

Recomendaciones conceptuales para la implementación de sistemas de seguridad en túneles viales para Chile

Conceptual recommendations for the implementation of safety systems in road tunnels for Chile

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Claudio López¹, Mauricio Espinoza²

¹ Dirección Nacional de Vialidad, Santiago, Chile, clr.ingeniero.vialidad@gmail.com

² Independiente, Santiago, Chile, mauricio.espinoza10@gmail.com

Historial del artículo:

Recibido
14-11-2023
Aceptado
03-12-2024
Publicado
30-04-2025

Palabras Clave:
Seguridad
Túneles
Vial
Accidente
PIARC

Article history:

Received
14-11-2023
Accepted
03-12-2024
Available
30-04-2025

Keywords:
Safety
Tunnels
Road
Accident
PIARC

Resumen

El creciente aumento en la demanda de uso del espacio vial subterráneo hace necesario contar con estándares adecuados para el diseño de sistemas de seguridad en túneles viales, que garanticen una operación robusta en estas infraestructuras. En este sentido, el Manual de Carreteras y otros documentos nacionales relacionados con el rubro proporcionan lineamientos generales sobre sistemas de seguridad; sin embargo, los parámetros específicos carecen de un enfoque claro en cuanto a la filosofía de seguridad en túneles. Esto resulta fundamental para prevenir accidentes y tragedias, como los ocurridos en el Túnel Mont-Blanc (Francia, marzo de 1999) y el Túnel Jardín Botánico (Chile, mayo de 2016). Según lo expuesto anteriormente, la filosofía de diseño debe centrarse en temáticas relacionadas con: ventilación, iluminación, centro de control, salidas de emergencia, autonomía en energía (grupo electrógeno), SAI para elementos, red húmeda, extintores, DAI, detección de incendio, semáforos/barreras (en los accesos), nichos de emergencia y megafonía. El presente documento entrega recomendaciones basales para la actualización del Manual de Carreteras en materias específicas de sistemas de seguridad en túneles viales, basado en una investigación a documentos ad-hoc internacionales: Permanent International Association of Road Congresses (PIARC), de la Unión Europea, y de otros países líderes en el tema; así también de documentos elaborados a nivel nacional, resumidos en la Tesis “Recomendaciones para la implementación de sistemas de seguridad de túneles viales en Chile”, desarrollada por los autores de este documento. Dichas recomendaciones guardan directa relación con las secciones 3.805 y 6.207 del Manual de Carreteras en Chile.

Abstract

The increasing demand for the use of underground road space makes it necessary to have adequate standards for the design of safety systems in road tunnels to ensure robust operation of these infrastructures. In this regard, the Highway Manual and other related national documents provide general guidelines on safety systems; however, the specific parameters lack a clear focus on the philosophy of tunnel safety. This is essential to prevent accidents and tragedies, such as those that occurred in the Mont-Blanc Tunnel (France, March 1999) and the Botanical Garden Tunnel (Chile, May 2016). According to the above, the design philosophy should focus on issues related to: ventilation, lighting, control centre, emergency exits, energy autonomy (generator set), UPS for elements, wet network, fire extinguishers, IED, fire detection, traffic lights/barriers (at the entrances), emergency niches and public address system. The present document provides basic recommendations for the updating of the Road Manual in specific matters of safety systems in road tunnels, based on a research of international ad-hoc documents: Permanent International Association of Road Congresses (PIARC), of the European Union, and of other leading countries in the subject; as well as of documents elaborated at national level, summarised in the Thesis ‘Recommendations for the implementation of safety systems in road tunnels in Chile’, developed by the authors of this document. These recommendations are directly related to sections 3.805 and 6.207 of the Highway Manual in Chile.

* Corresponding author at: Claudio Lopez, PONTINEL SpA, Arica 2253, Valdivia, Chile. Dirección Nacional de Vialidad, Santiago, Chile. E-Mail address: clr.ingeniero.vialidad@gmail.com

RIOCI

journal homepage: <https://rioc.ufro.cl/index.php/rioc/index>

Vol. 13, no. 01, pp. 1–9, Abril 2025

1. Introducción.

Chile, un país caracterizado por una accidentada geomorfología, se encuentra conformado principalmente por la Cordillera de los Andes, cordones montañosos transversales, cauces, ríos, valles, entre otros elementos geográficos. Esta configuración geográfica plantea desafíos para la conectividad vial entre distintas zonas del país y su entorno internacional. Es por esta razón que la promoción de la comunicación vial a través de túneles se vislumbra como una solución prometedora. En este sentido, resulta crucial asegurar que los túneles viales cumplan con un adecuado estándar de seguridad proactiva y reactiva, que permita el transporte de personas y carga de manera segura y cómoda. Esta medida facilitará el desarrollo de rutas bioceánicas Pacífico/Atlántico a través de la Cordillera de Los Andes y otros accidentes geográficos que atraviesan el territorio chileno

