túnel, por sus características cerradas y de difícil acceso en caso de un accidente, este puede llegar a ser más catastrófico, el impacto de este genera reacciones en cadena que no se producen en una carretera a cielo abierto, por ejemplo en caso de un incendio provocado por un choque o generado por otro motivo, el efecto del fuego dentro del túnel genera condiciones mucho más adversas para la seguridad de todos los vehículos que se encuentren dentro del túnel provocando más personas afectadas por el hecho.

Como se ha comprobado con datos históricos, los incendios dentro de los túneles son el riesgo que más ha cobrado vidas entre los accidentes ocurridos en estos, los incendios pueden ser causados por transporte de materiales peligrosos, choques entre vehículos o recalentamiento de los motores de los vehículos pesados en especial.

Tabla 3.1 Mayores incendios en túneles carreteros

AÑO	NOMBRE	PAÍS	LONGITUD (m)	MUERTES
1978	Velsen	Países Bajos	770	55
1979	Nihonzaka	Japón	2.000	9
1982	Caldecott	USA	1.000	7
1983	Pecorile	Italia	600	8
1989	Brenner	Austria	412	2
1995	Pfänder	Austria	6.800	3
1996	Isola delle Femmine	Italia	148	5
1999	Mont-Blanc	Francia-Italia	11.600	39
1999	Tauern	Austria	6.000	12
2001	Gleinalm	Austria	8.800	5
2002	San Gotardo	Suiza	12.600	11
2005	Frejus	Francia-Italia	12.900	2

Es importante tomar conciencia de estas estadísticas, hasta el momento la probabilidad de Colombia de estar en una de estas tablas es muy baja, pero en la medida que se construyan nuevas vías con túneles involucrados como esta ocurriendo en la actualidad y en proyectos a futuro, la probabilidad del país de hacer parte de estas listas aumenta considerablemente, es por esto la importancia de iniciar con medidas preventivas y aplicar las lecciones aprendidas de otros países que han tenido que sufrir estas terribles consecuencias.

En el accidente del túnel de Mont Blanc el cual es bidireccional ocurrido el 24 de marzo de 1999 las causas fueron el humo de un camión que al detenerse inicio el fuego, el transporte de materiales peligrosos como mantequilla que en su momento no era considerada como tal, la larga cola de vehículos, la dispersión incorrecta del humo y altas temperaturas y errores humanos en la gestión de emergencias. Dejó un saldo de 39 muertos.



Figura 3. Incendio en el túnel de Mont Blanc

Imagen tomada de: <http://www.phys.tue.nl/>

Las causas del accidente de Tauern también bidireccional ocurrido el 2 de mayo de 1999 fueron las colas generadas por trabajos en el túnel, un camión cargado de pintura que colisiona y la no activación de la luz roja a la entrada para evitar el ingreso de más vehículos al túnel. Dejó un saldo de 12 muertos.



Figura 4. Incendio en el túnel de Tauern

Imagen tomada de: <http://www.landroverclub.net/>

Para el túnel de St. Gotthard también bidireccional ocurrido el 24 de octubre de 2001 las causas fueron la colisión de 2 vehículos pesados, la larga cola de vehículos y que los conductores no abandonaron sus vehículos. Dejó un saldo de 11 muertos.



Figura 5. Incendio en el túnel de St. Gotthard

Imagen tomada de: <http://news.bbc.co.uk/>

3.4 Atención de eventos

En caso de un incidente, este se debe atender de la mejor forma posible y lo más rápido posible, de esto depende el éxito de prevenir los accidentes, ya en el caso de un accidente generado, el tiempo de respuesta y la calidad de la atención pueden hacer que el accidente no provoque tantas consecuencias negativas.

En el caso de un túnel, se debe contar con todos los sistemas necesarios y acciones establecidas y preparadas para atender cualquier caso de incidente o accidente, debido al tipo de construcción, subterránea, el acceso al interior del túnel generalmente solo es por dos puntos, los portales del túnel, por tal motivo se debe prevenir el acceso de más vehículos diferentes a los de atención de emergencias para así evitar que sea mayor el número de afectados y permitir una atención más pronta de la situación.

CAPITULO 4

4 METODOLOGIA

De las diferentes metodologías utilizadas para evaluar la seguridad en túneles se destacan dos que tienen en cuenta para la valoración el riesgo al que está expuesto el usuario al momento de transitar por el túnel, la utilizada en Austria y la utilizada en los países de la Unión Europea.

En los países que se evalúa la seguridad en los túneles se enfocan mas en la evaluación periódica de los diferentes sistemas que componen el túnel, como son la parte civil y estructuras, los sistemas eléctricos, los sistemas mecánicos y otros sistemas necesarios para la operación del túnel.

La evaluación se realiza mediante formatos de chequeo el los cuales se toma una lista de control sobre el estado del túnel, por ejemplo en la metodología utilizada en Estados Unidos, en túneles nuevos la parte civil y estructural se evalúa cada cinco años y en túneles antiguos cada dos años o menos según las necesidades, los sistemas eléctricos, mecánicos y otros como de comunicaciones y control tienen programas de revisión diaria, semanal, mensual y anual según el caso.

Es por eso que para este estudio se explican más en detalle la metodología austriaca y la europea ya que son las más integrales y no están enfocadas desde el punto de vista de mantenimiento de los sistemas del túnel, sino que además contemplan los posibles cambios que puede tener el túnel en cuanto al riesgo al que están expuestos los usuarios, el cual puede ser muy diferente al riesgo con el cual fue contemplado el diseño por cambios en volumen de vehículos, transporte de materiales peligrosos, aumento en el porcentaje de vehículos pesados, etc.

4.1 Norma austriaca

Según esta metodología se debe determinar el **Potencial de Riesgo** el cual se mide según la intensidad del tráfico, sentido del tráfico (bidireccional / unidireccional), existencia de conexiones al interior o cercano a los portales y el paso de materias peligrosas y el **Coefficiente de Seguridad** según la geometría de la sección, las vías de escape, las características de la ventilación, la existencia de Centro de Control permanente, el control de cámaras de televisión, las alarmas de incendio y humo, etc. y finalmente obtener el **Coefficiente de Seguridad Global del Túnel**

Mediante esta metodología se puede clasificar un túnel en su etapa de diseño o en túneles construidos y requiere de una alta experiencia en túneles para establecer sus valoraciones.

4.1.1 Potencial de riesgo

El cálculo del potencial de riesgo se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$G \text{ (potencial de riesgo)} = MSV * g_R * g_K * g_S$$

En donde:

MSV = volumen horario determinante (hora 30 en todo el año; camiones con factor 2,5)

g_R = factor direccionalidad: 1 (unidireccional), 1,5 (unidireccional sin separación), 2 (bidireccional)

g_K = factor de puntos de conflicto: entre 1 y 2, según el tipo de conflicto posible

g_S = factor de carga peligrosa; entre 1 y 2, según sean < 10 ó > 50 vehículos por día

Según el valor de G (potencial de riesgo) se le asigna una categoría de riesgo según la siguiente clasificación:

- Túneles con peligro potencial menor de 1000, túnel con poco tráfico. **I**
- 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**

- Túneles con peligro potencial entre 2501 y 10000, con tráfico pesado y riesgos adicionales. **III**
- 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**

4.1.2 Coeficiente de seguridad

Para el cálculo del coeficiente de seguridad se utiliza la siguiente ecuación:

$$S \text{ (coeficiente de seguridad)} = SR * SW * SB$$

En donde:

$$SR \text{ (extracción humos)} = R_Q + R_A$$

R_Q = comp. sección transv. ($H/5$; H = altura libre túnel)

R_A = comp. extracción ($R_{AP} = 800/a$; a = dist. ptos extracción; Vent. Long) y ($R_{AV} = 1+V/80$; V = vol. extracc. m³/s; Vent. Transv)

$$SW \text{ (distancia escape)} = W_F + W_E$$

W_F comp. escape. ($W_F=2 - F$; F = distancia escape en km)

W_E comp. rescate ($W_E = 1,5 - 0,1 * L$; L = distancia rescate dentro túnel)

$$SB \text{ (operación)} = 1 + \sum B_i$$

B_i componentes de operación según la siguiente clasificación:

Componente B_i	Central control = 2
	Sitio supervisión = 0,5
	Transmisión Video = 0,5
	Reconoc. Autom. Congestión = 0,5
	Reconoc. Autom. Carga Peligr= 1
	Guía Carga Peligrosa = 0,5
	Brig. c/Incendio en c/portal = 1
	Detecc. Autom. Incendio = 1
	Reconoc. fuego lento = 0,5
	Radio c/acceso a usuarios = 0,5

Está definido el requerimiento de seguridad según la categoría de riesgo en la cual está el túnel de la siguiente manera:

Categoría de Riesgo I: $S > 1$

Categoría de Riesgo II: $S > 5$

Categoría de Riesgo III: $S > 10$

Categoría de Riesgo IV: $S > 15$

4.1.3 Coeficiente de seguridad global

El Coeficiente de Seguridad Global del túnel es simplemente el cociente entre el valor del Coeficiente de Seguridad (S) y el Coeficiente de Seguridad Mínimo

Requerido según el Peligro Potencial del Túnel “S= S(G)”. Por lo tanto todos los Coeficientes de Seguridad global deben ser mayores a uno para que un túnel se considere seguro.

