

# Propuesta conceptual de recomendaciones para la estandarización del diseño geométrico de túneles viales en Chile

## Conceptual proposal for recommendations for the standardization of the geometric design of road tunnels in Chile

Claudio López<sup>1</sup>, Diego Alegría<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dirección Nacional de Vialidad, Santiago, Chile, claudio.lopez@mop.gov.cl

<sup>2</sup> Independiente, Concepción, Chile, diego.alegria91@gmail.com

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historial del artículo:

Recibido  
15-06-2024  
Aceptado  
07-12-2025  
Publicado  
30-12-2025

Palabras Clave:

Montaje  
Acero estructural  
Muros TEM y MTC.

Article history:

Received  
15-06-2024  
Accepted  
07-12-2025  
Available  
30-12-2025

Keywords:  
Assembly  
Structural steel  
TEM and MTC  
walls

### Resumen

El creciente aumento en la demanda de uso del espacio vial subterráneo, junto con los cambios en el estándar de dimensiones y velocidades de los vehículos motorizados, resalta la necesidad de contar con una red de túneles viales que tenga una geometría vial segura y cómoda para la circulación de todos los tipos de vehículos motorizados. Actualmente en Chile, el Manual de Carreteras proporciona lineamientos generales en el diseño geométrico vial para túneles, pero los parámetros específicos mínimos no están estandarizados, lo que puede implicar diseños inseguros, como en el caso del Túnel Jardín Botánico en Chile, que presenta una configuración curva/contracurva en el acceso e interior de los tubos, generando una alta accidentabilidad. En vista de lo anterior, se hace imprescindible proponer un estándar mínimo en el diseño geométrico vial de túneles que asegure una adecuada estabilidad transversal para todos los tipos de vehículos. Este estándar debe permitir un perfil transversal cómodo que permita la circulación fluida de vehículos, incluso los del tipo Bitrén, y con una adecuada visibilidad. El presente documento entrega recomendaciones fundamentales para la actualización del Manual de Carreteras en aspectos específicos del diseño geométrico vial en túneles. Para ello, se ha realizado una investigación de varios documentos ad-hoc extranjeros, provenientes de la Unión Europea, PIARC y otros países líderes en el tema. Estas recomendaciones están resumidas en la Memoria 'Recomendaciones al Diseño Geométrico para Túneles Viales en Chile', desarrollada por los autores, y están directamente relacionadas con el apartado 3.802 del Manual de Carreteras.

### Abstract

The growing demand for underground road space, together with changes in the standard dimensions and speeds of motor vehicles, highlights the need for a network of road tunnels with a safe and comfortable road geometry for all types of motor vehicles. Currently in Chile, the Highway Manual provides general guidelines for the geometric design of tunnels, but the specific minimum parameters are not standardized, which can lead to unsafe designs, as in the case of the Jardín Botánico Tunnel in Chile, which has a curve/counter-curve configuration at the entrance and inside the tubes, resulting in a high accident rate. In view of the above, it is essential to propose a minimum standard for the geometric design of tunnels that ensures adequate transverse stability for all types of vehicles. This standard should allow for a comfortable cross-sectional profile that allows for the smooth flow of traffic, including B-trains, and adequate visibility. This document provides fundamental recommendations for updating the Highway Manual on specific aspects of road geometric design in tunnels. To this end, research has been conducted on several ad hoc foreign documents from the European Union, PIARC, and other leading countries in this field. These recommendations are summarized in the report 'Recommendations for the Geometric Design of Road Tunnels in Chile', developed by the authors, and are directly related to section 3.802 of the Highway Manual.

\* Corresponding author at: Claudio López, Dirección Nacional de Vialidad, Santiago, Chile. E-mail address; claudio.lopez@mop.gov.cl

RIOC

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

Vol. 13, no. 03, pp. 26–36, Diciembre 2025

## 1. Introducción

El desafío para la ingeniería vial en Chile, un país con una accidentada geomorfología que incluye la Cordillera de los Andes, cordones montañosos transversales, cauces, ríos, valles y otros accidentes geográficos, es proporcionar una infraestructura tunelera vial con diseños geométricos que permitan la circulación de todo tipo de vehículos cumpliendo los actuales estándares de dimensiones y velocidad. Esto incluye, posiblemente, vehículos del tipo Bitrén, utilizados con restricciones en algunos países de Sudamérica. La meta es facilitar la conectividad vial entre diferentes zonas del país y su entorno internacional, asegurando una seguridad vial activa y pasiva, y fortaleciendo la adhesión de Chile a la Declaración de Asunción sobre Corredores Bioceánicos desde 2015.