Esta coyuntura presenta a la ingeniería vial chilena el desafío de entregar proyectos de infraestructura tunelera vial con un adecuado estándar de seguridad proactiva y reactiva, impulsando la apertura e integración de Chile a nivel global. Así, se materializará la adhesión del país a la Declaración de Asunción sobre Corredores Bioceánicos, vigente desde el año 2015 (MINREL, 2015).

En este contexto el objetivo de esta investigación es; *Establecer un Sistema de Diagnóstico para Túneles Viales existentes, en temáticas relativas a sistemas de seguridad, permitiendo la definición de mejoras mínimas y proponer recomendaciones conceptuales para la implementación de sistemas de seguridad en el diseño de túneles viales nuevos en Chile.*

2. Metodología

La metodología de investigación para este documento ha sido dividida en dos momentos, en el primero de ellos; “Generalidades Metodológicas” se resumen las actividades desarrolladas para la elaboración del presente documento. En el segundo momento “Desarrollo Metodológico Específico” se desarrolla el análisis comparativo específico entre las normativas nacionales e internacionales (Manual de Carreteras de la Dirección de Vialidad – Chile, Directiva Europea y de Normativas de España, Francia, Alemania, Austria y Estados Unidos), finalmente, en otro apartado se entregan las conclusiones y recomendaciones en materias de sistemas de seguridad para túneles viales en Chile.

2.1. Generalidades Metodológicas

2.1.1 “Revisión Manual de Carreteras en tópicos de elementos de seguridad en túneles viales”

Se analiza la condición actual de la normativa de diseño de elementos de seguridad en túneles viales de Chile, desde el punto de vista de diseño, demanda vehicular, tipos de equipamiento e instalaciones utilizados, etc., respecto de los riesgos presentes en un Túnel Vial.

2.1.2 “Selección, recopilación de información y criterios de elección en manuales extranjeros de países con experiencia en túneles viales”

Se selecciona de la información, que se propone en cada una de las recomendaciones de los países analizados, mediante una tabla comparativa que muestre las recomendaciones específicas para cada nación, tomando como base lo expuesto por el Manual de Carreteras, es decir, las recomendaciones vigentes para Chile, aquí se especifican los diversos sistemas de seguridad y equipamientos que están presentes en los túneles viales en Chile y el Mundo.

2.1.3 “Contrastar información recopilada de las normativas estudiadas”

Se compara la información que se propone en cada una de las recomendaciones analizadas, mediante tablas comparativas que muestren las recomendaciones específicas para cada nación, tomando como base lo expuesto por el Manual de Carreteras, es decir, las recomendaciones vigentes para Chile.

2.1.4 “Contextualización de normas”

Se seleccionan las normas que efectivamente puedan adecuarse a la realidad nacional para túneles viales, para ello se clarificaron los criterios de selección de información para el proceso de contextualización. Se realiza un último filtrado de información, para esclarecer los criterios que se utilizarán en las conclusiones y recomendaciones.

2.1.5 “Recomendaciones para la implementación de sistemas de seguridad en túneles viales en Chile”

Las recomendaciones finales, son producto de las comparaciones realizadas en los pasos anteriores, concluyendo directrices propias para Chile, por lo que se deberá explicar los criterios adoptados para cada una de las recomendaciones desarrolladas.

2.2 Desarrollo metodológico específico

Análisis comparativo de norma nacional y normativas internacionales:

Para el diseño de los túneles se deben estudiar los riesgos que podrían actuar al interior de la estructura, por este motivo es necesario instalar equipos para mitigar la probabilidad de riesgo, como también diseñar planes de emergencia para actuar frente a siniestros o accidentes. Entre los riesgos más

relevantes con probabilidad de ocurrencia en un túnel son: Incendios, Choques y derrames de líquidos tóxicos, de acuerdo a la PIARC.

Para ello se requiere contar con un adecuado diseño de seguridad en túneles, incorporando de manera integral los cuatro componentes que se muestran en la Figura 3.1, los cuales conforman los aspectos necesarios para lograr una mayor seguridad en este tipo de estructuras.