A continuación se presenta a manera de ejemplo lo presentado por Martin Böfer, de Geoconsult Latinoamérica (Chile) Ltda. en el Seminario Internacional OPERACIÓN Y SEGURIDAD EN TÚNELES CARRETEROS NUEVOS Y EXISTENTES celebrado del 29 al 31 de marzo de 2006 en San Juan – Argentina sobre los diseños del Túnel de la Línea aplicando esta metodología.

Se tomaron los diseños para el túnel bidireccional y los diseños contemplando dos tubos unidireccionales relacionados a continuación y tomados de la misma presentación:

Túnel Vial Bidireccional con túnel rescate – Alternativa A

- Túnel de 1 tubo de tránsito bidireccional, con un túnel de rescate; L = 8,6 km
- Sección transversal excavación 90/112 m²
- Ancho calzada 8,0 m
- Pendiente long. 1,1%
- Revestimiento de hormigón colado con membrana de impermeabilización

- Instalaciones de seguridad (bahías de estacionamiento c/1000m, teléfonos de emergencia, hidrantes, CCTV, etc.)
- Ventilación transversal:
 - ductos ingreso/extracción: 11,3m²
 - 2 chimeneas para ventilación 8,5m dia. profundidad 450-500 m
 - 2 cavernas de ventilación con 4 ventiladores cada una
 - 6 secciones de ventilación longitud 1,4 – 1,7 km
 - Aire fresco 170m³/s.km
 - Potencia instalada 5,5 MWatt

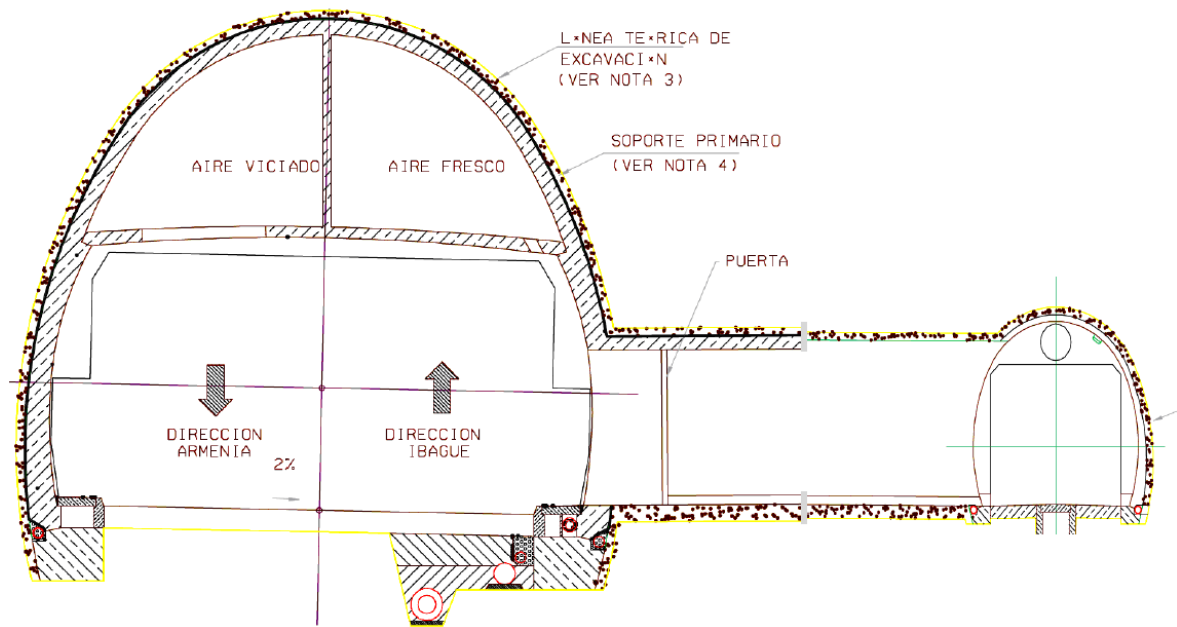


Figura 6. Sección Túnel de La Línea – Alternativa A

Túnel Vial Unidireccional – Alternativa B

- 2 Túneles de tránsito unidireccional, L = 8,6 km, con galerías de conexión peatonales cada 500 m
- Sección transversal excavación 90/110 m²
- Ancho calzada 8,0 m
- Pendiente long. 1,1%
- Revestimiento de hormigón colado con membrana de impermeabilización
- Instalaciones de seguridad (bahías de estacionamiento y giro, 2 galerías de conexión vehiculares, teléfonos de emergencia, hidrantes, CCTV, etc.)
- Ventilación longitudinal:
 - Área libre p/ventilación 56,5 m²
 - 2 chimeneas para ventilación 8,5m dia. profundidad 450-500 m
 - 2 cavernas de ventilación con 2 ventiladores cada una
 - 3 secciones ventilación L=2,8–3km 18 aceleradores dia 1,25 m
 - Aire fresco 100/70 m³/s.km
 - Potencia instalada 3,4 MWatt

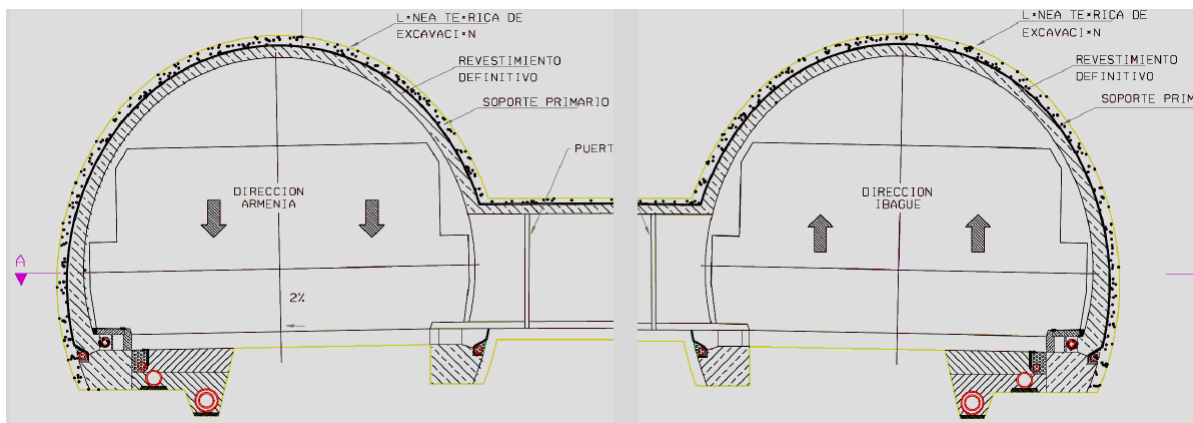


Figura 7. Sección Túnel de La Línea – Alternativa A

A continuación se presentan los resultados obtenidos luego de aplicar la metodología Austriaca RVS 9.232

Tabla 4.1. Coeficiente de seguridad global Túnel de La Línea

Escenario	MSV	g_r	g_k	g_G	G	Categoría Riesgo
Mejor	2.350 (actual)	1 (unidir.)	1	1	2.350	II
Peor	2.500 (15 años)	2 (bidir.)	1	2	10.000	IV
Escenario	SR	SW	SB	S	Cond.	Cumple
Unidirecc.	1,4 + 0,53	1,5 + 1,45	5	14	(S > 15)	No
Bidirecc.	1 + 2	1,5 + 1,45	5	44	(S > 15)	Si

4.2 Metodología europea

Mediante esta metodología se establece un **Potencial de Seguridad** y un **Potencial de Riesgo** con los cuales se puede valorar el estado de un túnel según sus instalaciones y operación.

Un grupo de expertos inspecciona de manera anual alrededor de 30 túneles europeos en un poco menos de un mes, a los cuales se les calcula su potencial de seguridad, su potencial de riesgo y se le da una calificación global la cual determina que tan seguro es transitar por ese túnel.

4.2.1 Potencial de seguridad

Para evaluar el potencia de seguridad se toma una lista de control de aspectos propios del túnel, esta lista de control es actualizada cada año de manos de expertos en seguridad en túneles, esta lista se rige en todas las normas existentes en países como Alemania, Austria, Suiza, Francia y Gran Bretaña. DE igual manera tiene en cuenta la Directiva UE sobre los mínimos requisitos de seguridad en túneles de la red transeuropea de túneles.