Actualmente, el diseño geométrico de túneles viales y sus accesos se encuentra desactualizado en relación con los planteamientos indicados en la sección 3.802 del Manual de Carreteras. Esta sección proporciona definiciones conceptuales respecto del trazado en planta, alzado y sección transversal, La metodología de investigación para este documento se ha dividido en dos momentos. En el primero, denominado "Generalidades Metodológicas", se resumen las actividades desarrolladas para la elaboración del presente informe. En el segundo momento, titulado "Desarrollo Metodológico Específico", se detalla el análisis comparativo entre las normativas nacionales e internacionales. Se incluyen la Directiva Europea y las normativas de España, Francia, Alemania, Austria, Estados Unidos y Chile. Finalmente, en otro apartado, se presentan las conclusiones y recomendaciones de parámetros mínimos a considerar en el diseño geométrico vial de túneles y sus accesos en Chile

### 2.1 Generalidades metodológicas.

Se describe la metodología de elaboración del trabajo a presentar, la que se basa en estudios y análisis comparativos de normativas internacionales v/s el caso nacional, y así elaborar recomendaciones al diseño geométrico en túneles viales y sus accesos para Chile.

#### 2.1.1 "Revisión Manual de Carreteras en tópicos de diseño geométrico y seguridad en túneles viales"

Se realiza una revisión a la información disponible en el Manual de Carreteras Volumen 3, específicamente en los apartados 3.200 "Diseño Geométrico del Trazado", 3.300 "La Sección Transversal" y 3.800 "Túneles" para el diseño geométrico y el posterior análisis de brechas informativas que puedan existir en aspectos de geometría vial.

#### 2.1.2 "Selección, recopilación de información y criterios de

pero no establece claramente cuáles son los parámetros mínimos que se deben verificar en el diseño geométrico vial. Como resultado, existen túneles viales con trazados que son inseguros y presentan altos niveles de accidentabilidad, tanto en sus accesos como en el interior de los tubos. Por lo tanto, es imprescindible mejorar los niveles de seguridad vial activa y pasiva, considerando parámetros que son invariantes en el tiempo (que no se modifican debido a su alto costo u otros factores), como el trazado geométrico vial del túnel. Este debe tener un adecuado diseño tridimensional dinámico, es decir, que entregue la mejor composición del trazado en planta, alzado y sección transversal.

Para abordar esta problemática, esta investigación desarrollará conclusiones y recomendaciones conceptuales específicas que permitan plantear un estándar mínimo para el diseño geométrico en planta, alzado y sección transversal de túneles viales en Chile. El objetivo es garantizar el tránsito seguro de vehículos motorizados

## 2. Metodología

### *elección en manuales extranjeros de países con experiencia en túneles viales"*

Se revisan los manuales internacionales, que sean líderes del tema, tanto en el diseño geométrico de túneles viales como en su equipamiento de seguridad. Este estudio se centrará en las naciones de: Francia, España y Noruega.

#### 2.1.3 "Análisis de directrices para el diseño geométrico en túneles viales"

Se estudian las normativas seleccionadas, identificándose la filosofía de diseño, es decir, la prevalencia que rige para cada uno de los países en análisis generando criterios para el diseño geométrico en general.

#### 2.1.4 "Contrastar información recopilada de las normativas estudiadas"

Se compara la información que propone cada una de las recomendaciones de los países analizados, tomando como base lo expuesto por el Manual de Carreteras de Chile.

#### 2.1.5 "Contextualización de normas"

En el análisis comparativo de las normas y su aplicabilidad para túneles viales en Chile, se elaborará una clasificación de criterios de selección de información para las recomendaciones y requerimientos, a través de un marco comparativo normativo.

#### 2.1.6 "Recomendaciones al diseño geométrico para túneles viales en Chile"

Las recomendaciones finales, son en base a los análisis realizados en los pasos anteriores, concluyendo directrices

propias para Chile.