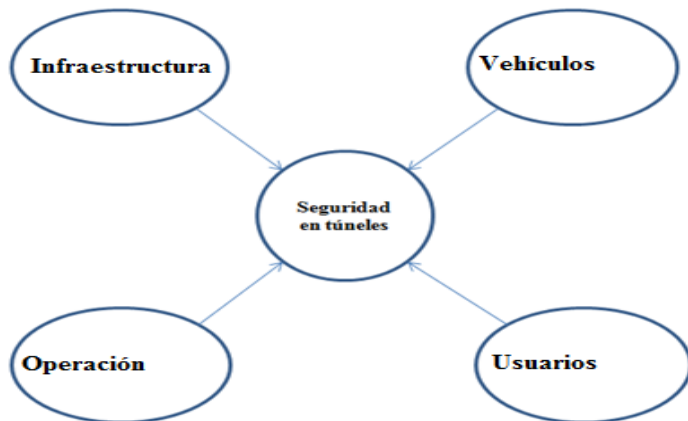


Figura 1. Esquema de factores que inciden en la seguridad en túneles.
Fuente: <http://tunnels.piarc.org/es>.

A continuación, la información utilizada de los diferentes manuales, decretos y normativas:

2.2.1 Manual de Carreteras de la Dirección de Vialidad (Chile).

se exponen diversas recomendaciones generales para el desarrollo de los estudios de diseño de instalaciones electromecánicas, de control y seguridad, al respecto, según el mismo Manual, los túneles en Chile se clasifican en tres categorías, según la longitud y TMDA, para túneles de longitud mayor a 200 mt.

2.2.2 La Directiva Europea 2004/54/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.

Se estipula los requisitos mínimos de seguridad para túneles de la Red TransEuropea de Carreteras y se aplica a aquellos túneles que tengan una longitud superior a 500 metros, independiente si se trata de túneles existentes o que estén en etapa de proyecto o construcción.

2.2.3 El Real Decreto 635/2006, del 26 de Mayo del 2006.

Se estipula los requisitos mínimos de seguridad en los túneles carreteros para el estado de España. Se aplica a aquellos túneles de nueva ejecución, en fase de construcción y proyecto.

2.2.4 Normativa Española IOS'98.

Esta norma regula las características de diseño y construcción

que deben tener los túneles. Se denomina "Instrucción para el proyecto, construcción y explotación de obras subterráneas para el transporte terrestre" del 19 de Noviembre de 1998, conocida como IOS'98. Es una norma que regula tanto los túneles viales como los ferroviarios por separado y se aplica a los túneles de nueva ejecución.

2.2.5 Normativa Francesa CETU (Centre d'Etudes des Tunnels).

La norma francesa surge a raíz del siniestro del incendio del túnel de Mont Blanc y por lo tanto, por ser la más acondicionada en materia de seguridad contra incendios. La norma francesa detallada es la circular interministerial Nº 2000-63 del 25 de Agosto del 2000. Esta normativa se aplica a todas las obras de nueva ejecución si la longitud del túnel es mayor a 300 metros. Las obras existentes se someterán a un informe de seguridad para la aprobación de un comité.

2.2.6 Normativa Estadounidense NFPA 502.

La norma NFPA (National Fire Protection Association) rige para túneles viales, puentes y otras carreteras de uso limitado. La clasificación y aplicación de elementos de seguridad en los túneles es en función de su longitud.

2.2.7 Normativa Alemana RABT.

Esta normativa alemana del año 2002 es un instructivo para el diseño de los equipos de seguridad en túneles, específicamente en los equipos eléctricos, diseño geométrico y ventilación para la fase de construcción y explotación del túnel. Los túneles se clasifican según su longitud.

2.2.8 Normativa Austriaca RVS.

La normativa austriaca RVS estipula diversos parámetros de equipos de seguridad basándose en análisis de riesgos cuantitativos en túneles de carretera. La norma aplica para todos los tipos de túneles (no limita la longitud del túnel para su utilización), tanto para túneles en servicio, en fase de proyecto, servicio, construcción y planeamiento.

En virtud de todas las normas descritas anteriormente, es conveniente realizar un análisis comparativo entre ellas con el objetivo de estudiar las diferentes recomendaciones para el diseño e implementación de los sistemas de seguridad.