La última lista de control utilizada en el 2008 está compuesta de ocho capítulos, cada uno de ellos con menor o mayor importancia teniendo cada uno de ellos un peso específico para la ponderación del puntaje final, los cuales a su vez están divididos en subcapítulos de la siguiente manera:

Sistema del túnel: Contempla el número de tubos, la luminosidad de las paredes del túnel, el ancho y disposición de los carriles, la geometría y disposición de arcones / zonas de parada de emergencia y aceras de escape, las medidas

complementarias como diseño de la boca del túnel, pavimento de la calzada y trazado del túnel. Su peso es de 14 %.

Iluminación y suministro energético: Contempla la iluminación continua, así como adaptación y el suministro energético y de emergencia. Su peso es de 7 %.

Tráfico y control del tráfico: Contempla los atascos en el túnel, las restricciones de la velocidad, las restricción o notificación de transportes de materias peligrosas, las medidas para cerrar el túnel como semáforos, barreras y tableros informativos, las señales de tráfico e informativas, la influencia en el tráfico y dirección del tráfico como semáforos, señales de tráfico variables e indicaciones, los dispositivos de guía visual, la vídeo vigilancia, el registro automático de tráfico, así como registro de atascos e incidencias especiales, el puesto de mando central del túnel, las medidas complementarias: por ejemplo, para el tráfico de camiones, así como detección automática de transportes de materias peligrosas, controles de gálibo, control de la distancia de seguridad entre vehículos y velocidad de circulación. Su peso es de 17 %.

Comunicación: Contempla el radio tráfico, los altavoces, los teléfonos de emergencia: distancia, identificación, protección contra el ruido y actuaciones y el radio túnel. Su peso es de 11 %.

Vías de escape y salvamento: Contempla la iluminación de emergencia e identificación de las vías de escape en el túnel y la distancia entre las salidas de emergencia y su identificación, la prevención de humos en las vías de escape externas y puertas ignífugas, el acceso desde el exterior y posibilidad de acceso para las fuerzas de salvamento, las medidas complementarias: iluminación especial de las salidas de emergencia, rótulos indicadores de comportamiento, salidas de emergencia sin obstáculos. Su peso es de 14 %.

Protección contra incendio: Contempla la protección contra incendio en la construcción, la resistencia al fuego de los cables, los sistema para el desvío rápido de líquidos combustibles y tóxicos, los sistemas de aviso de incendio: automáticos / manuales, los dispositivos de extinción: colocación, identificación, actuaciones, la formación, equipamiento y tiempo de llegada del cuerpo de bomberos y el rendimiento de los sistemas automáticos de extinción. Su peso es de 18 %.

Ventilación: Contempla el servicio de regulación para neutralizar las emisiones de los vehículos, el control de la corriente longitudinal en el túnel e inclusión en el control de la ventilación, la resistencia térmica de las instalaciones, los programas especiales para casos de incendio, la demostración de la capacidad de funcionamiento mediante ensayos de incendio y mediciones geotécnicas, la ventilación longitudinal: velocidad de la corriente de aire, longitud de los tramos de ventilación, corriente de aire en la dirección de marcha, capacidad de inversión de

los ventiladores, la ventilación transversal y semitransversal: flujo volumétrico de aspiración, incidencia de la corriente longitudinal, apertura / cierre de las instalaciones de aspiración, regulables. Su peso es de 11 %

Gestión de urgencias: Contempla la formación regular del personal del mando centralizado del túnel, el plan de mantenimiento, los planes de alarma y de intervención, el enlace automático de los sistemas de urgencia, las medidas en caso de accidente e incendio, los ejercicios regulares para casos de urgencia. Su peso es de 8 %.

Para calcular el potencial de riesgo se deben analizar todos los aspectos descritos anteriormente, aclarando que cada uno de sus subcapítulos puede estar dividido llegando finalmente a tener mas de 200 criterios de evaluación. Cada criterio se evalúa dentro de cada capítulo dando un puntaje de 100 a las condiciones óptimas y de 0 a las más desfavorables y ponderando el resultado según el peso del capítulo al que corresponde.

4.2.2 Potencial de riesgo

El potencial de riesgo define la probabilidad de que se produzcan urgencias y la magnitud de estas, este esta basado en una serie de consideraciones expuestas a continuación:

Entre mas largo se aun túnel van a haber mas usuarios dentro e el. Sin embargo la probabilidad de accidentes se reduce a medida que un túnel es mas largo.

Entre más vehículos de carga transiten por el túnel, mayor será la probabilidad de ocurrencia de incendios de grandes magnitudes.

El transporte de materiales peligrosos por el túnel aumenta la probabilidad de una catástrofe debido a que las altas temperaturas y la creación de una atmosfera tóxica y así mismo se aumenta la probabilidad de un incendio de grandes proporciones.

El tipo de túnel, bidireccional o unidireccional afecta la elección adecuada de un sistema de ventilación y de las vías de salvamento y escape. En caso de un incendio en un túnel de un solo sentido el sistema de ventilación longitudinal puede evacuar el humo en el sentido de circulación permitiendo a los usuarios que están detrás del foco evacuar sin riesgo alguno, y los vehículos que se encuentran adelante del foco, pueden circular en el mismo sentido de la evacuación del humo. En caso de los túneles bidireccionales, se van a encontrar vehículos en ambos sentidos hacia el foco del incendio lo que no facilita la evacuación adecuada, por lo cual se presentan mayores exigencias al momento de diseñar el sistema de ventilación y de las vías de escape, además se presentan riesgos adicionales de un choque frontal entre dos vehículos.

Por último la pendiente longitudinal afecta en cuanto a la propagación de humos, ya que una pendiente longitudinal mayor hace que el humo se extienda más rápido por todas las zonas, además una pendiente longitudinal alta hace que los motores, en especial de vehículos pesados lleguen a tener recalentamiento al igual que en los frenos.

Con estas consideraciones presentes, se evalúa el potencial de riesgo tanto de manera cuantitativa como cualitativamente. Estas evaluaciones están basadas en la experiencia y anteriores estudios sobre túneles y en investigaciones contratadas por los administradores de los túneles y se consideran los siguientes parámetros a los cuales se les define un puntaje:

La longitud del túnel: Se le asigna un puntaje entre 1 y 6 puntos.

La intensidad del tráfico el cual dependerá del tipo de circulación, ya sea en sentido único o doble: Se le asigna un puntaje entre 1 y 10 puntos.

El número de vehículos pesados: Se le asigna un puntaje entre 1 y 8 puntos.

El transporte de materias peligrosas: Se le asigna un puntaje entre 1 y 5 puntos.

El volumen de tráfico por día y por carril: Se le asigna un puntaje entre 1 y 5 puntos.

La pendiente longitudinal máxima: Se le asigna un puntaje entre 1 y 3 puntos.

Los riesgos adicionales, por ejemplo, entradas y salidas, intersecciones en el túnel o en zonas próximas, subidas o pendientes prolongadas antes del túnel, riesgo de inundaciones: le asigna un puntaje entre 1 y 3 puntos.

El mayor puntaje se debe dar a mayor riesgo y a menor riesgo el puntaje será el menor, estos puntajes se suman y se obtiene una clasificación del riesgo según la siguiente definición:

Riesgo muy bajo: hasta 9 puntos.

Riesgo bajo: de 10 a 14 puntos.

Riesgo medio: de 15 a 21 puntos.

Riesgo alto: de 22 a 28 puntos.

Riesgo muy alto: a partir de 29 puntos.

4.2.3 Valoración total

Para la evaluación total del túnel luego de obtener el potencial de seguridad y el potencial de riesgo. El potencial de seguridad se debe multiplicar por el factor de riesgo de cada túnel el cual se define dependiendo del potencial de seguridad. En este caso si un túnel esta muy expuesto al riesgo, debe obtener un mayor puntaje en el potencial de seguridad para que su valoración total no se ve afectada, por el contrario, un túnel con un potencial de seguridad bajo no debe obtener un potencial de seguridad tan alto. Como es de esperarse, las medidas de seguridad que se deben instalar en un túnel dependen del riesgo específico de cada túnel.

La valoración total del túnel determinada por potencial de seguridad multiplicado por el factor de riesgo se clasifica de la siguiente manera:

Muy satisfactorio: para túneles con una valoración mayor o igual al 90%

Satisfactorio: para túneles con una valoración mayor o igual al 80%

Aceptable: para túneles con una valoración mayor o igual al 70%

Insatisfactorio: para túneles con una valoración mayor o igual al 60%

Muy insatisfactorio: para túneles con una valoración menor al 60%

A continuación se presentan estadísticas de los resultados de las evaluaciones del EuroTAP en el 2008 a túneles europeos, esto nos puede dar una idea de las

condiciones actuales de estos túneles y tener información sobre los errores mas frecuentes y en donde por lo general están las deficiencias:

Todas las figuras son tomadas del INFORME EUROPEO DE EVALUACIÓN DE TÚNELES “EUROTAP 2008”.