## 2.2 Desarrollo metodológico específico.

### 2.2.1 “Aplicabilidad del diseño de vías a cielo abierto del Manual de Carreteras en túneles viales”

En el siguiente análisis, se emplea la metodología de diseño para vías a cielo abierto y se evalúa su posible aplicabilidad al diseño geométrico vial de túneles, siguiendo las indicaciones de la sección 3.200 y 3.300 del Manual de Carreteras. Las tablas N° 1,

2, 3 y 4 (actualizadas al 2023 por los autores), donde se muestran los parámetros mínimos de diseño geométrico vial a considerar para lograr un adecuado diseño tridimensional dinámico en vías a cielo abierto. Las filas indican estos parámetros, mientras que las columnas detallan la sección del Manual de Carreteras en la que se encuentra la información y su aplicabilidad en túneles viales y sus accesos.

**Tabla 1.** Parámetros Diseño Geométrico del trazado – Visibilidad. Fuente: Memoria “Recomendaciones al Diseño Geométrico para Túneles Viales en Chile”, 2018.

PARÁMETRO	REFERENCIA	APLICABILIDAD EN TÚNELES
<b>DISTANCIAS DE VISIBILIDAD Y MANIOBRAS ASOCIADAS</b>		
Distancia de Parada	3.202.2	APLICA
Visibilidad de Parada Puntos Singulares	3.202.201	APLICA
Distancia de Adelantamiento	3.202.3	NO APLICA
Efecto Pendiente para Distancia de Adelantamiento	3.202.301	NO APLICA
Frecuencia de Zonas Adecuadas Para Adela.	3.202.302	NO APLICA
Zonas de adelantamiento	3.202.303	NO APLICA
Verificación de Visibilidad	3.202.4	APLICA
Verificación de Visibilidad En Planta	3.202.402	APLICA
Distancia del Conductor Al Borde Pista Crítico	3.202.402 (A)	APLICA
Despeje Lateral Requerido Por Visibilidad de Parada	3.202.402 (B)	APLICA
Verificación Gráfica Visibilidad Alzado	3.202.403	APLICA
Control de Deslumbramiento	3.202.5	APLICA
Eficacia Sistema Anti-Deslumbramiento	3.202.501	APLICA

De la tabla 1, se desprende que solo algunos parámetros de visibilidad deben considerarse en el diseño geométrico de túneles viales. En particular, el adelantamiento no se considera, ya que está prohibido por ley de tránsito al interior de un túnel, al menos en aquellos de características bidireccionales. Adicionalmente, es imprescindible asegurar las distancias de visibilidad de parada y los respectivos despejes laterales en el lado interno de las curvas en planta. Dado que el trazado en planta define la estabilidad dinámica del vehículo, se debe

plantear siempre en el diseño geométrico vial una adecuada definición de la Velocidad de Proyecto ( $V_p$ ) a lo largo de la vida útil definida para el túnel. También se debe considerar la Velocidad del percentil 85 ( $V_{85}$ ) y la Velocidad de visibilidad ( $V^*$ ), lo que permite conjugar una adecuada definición de alineamientos rectos y curvas horizontales. En la tabla 2, se muestran los parámetros mínimos que se aplican al trazado en planta a cielo abierto y su aplicabilidad al trazado en planta de túneles viales.

**Tabla 2.** Parámetros Diseño Geométrico del trazado - Planta. Fuente: Memoria “Recomendaciones al Diseño Geométrico para Túneles Viales en Chile”, 2018.

PARÁMETRO	REFERENCIA	APLICABILIDAD EN TÚNELES
<b>TRAZADO EN PLANTA</b>		
Localización Eje En Planta	3.203.102	APLICA
Criterios Trazado Planta	3.203.103	APLICA
Alineamiento Recto	3.203.2	APLICA
Longitudes Máximas En Rectas	3.203.202	APLICA
Longitudes Mínimas En Rectas	3.203.203	APLICA
Curvas Circulares	3.203.3	APLICA
Radios Mínimos Absolutos	3.203.302	APLICA
Valores Máximos Peraltes Y Fricción Transversal	3.203.302 (A)	APLICA
Curvas Horizontales Con Radios Sobre Los Mínimos	3.203.303	APLICA
Relación Radio-Peralte	3.203.303	APLICA
Desarrollo Mínimo Curvas Horizontales	3.203.303 (4)	APLICA
Línea De Máxima Pendiente	3.203.303 (5)	APLICA
Relación Entre Radios Consecutivos	3.203.304	APLICA
Desarrollo De Peralte En Curvas Circ. S/Curvas Enl.	3.203.305	APLICA
Eje De Giro De Peralte	3.203.305 (2)	APLICA
Eje De Giro Normal	3.203.305 (3)	APLICA
Sobrecancho En Curvas Circulares	3.203.306	APLICA
Arcos De Enlace O Transición	3.203.4	APLICA
Composición Del Alineamiento Horizontal	3.203.5	APLICA