Como todas las normas poseen diversos parámetros mínimos de seguridad debido a las características que posee cada túnel, es importante tener en cuenta que los equipamientos o sistemas de seguridad aplicados son los mismos. La diferencia radica en las condiciones o características que posee cada túnel. En la Tabla 1 se muestra un cuadro resumen de las normativas investigadas con relación a los equipamientos que recomienda cada una en los túneles.

Tabla 1. Cuadro resumen de equipamiento según las normativas.

Equipos e instalaciones de seguridad	Manual de Carreteras	Directiva 2004/54/CE	RD 635/2006	IOS' 98	CETU	NFPA 502	RABT	RVS
Ventilación e iluminación								
Ventilación	○	○	○	○	○	○	○	○
Iluminación normal	○	●	●	○	○	△	○	●
Iluminación de emergencia	○	●	○	○	●	●	●	●
Señalización elementos de seguridad	○	●	○	△	●	△	△	△
Instalaciones generales y geometría								
Centro de control	△	○	○	○	○	△	△	△
Aceras	●	△	○	○	●	△	△	△
Salidas de emergencia	○	○	○	○	○	○	○	○
Energía	●	●	●	●	●	●	●	●
Grupo electrógeno	●	△	○	○	●	△	△	△
SAI para elementos	●	△	○	○	●	△	△	△
Detección y extinción de incendios								
Detección de incendio	○	●	○	●	○	●	○	○
Red húmeda	○	●	○	●	●	●	○	○
Extintores	●	○	○	△	○	●	○	○
Otras instalaciones de seguridad								
CCTV	○	○	○	○	○	●	○	○
Detección de incidentes	○	○	○	△	○	△	△	○
Semáforos en acceso	○	○	○	○	●	△	△	△
Semáforos interiores	△	○	○	○	●	△	△	△
Barreras de cierre	△	△	○	○	●	△	○	△
Paneles de mensaje variable	○	●	○	○	○	●	●	○
Megafonía	△	○	○	○	△	△	○	○
Postes SOS	○	○	○	○	○	△	○	○
Señalización variable	●	●	●	●	●	●	●	●
△ No considerado (no hay referencia)								
○ Aplica con restricciones								
● Obligatorio								

Fuente: Tesis "Recomendaciones para la implementación de sistemas de seguridad de túneles viales en Chile".

3. Análisis de Resultados

La aplicación de las normas se refiere a qué túneles es aplicable cada normativa, por ello existen múltiples diferencias relacionadas a la aplicabilidad de las normas, refiriéndose a túneles existentes, de nueva ejecución y en algunos casos se relacionan a túneles que sobrepasan límites de longitud, como es el caso del Manual de Carreteras, cuya aplicación se basa en túneles de longitud mayor a 200 m, aunque no hace la diferencia si es empleada para túneles nuevos, en construcción o existentes. Esto puede resultar sencillo desde el punto de vista de diseño, pero es muy distinto aplicar criterios a túneles ya existentes como a túneles de nueva ejecución, debido a que uno de los aspectos que más influye es el costo o inversión a utilizar para el equipamiento.

En túneles de nueva ejecución o en fase de construcción, el costo del equipamiento se considera en las primeras etapas del proyecto, en cambio en un túnel existente se debe realizar un estudio de costo con el objetivo de buscar una solución óptima para implementar los nuevos sistemas de seguridad (en caso que los niveles de seguridad no sean los adecuados). En términos de instalación de equipamiento en túneles existentes, se debe ocupar en algunos casos parte de la calzada, ocasionando congestión, más aún en túneles bidireccionales. Por este motivo es importante indicar el campo de aplicación de las normas y hacer la distinción hacia qué tipo de túneles se aplica (correspondiente a la fase en que se encuentre).

Por otro lado, se debe tener en cuenta desde qué longitud es necesario implementar equipamientos de seguridad o desde qué longitud es aplicable la normativa, ya sea para emplear los parámetros mínimos, equipamiento mínimo, etc. La restricción determinada por el Manual de Carretera (aplicable a túneles sobre los 200 m) se debe a que los túneles cortos no requieren de equipamientos específicos. Sin embargo, la Directiva Europea 2004/54/CE restringe su uso para túneles sobre los 500 m y la norma francesa CETU por sobre los 300 m. Las demás normas en estudio se aplican para todo tipo de túnel, por lo tanto es necesario establecer criterios para la recomendación de medidas o equipamiento en nuestro país.