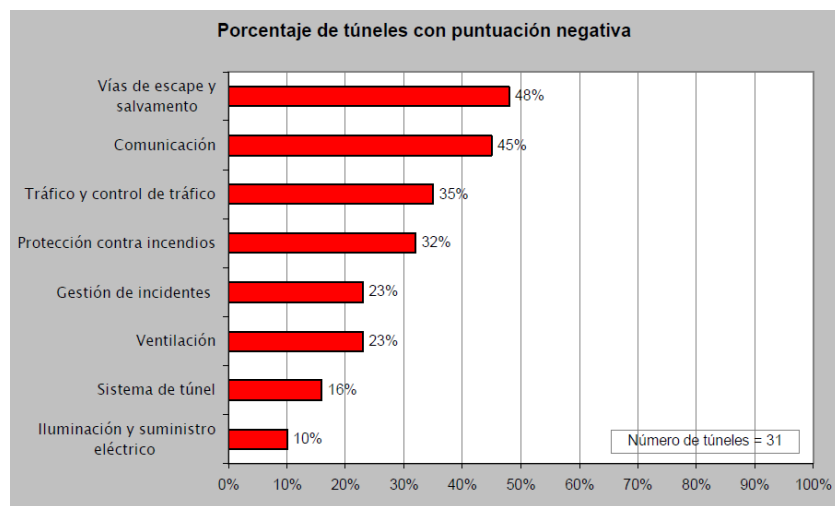


Figura 8. Porcentaje de túneles en relación con la puntuación negativa por apartados

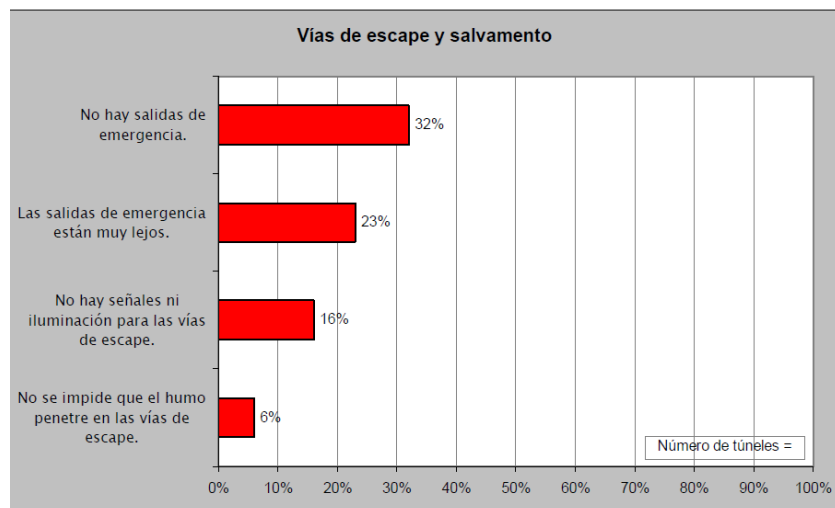


Figura 9. Deficiencias encontradas en las vías de escape y salvamento

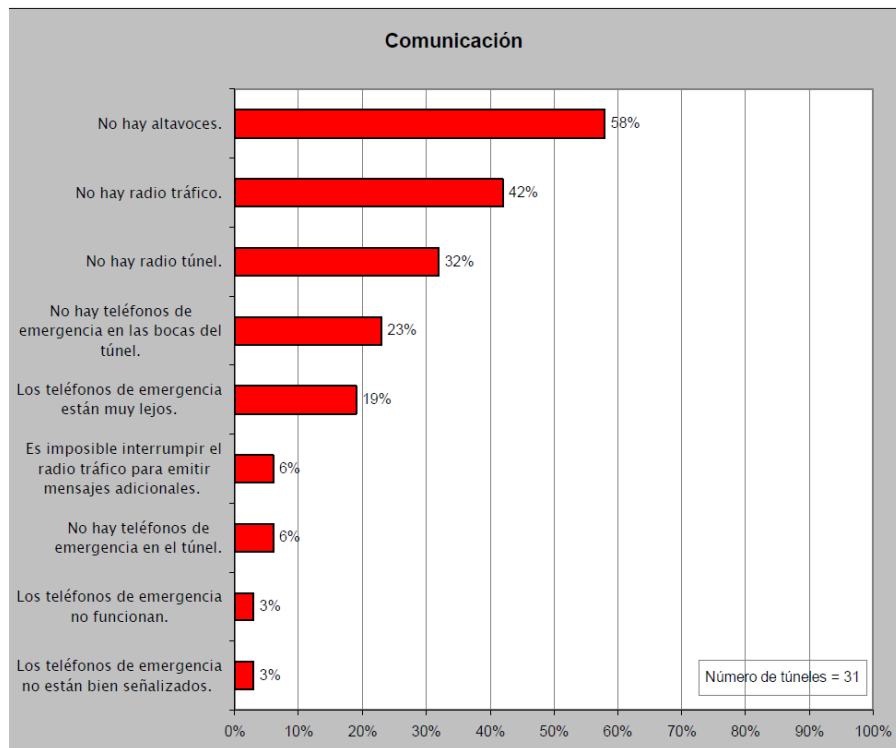


Figura 10. Deficiencias encontradas en el apartado de comunicación.



Figura 11. Deficiencias encontradas en el apartado de Protección contra incendios.

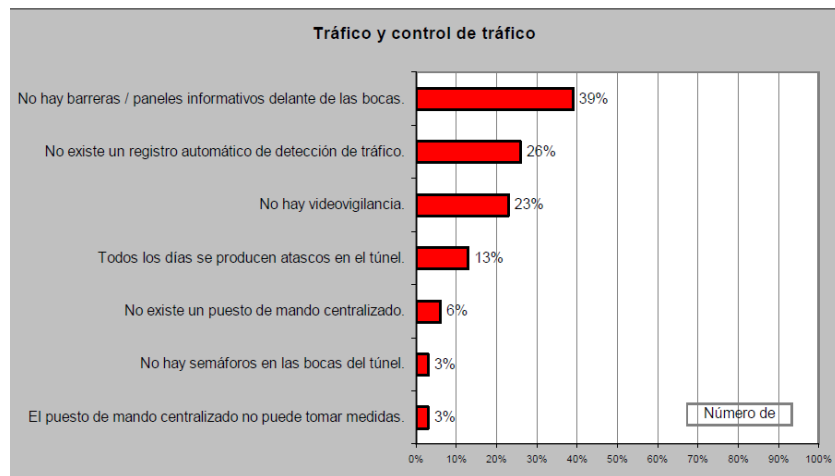


Figura 12. Deficiencias encontradas en el apartado de Tráfico y control circulatorio.

Estas figuras nos pueden dar una idea de los principales problemas que enfrentan los túneles europeos y sirven de base para prestar especial interés en estos mismos a la hora de evaluar los túneles colombianos y así evitar recorrer todo el camino que ya se ha recorrido en otros países los cuales han tenido que sufrir las consecuencias de tener accidentes catastróficos.

CAPITULO 5

5 APLICACIÓN

Una vez estudiadas las dos metodologías que contemplan el riesgo en su análisis, se puede concluir que la utilizada en Europa (EuroTAP), es la mejor base para implementar una metodología a nivel nacional, principalmente porque la metodología austriaca requiere de personal con mucha más experiencia en seguridad y riesgo en túneles para definir los parámetros a evaluar, en Colombia hasta la fecha no se han presentado accidentes que pasen a ser catastróficos, por lo cual no hay expertos que hayan estudiado los riesgos, causas y consecuencias de accidentes al interior de túneles para la situación local.

Otro punto a favor de la metodología EuroTAP es que el análisis del riesgo se hace de manera cualitativa como cuantitativamente, esto permite ajustar mejor las necesidades de seguridad según cada caso particular, minimizando costos en las instalaciones.

Adicionalmente la metodología EuroTAP es la única que determina una evaluación periódica la cual genera recomendaciones de actualización de los sistemas de seguridad encontrados para satisfacer las necesidades según el riesgo encontrado luego de la evaluación total.

5.1 Parámetros

Inicialmente se deben definir todos los parámetros que se van a evaluar, en el caso colombiano se debe tener en cuenta los sistemas instalados en los túneles existentes y evaluar el correcto funcionamiento, además se debe incluir un análisis de riesgo para determinar si las instalaciones actuales en seguridad son suficientes.

Como se ha observado en capítulos anteriores, los incendios al interior del túnel son los eventos que generan más riesgo de una catástrofe, esto se puede observar analizando el número de muertes que han cobrado este tipo de eventos, por este motivo se debe prestar mayor atención en los sistemas de seguridad que eviten los incendios al interior del túnel y adicionalmente centrarse en la evaluación del riesgo potencial de presentarse debido al transporte de cargas potencialmente peligrosas y el paso de vehículos pesados.