De la tabla 2 se puede observar que los parámetros de diseño geométrico vial en planta, aplicables a cielo abierto, son igualmente válidos para túneles viales y sus accesos. Esto se debe a que el trazado en planta es determinante para la

estabilidad dinámica de los vehículos que transitarán por la vía, tanto a cielo abierto como confinados en un túnel. En la tabla 3 se presentan los parámetros mínimos a considerar en alzado para cielo abierto y su aplicabilidad en túneles viales

**Tabla 3.** Parámetros Diseño Geométrico del trazado – Alzado. Fuente: Memoria “Recomendaciones al Diseño Geométrico para Túneles Viales en Chile”, 2018.

PARÁMETRO	REFERENCIA	APLICABILIDAD EN TÚNELES
<b>TRAZADO EN ALZADO</b>		
Ubicación Rasante R/Perfil Transversal	3.204.2	APLICA
Inclinación De Las Rasantes	3.204.3	APLICA
Pendientes Máximas	3.204.301	APLICA
Pendientes Mínimas	3.204.302	APLICA
Longitud En Pendiente y Velocidad de Operación	3.204.303	APLICA
Enlaces De Rasantes	3.204.4	APLICA
Curvas Verticales De Enlace	3.204.401	APLICA
Criterios de Diseño para Curvas Verticales	3.204.402	APLICA
Parámetros Mínimos por Visibilidad de Parada	3.204.403	APLICA
Longitud Mínima de Curvas Verticales	3.204.404	APLICA
Parámetros Mínimos por Visibilidad de Adelantamiento	3.204.405	APLICA
Drenaje en Curvas Verticales	3.204.5	APLICA
Composición del Alineamiento Vertical	3.204.6	APLICA
Rasantes Asociadas A Estructuras	3.204.602	APLICA

Los parámetros del alzado a cielo abierto deben ser utilizados en su totalidad para lograr un diseño seguro y cómodo en túneles viales.

En cuanto a la sección transversal, es fundamental considerar la tipología de vehículos que utilizarán el túnel tanto en el momento de su puesta en servicio como durante su vida útil proyectada, es especialmente relevante proyectar los túneles

teniendo en cuenta el contexto de Chile y el comercio bioceánico Pacífico/Atlántico, lo que implica considerar el uso de vehículos de mayor capacidad de carga, como el tipo Bitrén. En la tabla 4 se presentan los parámetros mínimos para el diseño de la sección transversal a cielo abierto, y su aplicabilidad a túneles viales.

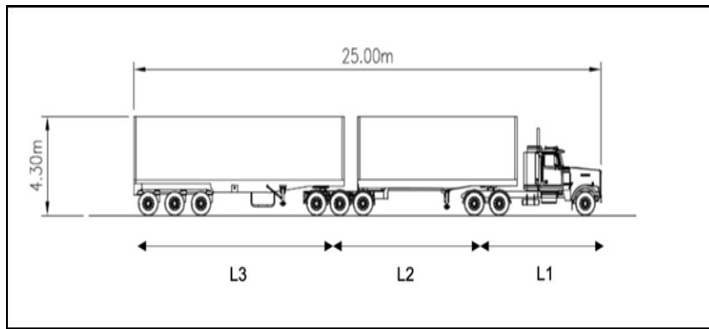
**Tabla 4.** Diseño geométrico de la sección transversal de plataforma. Fuente: Memoria “Recomendaciones al Diseño Geométrico para Túneles Viales en Chile”, 2018.

PARÁMETRO	REFERENCIA	APLICABILIDAD EN TÚNELES
<b>SECCIÓN TRANSVERSAL</b>		
Calzadas	3.302.2	APLICA
Bermas	3.302.3	APLICA
Sobrancho De La Plataforma (SAP)	3.302.4	APLICA
Mediana	3.302.5	APLICA
Pistas Auxiliares	3.302.6	APLICA
<b>DISEÑO DE LA INFRAESTRUCTURA</b>		
Sección Transversal De La Plataforma De Subrasante	3.303.2	APLICA
Elementos De La Infraestructura Para Sec. Terraplén	3.303.3	NO APLICA
Elementos De La Infraestructura Para Sec. Corte	3.303.4	APLICA
Alabeo De Taludes	3.303.5	NO APLICA
Estructuras De Sostenimiento De Tierras	3.303.6	NO APLICA
Obras De Protección De Taludes	3.304	NO APLICA
Reposiciones De Servicio	3.305	APLICA
Secciones Tipo Normales	3.306.1	APLICA
Secciones Especiales, Gálidos	3.306.2	APLICA
Faja Afectada O Derecho De Vía	3.307	APLICA
Instrucciones Y Criterios Para Obras Varias	3.308	APLICA
Tratamiento De Zonas Marginales	3.309	APLICA