3.1 Propuesta: Metodología para el Diagnóstico Túneles Viales Existentes

La metodología para realizar el catastro de los túneles es en base a los estudios realizados por la Eurotap (Programa de Evaluación de Túneles Europeos). Este programa cuenta con más de 370 túneles analizados en toda Europa, lo que se convierte en el programa más importante a nivel europeo en relación a la inspección de túneles. La lista de control es

dividida en ocho categorías diferentes, mostradas en la Tabla 2

Tabla 2. Lista de control para el cálculo del potencial de seguridad.

Categoría	Ponderación
Sistema del túnel	14%
Iluminación y suministro eléctrico	7%
Tráfico y control de tráfico	17%
Comunicación	11%
Salidas de emergencia y salvamento	14%
Protección contra incendio	18%
Ventilación	11%
Gestión de incidentes o accidentes	8%

Fuente: Informe Eurotap, 2010

Por otro lado para la evaluación del potencial de riesgo, se consideran los parámetros mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3. Parámetros para la evaluación del potencial de riesgo.

Categorías	Valoración
Longitud del túnel (Ltun)	1 a 6 puntos
Intensidad del tráfico, dependiendo del sentido de circulación: Unidireccional o bidireccional	1 a 10 puntos
Porcentaje de vehículos pesados	8 puntos máx.
Transporte de materiales peligrosos	5 puntos máx.
Densidad del tráfico (vehículos por día y pista)	5 puntos máx.
Pendiente máxima del túnel	3 puntos máx.
Riesgos adicionales, pendientes prolongadas, inundaciones, intersecciones en el túnel.	3 puntos máx.

Fuente: Informe Eurotap, 2010.

Según el puntaje obtenido anteriormente para cada uno de los parámetros, éstos se suman y el resultado obtenido clasifica el nivel de riesgo que posee el túnel (Tabla 4)

Tabla 4. Clasificación del nivel de riesgo.

Riesgo	Valoración
Muy bajo	2 a 9 puntos
Bajo	10 a 14 puntos
Medio	15 a 21 puntos
Alto	22 a 28 puntos
Muy alto	29 puntos o más

Fuente: Informe Eurotap, 2010

En complemento a la evaluación anterior, se realiza la evaluación a través del método austriaco para determinar la categoría de riesgo, en base a la Norma Austríaca RVS 9.232, el coeficiente de riesgo define el grado de peligro al cual puede estar sometido el túnel, en función del volumen vehicular, del tipo de circulación en el túnel, de la probabilidad que ocurra un incidente y por la circulación de vehículos con mercancías peligrosas. El cálculo del potencial de riesgo (G):

$$G = MSV \cdot g_R \cdot g_K \cdot g_C \quad Ec. 1$$

donde:

G: Potencial de riesgo

MSV: Volumen Horario Determinante (hora 30 en todo el año, camiones con factor 2,5)

g_R : Factor de 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_G : Factor de carga peligrosa: entre 1 y 2, según sean < 10 ó > 50 vehículos por día

Tabla 5. Rango de categoría de riesgo en un túnel.

Categoría de Riesgo	Descripción
I - $G < 1000$	Túneles con bajo volumen de tránsito.
II - $1001 < G < 2500$	Túneles bidireccionales con volumen de tránsito, moderado o unidireccionales con alto tránsito.
III - $2500 < G < 10000$	Túneles con alto volumen de tránsito y factores de riesgo adicionales.
IV - $G > 10000$	Túneles con alto volumen de tránsito y factores de riesgo adicionales. Túneles urbanos.

Fuente: Norma RVS 9.232

El cálculo del factor de seguridad se basa en la Norma Austríaca RVS 9.232, en función de la provisión de vías de evacuación, del concepto de extracción de humos a través del sistema de ventilación y por elementos de operación, entre otros.

$$S = S_R \cdot S_W \cdot S_B \quad Ec. 2$$

donde:

S : Coeficiente de seguridad del túnel

S_R : Parámetro en relación a la extracción de humos
 $R_Q + R_A$; R_Q componente sección transversal (H/5; H: altura libre del túnel)

R_A componente de extracción ($R_{AP} = 800/a$; a: distancia entre puntos de extracción para la ventilación longitudinal o $R_{AV} = 1+V/80$; V: volumen de extracción en m³/s para ventilación transversal)

S_W : Parámetro en relación a la distancia de escape
 $W_F + W_E$; W_F componente de escape ($W_F = 2 - F$; F: distancia de escape en km.)