Los sistemas a evaluar para determinar la seguridad del túnel son los siguientes:

1. Los sistemas de comunicación.
2. Los sistemas de señalización.
3. El sistema de ventilación.
4. Los sistemas de monitoreo.

5. El sistema de suministro de agua a presión.
6. Los sistemas iluminación.
7. La atención de urgencias.
8. Los sistemas de estaciones de auxilio.

Para la evaluación del riesgo se deben contemplar los siguientes aspectos:

1. El volumen del tráfico.
2. El porcentaje de vehículos pesados.
3. El transporte de materiales peligrosos.
4. El sentido de circulación.
5. La pendiente longitudinal.

La importancia tanto de los riesgos como de la seguridad puede variar según el caso, debido a las condiciones locales se establece prestarle mayor atención a los puntos en los cuales se está fallando actualmente en los túneles existentes como son el aspecto de comunicación e información al usuario.

Se debe partir del hecho que no existe tráfico absolutamente seguro, por esto es importante disminuir al máximo las posibles causas y así mantener en el nivel más bajo posible la accidentalidad. Según estudios realizados a nivel mundial, la principal causa de accidentes se debe al mal comportamiento de los usuarios, es

por esto que lo primero que se debe abordar en el tema es la capacitación de los usuarios.

5.1.1 Evaluación de seguridad

Teniendo en cuenta los parámetros definidos anteriormente, se entre a analizar cada uno de los puntos para determinar la seguridad instalada en el túnel. Para las condiciones óptimas, cada uno de estos grupos cuenta con 100 puntos y dependiendo de la cantidad de variables que se analicen en cada uno de ellos, las cuales se deben definir al momento de realizar la evaluación se divide en partes iguales, y una vez se tenga la lista de chequeo la metodología para restar puntos se define como cumple/no cumple y así dependiendo del valor de cada variable se le resta al total de los 100 puntos iniciales.

Adicionalmente dependiendo del capítulo que se este analizando, estos tienen un peso relativo, el cual permite ponderar el resultado final y así obtener finalmente la evaluación de seguridad, en donde 100 es el máximo puntaje para condiciones óptimas y 0 el mínimo puntaje que equivale a la inexistencia de medidas de seguridad.

Los sistemas de comunicación: Se refiere a la información básica que deben tener los usuarios al ingresar a un túnel, por los generar las normas para transitar

al interior de un túnel son ligeramente diferentes a las que se deben cumplir en una vía a cielo abierto, así mismo es de vital importancia que los usuarios estén concientes de la responsabilidad que tienen al conducir en este tipo de vías, debido a que un accidente al interior puede cobrar muchas mas victimas que un accidente en el exterior.

Los conductores deben ser concientes que circulan por un tramo en donde las posibilidades de escape son limitadas, por lo que debe respetar más que nunca los límites de velocidad, mantener la distancia de seguridad, respetar los mensajes y las señales de tránsito.

A continuación se presentan las recomendaciones que debería tener la información entregada a los usuarios de los túneles según la Dirección General de Energía y Transportes basado en el documento de la Asociación Mundial de la Carretera (PIARC)

1. Antes de llegar al túnel: Compruebe su combustible, aceite, líquido refrigerante y temperatura del motor. Si se recalientara, deténgase y déjelo enfriar.
Compruebe sus frenos y luces.
Compruebe que funcionan los extintores de incendios y que sabe utilizarlos.

CAMIONEROS: Compruebe que su vehículo y carga cumplen las normas del túnel. Si no, utilice una ruta alternativa.

CONDUCTORES DE BUSES: Compruebe que conoce todos los procedimientos de seguridad, incluida la evacuación de pasajeros.

2. Al entrar al túnel:

Encienda las luces de cruce.

Quítese las gafas de sol.

Esté atento a los mensajes de la radio.

Respete los semáforos, los límites de velocidad y las señales.

No utilice su teléfono móvil. No fume.

3. En el túnel:

Mantenga la distancia de seguridad con el vehículo de adelante, aunque circule despacio o esté parado.

No adelante si sólo hay un carril en cada sentido.

No cambie de dirección ni dé marcha atrás a menos que se le ordene.

No pare a no ser en caso de emergencia.

4. En caso de atasco:

Encienda las luces de emergencia.

Mantenga la distancia de seguridad con el vehículo de adelante, aunque circule despacio o esté parado.

Apague el motor si la circulación se ha detenido.

Esté atento a los mensajes de la radio.

Siga las instrucciones del personal del túnel o respete la señalización variable

5. Avería o accidente:

Encienda las luces de emergencia.

Si le es posible, saque el vehículo del túnel.

Si no le es posible, acérquelo a un carril de parada de emergencia, a un apartadero o al arcén.

Apague el motor, deje puesta la llave de contacto y abandone el vehículo.

Pida socorro EXCLUSIVAMENTE desde un poste SOS (los teléfonos móviles no indican desde donde está llamando).

Diga si transporta mercancías peligrosas (de qué tipo) o pasajeros (y si hay heridos).

Siga las instrucciones del personal del túnel.

Si le es posible, preste los primeros auxilios a los heridos.

6. En caso de incendio:

Encienda las luces de emergencia.

SI SE HA INCENDIADO SU VEHÍCULO:

Si es posible, salga del túnel.

Si no es posible, acerque el vehículo al arcén.

Apague el motor, deje puesta la llave de contacto y abandone el vehículo.

CONDUCTORES DE BUSES: Evacue a todos los pasajeros hacia zonas seguras (por ejemplo, rutas de escape, salidas de emergencia o refugios).

SI SE HA INCENDIADO OTRO VEHÍCULO:

Mantenga la distancia de seguridad con el vehículo de adelante.

Acerque su vehículo al arcén lo más posible para facilitar el acceso a los servicios de emergencia.

Apague el motor, deje puesta la llave de contacto y abandone el vehículo.

CONDUCTORES DE BUSES: Evacue a todos los pasajeros hacia zonas seguras.

Pida socorro EXCLUSIVAMENTE desde un poste SOS (los teléfonos móviles no indican desde donde está llamando).

Diga si transporta mercancías peligrosas (de qué tipo) o pasajeros (y si hay heridos).


Ayude a otras personas a dirigirse hacia zonas seguras.

Si le es posible, apague el fuego con su extintor o con un extintor del túnel y, si puede, preste los primeros auxilios a los heridos.

Si no, dirijase inmediatamente a una salida de emergencia y siga las instrucciones del personal del túnel.

Seguridad vial en túneles de carretera dirigida a profesionales

Consejos para conductores de camión y autocar



Equipamiento normal de seguridad en túneles de carretera

Reducción del túnel
Los sistemas de ventilación permiten al conductor adaptarse a la reducida visibilidad de los túneles. Los robots de emergencia y los puntos SOS tienen una iluminación permanente de seguridad.

Redes
Las redes pueden indicar la presencia de la emergencia y los robots de emergencia transmiten sobre el móvil. El operador del túnel puede utilizar esta información para ofrecer mensajes de emergencia.

Sistemas de ventilación
En presencia de incendio, el sistema de ventilación extrae el humo del túnel y dirige en una sola dirección.

Salidas de emergencia
Están claramente señaladas con paneles y señales luminosas y están dotadas de puertas resistentes al fuego y al humo.

Centros de parada de emergencia o supervisión
Cuando haya cambio de parada de emergencia o supervisión a kilómetros regulares, utilícelos si su vehículo se avería. Los aparatos literales cuentan con los SOS.