### 2.2.2 “Consideración de sobrancho por circulación libre en caminos públicos de vehículos tipo Bitrén”

En curvas de radio pequeño y mediano ( $30 \text{ m} < R < 380 \text{ m}$ ), es necesario ensanchar la calzada para asegurar espacios libres adecuados entre los vehículos que circulan por la carretera o camino, ya sea en calzadas tipo bidireccional o unidireccional.

Según AASTHO 2011, para cualquier vehículo articulado, cada punto de articulación se utiliza para determinar el sobrancho necesario por el vehículo cuando está en una curva. Por lo tanto, al analizar un semirremolque corriente con una articulación en un Bitrén, es necesario reformular los parámetros considerando la segunda articulación correspondiente en el primer semirremolque del Bitrén.



**Figura 1.** Variables de sobreeje para Vehículo articulado tipo Bitrén. Fuente: Memoria "Análisis Geométrico Vial de Vehículos Pesados Tipo Bitrén para Determinar factibilidad de su libre circulación en Caminos Públicos de Chile".

Dado lo anterior, se agregará una nueva variable al parámetro de cálculo. Esta nueva variable será "L3", que representa la distancia entre el pivote de apoyo de la articulación tipo quinta rueda y el último eje del tandem trasero. La inclusión de la nueva variable "L3" reformulará el parámetro para el cálculo de la necesidad de sobreeje. En la Ecuación 1 se establecerá el cálculo de sobreeje para vehículos tipo Bitrén:

$$\text{Sobreeje (E.)} = \left( \frac{L1 + L2 + L3}{R} \right) - 0,20 \quad (1)$$

Donde:

L1 = Distancia entre parachoques delantero y ultimo eje camión tractor.

L2 = Distancia entre pivote mesa de apoyo de tractocamión y pivote mesa de apoyo del primer semirremolque.

L3 = Distancia entre pivote mesa de apoyo primer semirremolque y ultimo eje del tandem trasero

R = Radio de la curva.

En la Tabla 5 se resume el cálculo de sobreejes requerido para cada tipo de vehículo tipo Bitrén en curvas de radio pequeño y mediano, analizado en la Memoria Análisis Geométrico Vial de Vehículos Pesados Tipo Bitrén para Determinar factibilidad de su libre circulación en Caminos Públicos de Chile:

**Tabla 5.** Ensanches calculados para calzada de 7,0 m con dos pistas. Fuente: Memoria "Análisis Geométrico Vial de Vehículos Pesados Tipo Bitrén para Determinar factibilidad de su libre circulación en Caminos Públicos de Chile"

	Semirrem. 18,6 m			Bitren 22,40 m			Bitren 25,50 m			Bitren 30,25 m		
R (m)	E.total (m)	E.Int (m)	E.Ext (M)	E.total (m)	E.Int (m)	E.Ext (M)	E.total (m)	E.Int (m)	E.Ext (M)	E.total (m)	E.Int (m)	E.Ext (M)
80	2,05	1,44	0,62	1,97	1,38	0,59	2,53	1,77	0,76	3,52	2,46	1,06
120	1,30	0,91	0,39	1,25	0,87	0,37	1,62	1,13	0,49	2,28	1,60	0,68
180	0,80	0,56	0,24	0,77	0,54	0,23	1,01	0,71	0,30	1,45	1,02	0,44
260	0,49	0,35	0,15	0,47	0,33	0,14	0,64	0,45	0,19	0,94	0,66	0,28

De lo anterior se deduce que la consideración de vehículos tipo Bitrén circulando libremente por los Caminos Públicos en Chile tendrá impactos dependiendo de sus dimensiones. Por ejemplo, un Bitrén de 22,40 m no generará un impacto geométrico significativo en la necesidad de sobreeje para una calzada de 7,0 m, lo que permitirá su libre circulación por los caminos públicos del país. En cambio, para longitudes mayores o iguales a 25 m, se observará un aumento del sobreeje necesario en las clotoides para asegurar espacios libres adecuados en el diseño de calzadas de túneles viales. Este aspecto deberá analizarse a nivel gubernamental tanto a nivel nacional como internacional, especialmente con relación a la conectividad vial bioceánica

Pacífico/Atlántico y el estándar de vehículos que circularán libremente por los Caminos Públicos.