W_E componente de rescate ($W_E = 1,5 - 0,1 \cdot L$; L: distancia de rescate dentro del túnel)

S_B : Parámetro en relación a elementos de operación
 $1 + \sum B_i$; B_i : componentes de operación

Tabla 6. Valores parámetro B_i para el cálculo del Coeficiente de seguridad.

Componente B_i	Componente B_i
tro de control = 2	Guía carga peligrosa = 0,5
Sitio supervisión = 0,5	Brig. c/incendio en c/acceso = 1
Transmisión Video = 0,5	Detección Automática Incendio = 1
Reconoc. Autom. Congestión = 0,5	Reconocimiento fuego lento = 0,5
Reconoc. Autom. Carga Peligrosa = 1	Radio con acceso a usuarios = 0,5

Fuente: Norma RVS 9.232.

Finalmente, para verificar el valor del coeficiente de seguridad se debe cumplir con los siguientes requisitos, dependiendo de la categoría del riesgo, calculado en la Ecuación 3.1, donde el requerimiento de seguridad debe ser mayor a los valores estipulados (según la Tabla 3.3), para que el túnel cumpla con el estándar de seguridad. En caso contrario, el túnel se encuentra por debajo del requerimiento de seguridad según la categoría de riesgo asociada.

Tabla 7. Requerimiento de seguridad según la Categoría del riesgo.

Categoría de riesgo	Requerimiento de seguridad
I	$S \geq 1$
II	$S \geq 5$
III	$S \geq 10$
IV	$S \geq 15$

Fuente: Norma RVS 9.232

3.2 Recomendaciones para la implementación Sistemas de Seguridad en Túneles Viales

Del análisis y evaluación realizada a las normativas internacionales se pueden generar el siguiente listado de recomendaciones para equipamiento y gestión de la emergencia, a ser incluidas en el Manual de Carreteras y otros documentos técnicos del rubro, para la implementación de sistemas o medidas de seguridad en túneles nuevos y existentes, para mejorar el estándar de seguridad de los túneles viales en Chile, definidas en función de su longitud (L_{tun}) y TMDA:

Tabla 8. Recomendaciones de los sistemas de seguridad.

Equipamiento	Recomendaciones Manual de Carreteras
Ventilación	a. $L_{tun} < 200$ m utilizar ventilación natural. b. $L_{tun} > 200$ m utilizar ventilación mecánica
Iluminación	a. $L_{tun} < 200$ m recomendable. b. $L_{tun} > 200$ m obligatorio instalar iluminación normal, de emergencia y de seguridad
Centro de control	Es necesario cuando existe equipamientos que requieren monitoreo permanente
Salidas de emergencia	a. $L_{tun} < 1.000$ m recomendable b. $L_{tun} > 1.000$ m recomendable, distancia entre salidas < 500 m, se consideran los accesos como salidas de emergencia
CCTV	Recomendable (túnel debe poseer centro de control)
Energía	Recomendable para todos los túneles
Grupo electrógeno	a. $200 \text{ m} < L_{tun} < 1.000 \text{ m}$ Recomendable b. $L_{tun} > 1.000 \text{ m}$, Obligatorio
SAI	a. $200 \text{ m} < L_{tun} < 1.000 \text{ m}$ Recomendable b. $L_{tun} > 1.000 \text{ m}$, Obligatorio
Red húmeda	c. $L_{tun} < 200$ m obligatorio instalar en los accesos. a. $L_{tun} > 200 \text{ m}$ y $TMDA < 12.500 \text{ veh/día}$ obligatorio instalar cada 250 m b. $L_{tun} > 200 \text{ m}$ y $TMDA > 12.500 \text{ veh/día}$, obligatorio instalar cada 150 m
Extintores	$L_{tun} < 200$ m obligatorio instalar en los accesos. $L_{tun} > 200 \text{ m}$ y $TMDA < 12.500 \text{ veh/día}$ obligatorio instalar cada 250 m $L_{tun} > 200 \text{ m}$ y $TMDA > 12.500 \text{ veh/día}$, obligatorio instalar cada 150 m
DAI	Recomendable para todo tipo de túnel
Detección de incendio	Obligatorio para todo tipo de túnel
Semáforos	Obligatorio para todo tipo de túnel en los accesos
Barreras	Obligatorio para todo tipo de túnel en los accesos
Señalización	Obligatorio instalar señalización fija y variable según corresponda (servicios, vial, escape, etc.)
Nichos de emergencia	a. $L_{tun} < 200$ m obligatorio instalar en los accesos. b. $L_{tun} > 200 \text{ m}$ y $TMDA < 12.500 \text{ veh/día}$ obligatorio instalar cada 250 m c. $L_{tun} > 200 \text{ m}$ y $TMDA > 12.500 \text{ veh/día}$, obligatorio instalar cada 150 m
Megafonía/radio	a. $200 \text{ m} < L_{tun} < 1.000 \text{ m}$ Recomendable b. $L_{tun} > 1.000 \text{ m}$, Obligatorio megafonía - Recomendable sistema de radio