1 Antes de llegar al túnel	<p>Compruebe su combustible, aceite, líquido refrigerante y temperatura del motor. Si se recalienta, deténgase y déjelo enfriar.</p> <p>Compruebe sus frenos y luces.</p> <p>Compruebe que funcionan los extintores de incendios y que está vigilante.</p> <p>CONDENSADOS: Compruebe que su vehículo y carga cumplen los normas del túnel. Si no, utilice una ruta alternativa.</p> <p>CONDUCTORES DE AUTOCAR: Compruebe que conoce todos los procedimientos de seguridad, incluída la evacuación de pasajeros.</p>
2 Cuando entre en el túnel	<p>Encienda las luces de cruce.</p> <p>Quite los gafas de sol.</p> <p>Este atento a los mensajes de la radio.</p> <p>Respete los señalizaciones, los límites de velocidad y las señales.</p> <p>No utilice su teléfono móvil. No fume.</p>
3 En el túnel	<p>Mantenga la distancia de seguridad con el vehículo de delante, nunca cruce, desvíe o salte paradas.</p> <p>No adelante si sólo hay un carril en cada sentido.</p> <p>No cambie de dirección ni de marcha atrás a menos que se le ordene.</p> <p>No pare a no ser en caso de emergencia.</p>
4 Atasco	<p>Encienda las luces de emergencia.</p> <p>Mantenga la distancia de seguridad con el vehículo de delante, nunca cruce, desvíe o salte paradas.</p> <p>Apague el motor si la circulación se ha detenido.</p> <p>Este atento a los mensajes de la radio.</p> <p>Siga las instrucciones del personal del túnel o respete la señalización variable.</p>
5 Avería o accidente	<p>Encienda las luces de emergencia.</p> <p>Si le es posible, saque el vehículo del túnel.</p> <p>Si no le es posible, diríjase a un carril de parada de emergencia, o un apartado en el ancho.</p> <p>Apague el motor, déje pasar la lluvia de concreto y abandone el vehículo.</p> <p>Pida socorro EXCLUSIVAMENTE desde un punto SOS (los teléfonos móviles no indican desde dónde está llamado).</p> <p>Diga el transporte mercancías peligrosas (si que aplique) y pasaportes (si hay heridos).</p> <p>Siga las instrucciones del personal del túnel.</p> <p>Si le es posible, preste los primeros auxilios a los heridos.</p>
6 Incendio	<p>Encienda las luces de emergencia.</p> <p>SI SE HA INCENDIADO SU VEHICULO:</p> <p>Si le es posible, saque del túnel.</p> <p>Si no es posible, diríjase al vehículo al ancho.</p> <p>Apague el motor, déje pasar la lluvia de concreto y abandone el vehículo.</p> <p>CONDUCTORES DE AUTOCAR: Evacue a todos los pasajeros hacia zonas seguras: Corra, no corra, no se detenga, utilice el pasillo de emergencia o salida.</p> <p>SI SE HA INCENDIADO OTRO VEHICULO:</p> <p>Mantenga la distancia de seguridad con el vehículo de delante.</p> <p>Aunque su vehículo al estar lo más posible para facilitar el acceso a los servicios de emergencia.</p> <p>Apague el motor, déje pasar la lluvia de concreto y abandone el vehículo.</p> <p>CONDUCTORES DE AUTOCAR: Evacue a todos los pasajeros hacia zonas seguras.</p> <p>Pida socorro EXCLUSIVAMENTE desde un punto SOS (los teléfonos móviles no indican desde dónde está llamado).</p> <p>Diga el transporte mercancías peligrosas (si que aplique) y pasaportes (si hay heridos).</p> <p>Apale a otros pasajeros a diríjase hacia zonas seguras.</p> <p>Si le es posible, saque el fuego con su extintor o con un extintor del túnel, si puede, preste los primeros auxilios a los heridos.</p> <p>Si no, diríjase inmediatamente a una salida de emergencia y siga las instrucciones del personal del túnel.</p>

RECUERDE
Como profesional, oriente y ayude a otros conductores y pasajeros en una emergencia!
El fuego y el humo pueden ocasionar la muerte: ¡salve su vida, no su vehículo!

Figura 13. Folleto para conductores sobre comportamiento en túneles

Es importante capacitar a los conductores sobre su comportamiento al interior de un túnel, actualmente los conductores que ingresan a los túneles colombianos no tienen la más mínima información sobre que debe hacer en caso de una emergencia, y lo mas grave es que no tienen información sobre como comportarse lo cual puede generar un accidente y sus fatales consecuencias, por lo tanto este es el principal elemento a evaluar hoy en día, teniendo en cuenta que la

importancia que se le de a cada variable puede variar y es susceptible de ajustes basados en la experiencia.

En el tema de comunicaciones también se debe entrar a evaluar la comunicación por radio FM para que los usuarios estén al tanto de la situación del túnel y los sistemas con altavoces para poder informar de forma auditiva cualquier eventualidad.

Este capítulo tendrá un peso ponderado de 20%.

Los sistemas de señalización: Así como no existe un manual para la inspección de túneles, tampoco hay un manual para la instalación de señalización; por este motivo es importante definir primero el tipo de señalización que se debe instalar para así mismo poder evaluar la calidad de los sistemas de señalización.

Para este caso se va a tomar como referencia lo establecido en el Convenio de Viena sobre señalización vial, aquí se describen las señales viales para designar las siguientes vías de evacuación y equipos de seguridad en los túneles.

Para las salidas de emergencia se usará la misma señal en la entrada a una salida directa al exterior y en las conexiones que enlazan con el otro tubo del túnel o con una galería de seguridad. Para las vías de evacuación a las salidas de emergencia las dos salidas de emergencia más próximas estarán señalizadas en las paredes

laterales, a menos de 25 m, a una altura de entre 1,1 y 1,5 m y con indicación de las distancias. Para los nichos de seguridad: se indicará la presencia de un teléfono de emergencia y de un extintor a menos de 150 m. Para los apartaderos al menos cada 1000 m; todos ellos contarán con una señalización previa; implicarán, por definición, la presencia de un teléfono de emergencia y de, al menos, dos extintores. Para las frecuencias de radio la señal se situará a la entrada de los túneles y cada 1000 m en los túneles de gran longitud.

En cuanto a la señalización vertical en las cercanías del túnel se debe incluir como mínimo las siguientes: La señal de "Túnel", que implica que se deben usar las luces bajas; se debe incluir también un panel adicional que indique la longitud y el nombre del túnel, sobre todo para túneles de más de 1000 m. El límite de velocidad máximo específico dentro del túnel. La señal de "No adelantar", cuando sea pertinente y en todos los túneles bidireccionales. Cuando sea necesario, otras señales adicionales, como las que prohíben la entrada a vehículos que transporten mercancías peligrosas en general o mercancías peligrosas determinadas.

Para la señalización vertical dentro del túnel como mínimo se deben tener los siguientes elementos: La señal de "Límite máximo de velocidad" cada 500 m, en el caso de túneles de más de 1000 m. Cuando sea pertinente o en túneles bidireccionales, la señal de "No adelantar" cada 500 m, en el caso de túneles de más de 1000 m.

Una vez atravesado el túnel como mínimo las siguientes señales verticales: La señal "Final del túnel" y las señales correspondientes en las que se elimine la limitación de la velocidad o las prohibiciones "Final de la prohibición de adelantar" o "Final de la prohibición de adelantar para camiones".

En cuanto a las señales horizontales: En los bordes de la vía se usará un trazado horizontal (líneas de bordillo) a una distancia de entre 10 y 20 cm del límite de la calzada. La línea deberá tener un ancho de 25 cm. El ancho mínimo de las líneas centrales será de 15 cm. En el caso de túneles bidireccionales, se utilizarán tachas reflectivas a ambos lados de la línea mediana (sencilla o doble) que separa las dos direcciones, a una distancia de entre 10 y 15 cm del borde externo de cada línea. Las tachas reflectivas se ajustarán a la legislación nacional en lo que respecta a su altura y sus dimensiones máximas, y estarán instaladas cada 20 m como máximo. Si el túnel está en una curva de la carretera, los primeros 10 reflectores desde la entrada del túnel estarán a una distancia inferior, que podrá llegar a lo 8 m.

En cuanto a la señalización es importante tener instalaciones de señales con mensajes variables: En los túneles con centro de control, se deben emplear señales de mensaje variable en la entrada al túnel y, de ser posible, con anterioridad, para mostrar mensajes específicos en caso de un incidente en el túnel o para detener el tráfico antes de entrar en el túnel, en caso de emergencia. En los túneles largos, estos dispositivos se deben repetir dentro del túnel.

Este capítulo tendrá un peso ponderado de 15%.

Los sistemas de ventilación: Este sistema tiene como propósito disminuir mediante un caudal de aire las partículas contaminantes que emiten los motores de los vehículos hasta unos niveles admisibles para no afectar la salud de los usuarios y permitir la visibilidad y permitir una distancia mínima de frenado.

Adicionalmente es el principal sistema para controlar un incendio provocado en el túnel antes de utilizar los sistemas de extinción, el sistema de ventilación es el encargado de controlar el avance del calor y el humo de manera que los usuarios no se vean afectados por estos.

A continuación se presentan los sistemas de ventilación más usados en los túneles dependiendo de su sistema.

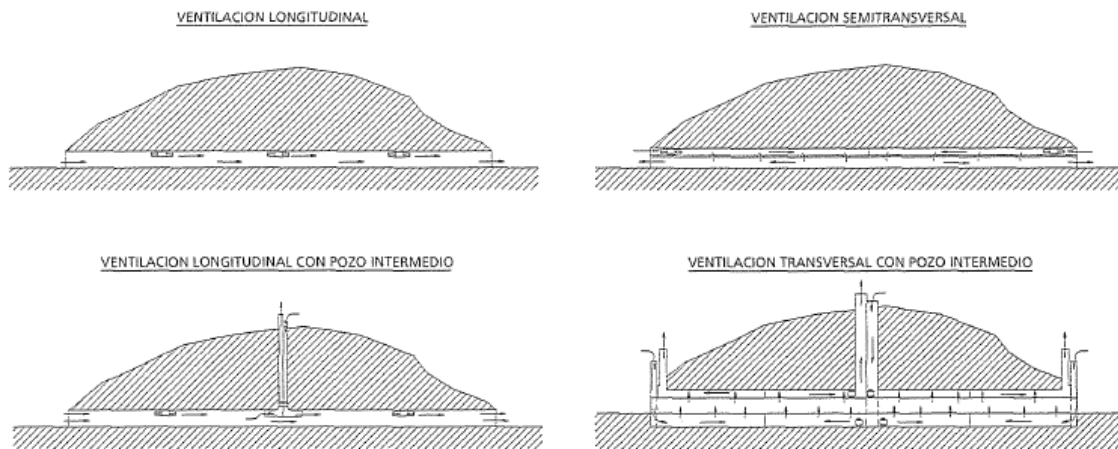


Figura 14. Sistemas de ventilación

Tomado del Manual de túneles Interurbanos de carretera

Este capítulo tendrá un peso ponderado de 10%.