### 2.2.3 Análisis normativo internacional.

De los documentos técnicos y normativos en estudio, se extraen los criterios principales para el diseño geométrico vial, al respecto, se ha realizado un análisis comparativo entre ellos según se muestra en la Tabla N°6, donde aparece explicitado si el criterio es abordado con varias indicaciones se debe revisar la norma respectiva:

**Tabla 6.** Comparativa entre normas internacionales y recomendaciones en Chile. Fuente: Memoria “Recomendaciones al Diseño Geométrico para Túneles Viales en Chile”, 2018.

SECCIÓN	NORMATIVAS EN ESTUDIO			MC
	FRANCIA	ESPAÑA	NORUEGA	CHILE
<b>VELOCIDADES Y MANIOBRAS ASOCIADAS</b>				
Velocidad Máxima permitida (km/h)	80	100	100	80
Descenso Máximo permitido (km/h)	30	o	15	25
Velocidad Mínima permitida (km/h)	o	60	o	o
Control de Capacidad	●	●	●	o
Control de vehículos pesados	●	●	●	o
Adelantamiento (UD)	●	●	●	●
Adelantamiento dos pistas (BD)	o	o	o	o
Adelantamiento en más de dos pistas (BD)	o	o	●	o
<b>TRAZADO EN PLANTA</b>				
Despeje lateral normado	●	●	●	●
Distancia de Parada normada	●	●	●	●
Tiempo de percepción	2,0	2,0	2,0	2,0
Alineamientos Rectos máximos (m)	o	1.500	1.500	o
Radios mínimos normados	●	o	●	o
Fórmula disponible para radios mínimos	●	●	●	●
Intersecciones al interior del túnel	●	o	●	o
<b>TRAZADO EN ALZADO</b>				
Pendiente longitudinal mínima	4%	3%	4%	o
Pendiente longitudinal máxima	o	o	8%	o
Saneamiento	●	●	●	●
Análisis vehículos pesados en pendiente	●	●	●	o
Parámetros mínimos visibilidad en alzado	●	o	o	o
<b>SECCIÓN TRANSVERSAL</b>				
Ancho mínimo de pista (m)	3,0	3,5	3,0	3,5
Ancho máximo de pista (m)	NE	NE	4,0	4
Ancho mínimo de bermas (m)	0,5	1,0	0,5	0,5
Ancho máximo de bermas (m)	1,5	1,5	2,0	1,5
Implementación de aceras	●	●	●	●
Ancho mínimo de aceras (m)	0,6	0,6	o	0,75
Ancho máximo de aceras (m)	0,75	0,75	0,75	0,85
Aceras para ciclistas	●	●	●	o
Gálibo Vertical mínimo (m)	o	o	o	o
Galibo Vertical (m)	4,75	4,60	5,00	5,00

●: Criterio abordado con varias indicaciones  
o: Criterio no abordado

### 3. Análisis de resultados

La aplicación de criterios mínimos de diseño geométrico vial para trazados a cielo abierto debe llevarse a cabo con discreción en el diseño de túneles viales, teniendo en cuenta las consideraciones de seguridad vial activa y pasiva en relación a los costos de inversión involucrados. En el caso de túneles en construcción o en fase de planificación, el costo de un adecuado diseño geométrico vial se considera desde las primeras etapas del proyecto. Por otro lado, en túneles existentes se debe realizar un estudio de costos para evaluar la factibilidad de modificar la geometría existente o proyectar un nuevo túnel con la geometría adecuada, en caso de que los niveles de seguridad no sean los adecuados. Es importante hacer la distinción y señalar claramente el campo de aplicación de las normas, específicamente hacia qué tipo de túneles se aplican, dependiendo de la fase en la que se encuentren.

Cabe destacar que, independientemente de la longitud del túnel, el trazado geométrico vial y sus accesos deben ser adecuados en términos de seguridad vial y protección de la vida de las personas que harán uso de ellos.