Fuente: Tesis "Recomendaciones para la implementación de sistemas de seguridad de túneles viales en Chile", actualizado julio 2023.

Como medida global, obligatoriamente se debe contar con un Plan de Operación del Túnel que sea dirigida por un único centro de control, dotado de equipos informativos y comunicacionales, para poder detectar a tiempo cualquier incidente en el túnel, al respecto se debe contar con:

3.2.1 Plan de acción de emergencia:

El plan de acción ante la emergencia consiste en un instructivo que debe dar conocimiento a los operadores de cómo deben actuar frente a incidentes, priorizando la reducción del riesgo a las personas y luego a las instalaciones y estructura del túnel. Se debe capacitar constantemente a las personas que operan el túnel en las acciones que permitan lograr dicho objetivo.

3.2.2 Plan de mantención y conservación:

Las labores de conservación son aquellos trabajos que se realizan a la infraestructura del túnel, como por ejemplo, restauración del pavimento de la calzada, reparación de los hastiales y bóveda, etc., con el objetivo de asegurar un tránsito cómodo y seguro por parte de los usuarios en situación normal o en situaciones de emergencia.

4. Conclusiones

- El diseño de los equipos de emergencia, principalmente el sistema de ventilación, debe estar dentro del estándar de seguridad permitido a lo largo de toda la vida útil definida para el proyecto de túnel, debido a que a medida que aumenta el flujo vehicular, aumentan los niveles de opacidad, de CO, NOx y OP, por lo que es necesario un sistema de ventilación capaz de extraer y reducir tal concentración de contaminantes bajo ese parámetro temporal.
- Durante la etapa de diseño, será necesario tener en cuenta la disposición de los equipos de seguridad adecuados, pues es recomendable que el túnel disponga sólo de los equipamientos necesarios. No es necesario que los túneles viales tengan todos los equipamientos existentes en el mercado para garantizar un buen nivel de seguridad desde la puesta en servicio.
- Al aplicar la *Metodología para el Diagnóstico Túneles Viales Existentes* se debe considerar el costo de implementar sistemas de seguridad en esa condición, pues estos ocupan un espacio físico importante, lo que podría implicar modificar la configuración y tamaño de la caverna, llegando a ser más caro que construir un tubo nuevo con un tamaño adecuado y dejar el tubo existente como galería de evacuación de emergencia y otros fines.

- Las normativas que han sido estudiadas y analizadas en este informe son las más utilizadas a nivel mundial, pues son las que presentan mejores estándares de seguridad, principalmente el de la Directiva Europea 2004/54/CE, cuyo trabajo se desempeña en conjunto con la PIARC. Es recomendable contextualizar los criterios a la realidad chilena.
- Se debe tener especial cuidado en el plan de acción ante incendios, pues es el evento más crítico que se puede tener dentro de un túnel vial, para ello se debe establecer absoluta coordinación y cooperación entre las personas que operan el túnel y organismos de emergencia (bomberos, ambulancias, etc.).
- Es recomendable realizar trabajos de conservación cada mes, con tal de inspeccionar el estado de infraestructura del túnel, evitando deterioro de la calzada, filtraciones en las paredes del túnel, desprendimiento de roca, etc.
- A lo anteriormente expuesto, se ha de agregar que; es imprescindible considerar en el diseño de equipamiento y sistemas de seguridad en túneles viales la coherencia entre un adecuado diseño de seguridad, geometría vial del túnel y sus accesos (que son invariantes en el tiempo), de otro modo los sistemas de seguridad serían equipamiento “muerto” y la gestión de la emergencia sería sólo papel. Al respecto, se debe tener en consideración los siguientes aspectos conceptuales para el diseño geométrico vial del túnel y sus accesos:
 - a) Realizar verificación de visibilidad en planta y alzado: Distancia de parada, despeje lateral, V^* , etc.
 - b) Trazado en planta: Longitudes máximas y mínimas en recta, V_{85} , V_e , Radio de curvas circulares, uso de clotoideas, relación entre radios consecutivos (evitar curvas y contracurvas al interior del túnel y accesos), sobreanchos, etc.
 - c) Trazado en alzado: Ubicación e inclinación de la rasante, enlace de rasantes con curvas verticales adecuadas, verificación de distancias de visibilidad, etc.
 - d) Sección transversal: coherencia entre V_p , elementos del perfil tipo (pistas, bermas, medianas, SAP, bombeos, etc), trazado en planta y alzado.
 - e) Se debe tener especial cuidado en la composición de los alineamientos verticales y horizontales, a saber:
 - No se debe diseñar curvas y