Los sistemas de monitoreo: Mediante estos sistemas controlados desde el centro de control se puede supervisar la situación dentro del túnel, entre estos está el sistema de detección de incendios, el cual garantiza la protección del túnel, del centro de control y de las subestaciones detectando cualquier incendio en su etapa inicial y enviando la alarma al centro de control para así informar al operados y a los sistemas de rescate respectivamente y controlar así los sistemas de tráfico, la ventilación y la señalización.

Este capítulo tendrá un peso ponderado de 10%.

El sistema de suministro de agua a presión: En caso de incendios, el sistema de suministro de agua a presión debe ser capaz de controlar los incendios que se puedan provocar al interior del túnel, por esto es importante que se cuente con una red de distribución de agua con conexiones cada 100 m adicional a los extintores para que así el personal de rescate defina si atacará en incendio mediante extintores o si es necesario el uso de agua a presión.

Se debe contar con un tanque de almacenamiento y un curto de bombas para usar en caso de un incendio

Este capítulo tendrá un peso ponderado de 10%.

Los sistemas iluminación: Los sistemas de iluminación deben ser graduales a medida que se entra más en el túnel, la iluminación debe disminuir progresivamente asta alcanzar el mínimo recomendable, de esta manera se permite que la visión de los usuarios se adapte gradualmente.

En la figura siguiente se presentan las zonas a tener en cuenta en el calculo de la iluminación interior del túnel.

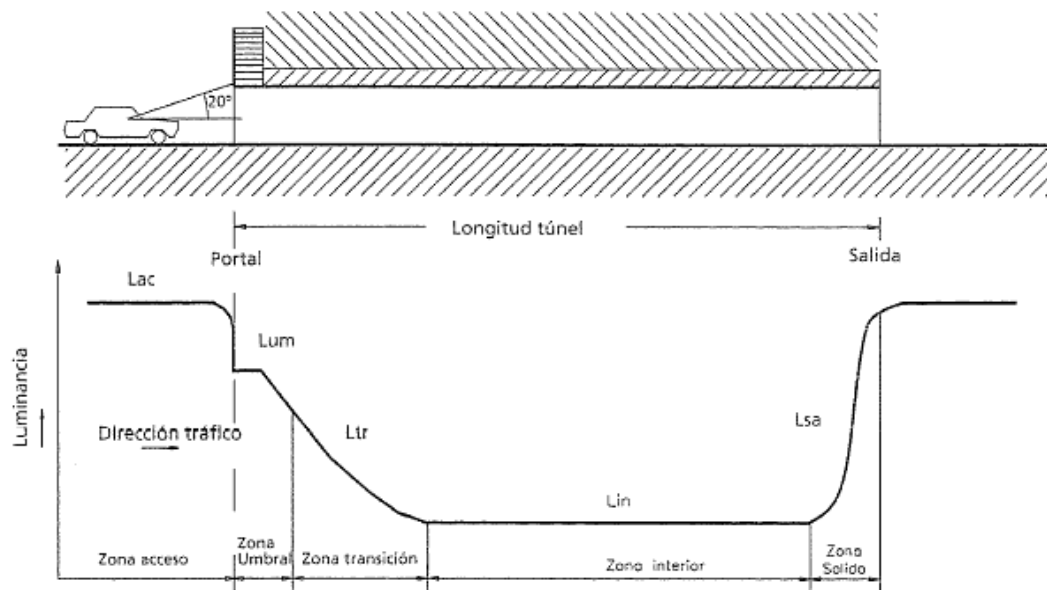


Figura 15. Zonas de iluminación del túnel

Tomado del Manual de túneles Interurbanos de carretera

Este capítulo tendrá un peso ponderado de 10%.

La atención de urgencias: Es necesario definir una normativa de túneles para la atención de emergencias y su gestión, principalmente por las dificultades que se presentan a los usuarios para abandonar un túnel, ya que esto genera que el usuario cambie el modo de transitar por el túnel, requiere abandonar el vehículo y evacuar a pie por espacios con poca visibilidad y encerrados.

En los túneles se presenta igualmente dificultad para atender los accidentes, principalmente los que tienen que ver con incendios, ya que por ser un espacio confinado, se incrementa la concentración de humo y altas temperaturas.

Otros factores por los cuales la gestión de emergencias debe ser bien planeada es la dificultad de comunicación desde el interior del túnel al exterior, complicaciones de coordinación entre diferentes equipos de emergencia, los márgenes de maniobra son tan reducidos que el personal debe estar altamente capacitado mediante simulacros.

Debido a que el personal que opera el túnel tiene información sobre las particularidades y características del túnel, debe ser el apoyo fundamental de los equipos de rescate, además de ser los primeros en enterarse de una emergencia. Por tal motivo es importante que se realicen encuentros y cooperación periódica entre operadores y organismos de rescate.

Este capítulo tendrá un peso ponderado de 15%.

Los sistemas de estaciones de auxilio: Conformado por los puntos S.O.S. que permiten a los usuarios comunicación de emergencia con el centro de control y los nichos de seguridad, los cuales deben estar equipados por lo menos con los siguientes elementos: Pulsadores de alarma manuales para incendios o para otros eventos, comunicación con el centro de control y equipamiento para extinción de incendios.

Este capítulo tendrá un peso ponderado de 10%.

5.1.2 Evaluación de riesgo

Para que ocurra un accidente existen tres factores involucrados que son las condiciones de la vía, las condiciones del vehículo y los conductores, este último es exclusivamente el factor humano, el cual también está involucrado en la vía, en este caso el diseño y construcción del túnel y en el vehículo mediante los mantenimientos realizados.

En la circulación en los túneles, los cuales ya se encuentran construidos y tienen sus sistemas de seguridad instalados y suponiendo que cumple con todas las normas de seguridad mínimas, los usuarios son los que más van a contribuir en la generación de un potencial accidente, por lo tanto a mayor número de usuarios, es decir un alto volumen de tráfico mayor es el riesgo de que ocurra un accidente.

El volumen del tráfico: Teniendo en cuenta el volumen para el cual fue diseñado el túnel, se propone clasificar el riesgo para este punto dependiendo si se respetan esas consideraciones iniciales y se califica según la siguiente valoración:

- Volumen mayor al volumen de diseño: 3 puntos
- Volumen igual al volumen de diseño: 2 puntos
- Volumen menor al volumen diseñado: 1 punto

Teniendo en cuenta que un mayor puntaje perjudica la calificación en cuanto a la evaluación del riesgo.

El porcentaje de vehículos pesados: Es claro que en Colombia el transporte de carga se realiza en su mayoría por tierra, debido a los altos costos del transporte de carga aéreo y a la inexistencia de un buen sistema ferroviario para el transporte de carga, esto hace que un porcentaje considerable de vehículos pesados transiten por las carreteras nacionales, y en caso de existir túneles en estas vías, se hace casi necesario el tránsito de este tipo de vehículos por los túneles aumentando el riesgo de accidentes.

Para valorar el riesgo inducido por este punto se debe realizar mediante la siguiente clasificación:

- Mas del 50% del tráfico corresponde a vehículos pesados: 4 puntos
- Entre 25% y 50% corresponde a vehículos pesados: 2 puntos
- Manos del 25% corresponde a vehículos pesados: 1 punto

El transporte de materiales peligrosos: Este punto es importante debido a que contribuye al riesgo de convertir un accidente en una catástrofe, debido a que en caso de un incendio, los materiales peligrosos como combustibles pueden hacer que este sea de mayor magnitud. Se recomienda realizar un listado por parte de

los administradores de túneles sobre los productos a los que se les debe restringir el paso, ya sea permitirlo solo en horarios especiales o dependiendo de la gravedad proponerles rutas alternas.

Según la siguiente clasificación se debe valorar este punto:

- Paso libre sin control: 4 puntos
- Se permite el paso con control: 2 puntos
- Paso restringido: 1 punto

El sentido de circulación: En cuanto al sentido de circulación es importante anotar que en iguales condiciones es más peligroso un túnel bidireccional, debido a que aumenta el riesgo de colisiones frontales, es más complicado el acceso de vehículos de rescate en caso de un accidente y un atasco, el sistema de ventilación es más complicado y en caso de un incendio, el humo que se extrae va a afectar a uno de los dos sentidos de circulación.