#### 3.1 Propuesta de parámetros mínimos a considerar en el diseño geométrico vial de túneles.

Según lo expresado en la metodología general y específica, el adecuado diseño tridimensional dinámico de un túnel vial depende la correcta conjugación de la definición en planta, alzado y sección transversal sumados a una adecuada verificación de visibilidad, al respecto, en la tabla N°7 se explicitan los parámetros mínimos a considerar en el diseño geométrico vial para túneles en planta, alzado y sección transversal:

**Tabla 7.** Propuesta de parámetros mínimos a considerar en el diseño geométrico vial túneles viales. Fuente: *Elaboración propia.*

Parámetro	Referencia MC
<b>DISTANCIAS DE VISIBILIDAD Y MANIOBRAS ASOCIADAS</b>	
Distancia de parada	3.202.2
Visibilidad de parada en puntos singulares	3.202.201
Verificación de visibilidad	3.202.4
Verificación de visibilidad en planta	3.202.402
Distancia del conductor al borde de pista crítico	3.202.402 (A)
Despeje lateral requerido por visibilidad de parada	3.202.402 (B)
Verificación gráfica de visibilidad en alzado	3.202.403
Control de deslumbramiento	3.202.5
Eficacia del sistema antideslumbramiento	3.202.501
<b>TRAZADO EN PLANTA</b>	
Localización del eje en planta	3.203.102
Criterios de trazado en planta	3.203.103
Alineamiento recto	3.203.2
Longitudes máximas en rectas	3.203.202
Longitudes mínimas en rectas	3.203.203
Curvas circulares	3.203.3
Radio mínimos absolutos	3.203.302
Valores máximos de peralte y fricción transversal	3.203.302 (A)
Curvas horizontales con radios sobre los mínimos	3.203.303
Relación radio–peralte	3.203.303
Desarrollo mínimo de curvas horizontales	3.203.303 (4)
Línea de máxima pendiente	3.203.303 (5)
Relación entre radios consecutivos	3.203.304
Desarrollo de peralte en curvas circulares sin enlace	3.203.305
Eje de giro del peralte	3.203.305 (2)
Eje de giro normal	3.203.305 (3)
Sobreechanco en curvas circulares	3.203.306
Arcos de enlace o transición	3.203.4
Composición del alineamiento horizontal	3.203.5
<b>TRAZADO EN ALZADO</b>	
Ubicación de la rasante respecto al perfil transversal	3.204.2
Inclinación de las rasantes	3.204.3
Pendientes máximas	3.204.301
Pendientes mínimas	3.204.302
Longitud en pendiente y velocidad de operación	3.204.303
Enlaces de rasantes	3.204.4
Curvas verticales de enlace	3.204.401
Criterios de diseño para curvas verticales	3.204.402
Parámetros mínimos por visibilidad de parada	3.204.403
Longitud mínima de curvas verticales	3.204.404
Parámetros mínimos por visibilidad de adelantamiento	3.204.405
Drenaje en curvas verticales	3.204.5
Composición del alineamiento vertical	3.204.6
Rasantes asociadas a estructuras	3.204.602
<b>PLATAFORMA</b>	
Calzadas	3.302.2
Bermas	3.302.3
Sobreechanco de la plataforma (SAP)	3.302.4
Mediana	3.302.5
Pistas auxiliares	3.302.6

Parámetro	Referencia MC
<b>SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA INFRAESTRUCTURA</b>	
Sección transversal de la plataforma de subrasante	3.303.2
Elementos de la infraestructura en sección de corte	3.303.4
Reposiciones de servicios	3.305
Secciones tipo normales	3.306.1
Secciones especiales y gálibos	3.306.2
Faja afectada o derecho de vía	3.307
Instrucciones y criterios para obras varias	3.308
Tratamiento de zonas marginales	3.309

**3.2 Sección transversal vial mínima para túneles.**

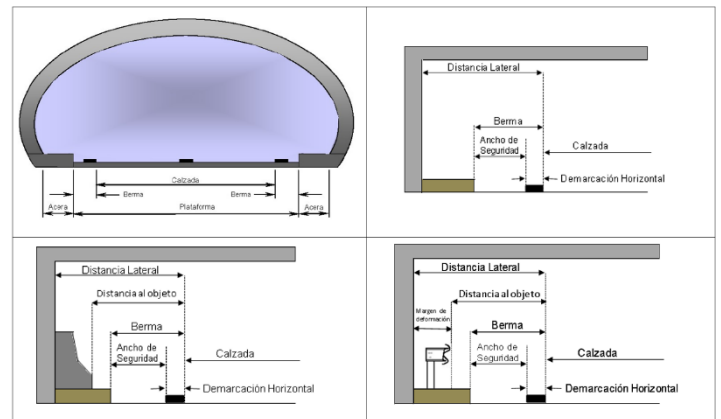
Sin perjuicio de los valores teóricos que plantea el Manual de Carreteras, en temas relativos a sección transversal, se deberán considerar los siguientes mínimos absolutos en sección normal para un túnel vial.