contracurvas en los accesos e interior del túnel.

- No deben coincidir curvas horizontales con curvas verticales convexas.
- Se procurará evitar hacer coincidir curvas horizontales con curvas verticales cóncavas.
- Se debe verificar visibilidad en planta y alzado, considerando siempre sobreanchos y despejes laterales
- Las secciones de excavación deben considerar las holguras y geometrías suficientes para dar cabida a un adecuado diseño geométrico vial para el trazado del túnel y sus accesos.
- Diario Oficial de la Unión Europea (29 de Abril de 2004). *Directiva 2004/54/CE Del Parlamento Europeo y del Consejo sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras*. España.
- ESPINOZA MAURICIO (2013), *Recomendaciones para la implementación de sistemas de seguridad de túneles viales en Chile*, Tesis para optar al Título de Ingeniero Civil en Obras Civiles, Universidad Diego Portales, Chile, Profesor Guía: Ingeniero Civil Claudio López R.
- EUROTAP. (2010). *Informe Europeo de Evaluación de Túneles*.
- Ministerio de Fomento (26 de Mayo de 2006). *Real Decreto 635/2006. Requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carretera del Estado*. España.
- Ministerio de Obras Públicas – Dirección de Vialidad – DIVISIÓN DE TÚNELES (2023), *Manual de Recomendaciones de Estándares Generales Básicos Para Proyectos de Túneles Viales (Res. Ex. Dv N° 631 del 23.03.2023)*. Chile.
- Ministerio de Relaciones Exteriores, Declaración de Asunción sobre Corredores Bioceánicos (2015). Recuperado el 6 de mayo de 2023, de https://www.minrel.gob.cl/minrel_old/site/artic/20151221/asocfile/20151221164909/declaracion_de_asuncion_sobre_corredores_biocenicos.pdf
- José Luis Fuentes, C. I. (s.f.). *Influencia de la ventilación sobre los incendios en túneles*. Recuperado el 18 de 11 de 2012, de www.tunneltest.com
- Miguel Bustamante S., J. M. (2008). *La seguridad contra incendios en túneles. Realidad chilena y desafíos para Latinoamérica*.
- Ministerio de Obras Públicas. (s.f.). *La seguridad en el diseño de los túneles del camino La Pólvara*. Valparaíso, Chile.
- Orta, C. (2000). *Bomberos de Navarra: Incendio en túneles*.
- Zitrón. (s.f.). *Sistema longitudinal de ventilación. Influencia de un incendio en el dimensionamiento de la ventilación*.

5. Agradecimientos

“Los autores agradecen a la División de Ingeniería de la Dirección Nacional de Vialidad, Chile, y a la Universidad Diego Portales, Chile, por su apoyo durante el desarrollo de esta investigación”.

6. Referencias

- 502, N. (s.f.). *NFPA Journal Latinoamericano*. Recuperado el 26 de Junio de 2012, de http://nfpajla.org/index.php?activeSeccion_var=50&art=336
- 502, N. (2001). *Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways*. Estados Unidos.
- ALEGRÍA DIEGO (2018), *Recomendaciones al Diseño Geométrico para Túneles Viales en Chile*, Trabajo de Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil en Obras Civiles, Universidad Central, Chile.
- AIPRC. (2011). *World Road Association Mondiale De La Route*. Recuperado el 20 de Junio de 2012, de <http://www.piarc.org/es/>
- Böfer, M. (2006). *Aplicación de Nuevos Criterios de Seguridad en Túneles en Sudamérica*. Santiago.
- Denise Szántó Monsalve, R. C. (s.f.). *Sistemas de ventilación en túneles*. Chile.
- Estupiña Cano, S. F. (2002). *Túneles viarios urbanos: diseño, instalaciones y elementos de seguridad*. Cataluña.