Por tal motivo se establece el siguiente puntaje para esta consideración:

- Para túnel bidireccional: 3 puntos
- Para túnel unidireccional: 1 punto

La pendiente longitudinal: A pesar que en las carreteras a cielo abierto se pueden presentar pendientes longitudinales altas, esto contribuye al riesgo dentro de un túnel en especial a los vehículos pesados ya que puede producir recalentamiento en el motor para los que van ascendiendo o recalentamiento en los frenos para los que van descendiendo.

A continuación se presenta la valoración correspondiente a la pendiente longitudinal del túnel.

- Pendiente mayor al 2.5%: 2 puntos
- Pendiente menor al 2.5%: 1 punto

Una vez estén evaluados todos los puntos correspondientes que contribuyen con el riesgo, estos se suman, y dependiendo del rango en que se encuentre este valor se clasifica el riesgo en el túnel de la siguiente manera:

Si la sumatoria de puntos esta entre 5 y 8 puntos se considera que el riesgo es bajo y por lo tanto el factor de multiplicación es 1.

Para túneles con un puntaje de riesgo entre 9 y 12 puntos se considerará que el riesgo al cual están expuestos los usuarios es un riesgo medio y por lo tanto el factor de multiplicación es 0.85

Cuando la sumatoria esta entre 13 y 16 puntos que es lo máximo que puede obtener esta valoración, se considera que el riesgo en el túnel es alto, por lo tanto el factor para este caso es de 0.7

5.1.3 Evaluación final

Finalmente, para determinar si la seguridad instalada en el túnel corresponde a las necesidades según el riesgo al que se está expuesto y definir la calificación final, se debe multiplicar la calificación obtenida en cuanto a seguridad por el factor correspondiente dependiendo del riesgo al cual están expuestos los usuarios.

Para túneles en los cuales la evaluación final, es decir el resultado de multiplicar el resultado de la evaluación de seguridad por el factor correspondiente dependiendo de la evaluación de riesgo, sea menor de 60 puntos, será calificado como un túnel inseguro. Si la evaluación final esta entre 60 y 75 puntos, será calificado como un túnel potencialmente inseguro. Finalmente para túneles con evaluación final mayor a 75 puntos, serán calificados como túneles seguros.

A continuación se presenta el formato propuesto en donde se resumen los valores obtenidos para cada uno de los puntos en cuanto a la evaluación de seguridad, evaluación de riesgo y evaluación total.

CAPITULO 6

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Según lo investigado, en la actualidad en Colombia, no existe ni un manual para inspección de túneles ni una metodología de evaluación de riesgo, se encontró que para evaluar el riesgo y la seguridad se utiliza la norma Austríaca RVS 9.232 pero desde el punto de vista ilustrativo, ya que esta norma no es de carácter obligatorio para Colombia y por otro lado refleja parámetros del peor escenario, por lo tanto al momento de aplicarla se puede estar incurriendo en costos superiores a lo que realmente se requiere, encareciendo en ocasiones las obras y por este mismo motivo retrasando su ejecución.

La aplicación de otras metodologías en el país puede generar impactos negativos debido a las condiciones propias de la nación, actualmente nuestro desarrollo en el área de túneles está en una etapa inicial, por lo tanto aplicar las mismas exigencias que se requieren en países con largas trayectorias a nivel mundial no estarían acordes con nuestra situación. Por el contrario si se deben tomar como referencia para aplicar las lecciones aprendidas de los accidentes ocurridos en túneles a nivel mundial, que en su gran mayoría se han debido a errores humanos y es el punto que se propone atender primero en este estudio.

La metodología aquí presentada es un punto de partida para iniciar la cultura de darle importancia al riesgo al que están expuestos los usuarios al momento de transitar en un túnel, aunque es claro que debido a las condiciones especiales de un túnel, es mas seguro transitar por un túnel que en una vía a cielo abierto y así mismo se ha encontrado que la probabilidad de ocurrencia de un accidente dentro de un túnel es menor, sin embargo, hay que tener presente que un accidente dentro de un túnel se puede fácilmente convertir en una catástrofe e involucrar muchas más víctimas.

Es importante aplicar la metodología desde la etapa del diseño y así mismo ir ajustándola cada año para acomodarla cada vez más al contexto nacional, y así poder contar con una metodología lo más justa teniendo en cuenta un balance desde el punto de vista económico.

Teniendo en cuenta las lecciones aprendidas de los accidentes y sus consecuencias en otros países, se puede determinar que la gran mayoría de accidentes se deben a errores humanos, por lo tanto desde el inicio a lo que más se le debe prestar atención para disminuir riesgos y maximizar la seguridad es al usuario, mediante campañas de concientización y suministrándole toda la información necesaria antes de entrar a un túnel y mientras este en el, esto se puede mejorando significativamente los sistemas de comunicación tanto al interior del túnel como con folletos informativos sobre como se debe comportar al interior del túnel y que hacer en caso de emergencia.

El transporte de mercancías peligrosas a través de grandes túneles debe analizarse con detalle, estableciendo estudios sobre rutas alternativas, tipología y peligrosidad de cargas, etc. Ya que actualmente el control ejercido sobre este tipo de cargas no es realmente satisfactorio.

Las responsabilidades sobre la conservación, explotación y operación de los túneles han de recaer sobre una entidad, que ha de concentrar toda la información y el centro de toma de decisiones en un único punto. Esto permite que en caso de un accidente, sea esta la que informe a todos los organismos de rescate.

La respuesta inmediata (primeros diez minutos) es esencial para la evolución y el desarrollo posterior de cualquier incidente, por tal motivo es recomendable que se realicen simulacros periódicos sobre posible eventos, incluyendo incendios, para poder determinar el tiempo de reacción de todos los organismos de rescate.

La necesidad está planteada, por lo tanto se recomienda presentar la inquietud a instituciones que estén interesadas en patrocinar unas primeras evaluaciones sobre los túneles existentes y así poder generar un panorama nacional sobre el estado actual y así más adelante poder completar el marco legal de la seguridad en túneles y crear las bases para hacer nuestros túneles más seguros.

Es importante crear un comité de evaluación, el cual este encargado de actualizar la metodología de evaluación y determine la eficiencia de las medidas de seguridad según le riesgo detectado, este comité sería el encargado de definir mediante estudios más profundos el impacto en el riesgo y sus consecuencias económicas y así poder realizar de manera más objetiva los porcentajes y puntajes óptimos para la evaluación del riesgo, la seguridad y la valoración total.

Se recomienda crear nuevas líneas de investigación para seguir aportando al tema, el cual hasta el momento no ha tenido la atención necesaria y es el momento de empezar a aportar de tal manera que las investigaciones hagan parte de estudios preventivos y no correctivos.

BIBLIOGRAFIA

EU (2004), Directiva 2004/54/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras (Diario Oficial de la Unión Europea L 167 de 30 de abril de 2004)

Knoflach H. y Pfaffenbichler P. C. (2004), A comparative risk analysis for selected Austrian tunnels. 2nd International Conference Tunnel safety and Ventilation. Graz, 2004.

Molag M. y Trijssenaar-Buhre I. (2006), Risk Assessment Guidelines for Tunnels. Safe & Reliable Tunnels. Innovative European Achievements. Second International Symposium, Lausanne, 2006.

Naciones Unidas (2001), Recommendations of the group of experts on safety in road tunnels. Final Report. Economics Commission for Europe. Inland Transport Committee. TRANS/AC.7/9. 10 December 2001. Naciones Unidas, 2001.

Vrouwenvelder A., Holický M., Tanner C.P., Lovegrove D.R. y Canisius E.G. (2001), CIB Report. Publication 259. Risk assessment and risk communication in civil engineering. CIB, 2001.

INFORME EUROPEO DE EVALUACIÓN DE TÚNELES “EUROTAP 2008”

Comité de Explotación de Túneles, C 3.3 de PIARC Seminario en San Juan (Argentina) Marzo de 2006

Germán Martínez-Montes, José del Cerro-Grau, Javier Alegre-Bayo, Javier Ordóñez-García. Análisis y evaluación de riesgo de túneles carreteros en explotación. Universidad de Granada, Granada, ESPAÑA. Julio de 2007

U.S. Department of Transportation. Highway and Rail Transit Tunnel Inspection Manual. 2005

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) Standing Committee on Highways. SAFETY & SECURITY IN ROADWAY TUNNELS. Marzo de 2008.

U.S. Department of Transportation. Underground Transportation Systems in Europe: Safety, Operations, and Emergency Response. Junio de 2006

Alberto Abella, Ignacio García-Arango y Fernando Hacar. COEFICIENTE DE SEGURIDAD GLOBAL DEL TÚNEL. Febrero de 2008