**Tabla 8.** Recomendaciones de dimensiones. Fuente: Memoria “Recomendaciones al Diseño Geométrico para Túneles Viales en Chile”, 2018.

Categoría	Pista (m)	Berma (m)	Acera (m)	Gálibo (m)	Vertical
Tipo A	3,50	2x0,5	0,00	5,00	
Tipo B	3,50	0,25	2x0,75	5,00	
Tipo C1	2x3,25	2x0,25	2x0,75	5,00	
Tipo C2	2x3,50	1,50	2x0,75	5,00	

**3.3 Sección de excavación tunelera versus sección vial.**

La sección teórica de excavación del túnel queda definida por el trazado geométrico vial en planta, alzado y sección transversal. Sin embargo, es importante agregar a esta definición los espacios asociados a los elementos de seguridad vial, tales como demarcación, sobreeanchos de seguridad, barreras de seguridad, aceras peatonales, entre otros. Estos elementos se rigen según los esquemas y definiciones establecidos en el volumen 6 del Manual de Carreteras:



**Figura 2.** Esquemas de distribución de elementos mínimos en la sección transversal de un túnel vial. Fuente: Memoria “Recomendaciones al Diseño Geométrico para Túneles Viales en Chile”, 2018.

En virtud de lo anterior, la sección de excavación teórica deberá considerar el diseño geométrico vial en planta, alzado y sección transversal. Esta última, además, deberá contemplar la instalación de elementos de circulación peatonal y de seguridad vial, cuando corresponda.

En el caso de los elementos de las barreras de seguridad o defensas camineras, se deberá considerar el respectivo ancho de trabajo con niveles de contención coherentes con los TMDA (Tráfico Medio Diario Anual) proyectados para el periodo de vida útil del túnel.

#### 4. Conclusiones

- Queda en evidencia que la información de diseño geométrico disponible en el Manual de Carreteras para el diseño de vías superficiales es aplicable al diseño geométrico vial de túneles. No obstante, es necesario realizar adaptaciones y contextualizaciones, ya que existe un comportamiento distinto de los conductores en ambientes confinados.
- Se recomienda categorizar los túneles según su vida proyectada a un horizonte lejano en el tiempo (del orden de 50 o más años) para definir adecuadamente los requerimientos de capacidad que impondrá el tránsito futuro. La ampliación de los tubos de túneles viales resulta más costosa que la construcción de un tubo con la capacidad y geometría adecuada desde el inicio.
- Se sugiere incluir parámetros de longitudes máximas y mínimas en recta. Se debe tener especial cuidado en la definición y cálculo de  $V_{85}$  y  $V^*$  para el trazado del túnel y sus accesos, con el objetivo de mejorar las condiciones de seguridad de forma integral. Estos parámetros proporcionan adecuadas condiciones de trazado amplio y visibilidad, respectivamente.
- Es imprescindible que el túnel tenga una visibilidad absoluta en sus accesos, incluyendo el trazado vial de aproximación al túnel. Se recomienda considerar una distancia mínima similar a la distancia de adelantamiento calculada para el trazado, garantizando así una adecuada visibilidad en todo momento.
- Es necesario realizar un análisis detallado que permita revisar la incorporación de vehículos tipo BITREN en trazados restrictivos en túneles viales de Chile. Esto asegurará que la red de túneles esté acorde con los requerimientos de integración económica en Sudamérica.
- Se debe conjugar una adecuada definición del trazado en planta y alzado para evitar situaciones indeseables, que generan situaciones de inseguridad, que al tratarse de un espacio confinado como es un túnel vial se ven amplificadas, a saber:

- i. No se debe diseñar curvas y contracurvas en los accesos e interior del túnel, situación que genera puntos ciegos y la aparición de un muro en el punto de inflexión.
  - ii. No deben coincidir curvas horizontales con curvas verticales convexas, situación que genera pérdida de trazado y puntos ciegos en éste.
  - iii. Se debe evitar, en lo posible, hacer coincidir curvas horizontales con curvas verticales cóncavas, pues genera sensación de vértigo en algunas personas, provocando conducción errática en ellas.
  - iv. Se debe verificar visibilidad en planta y alzado, considerando siempre sobreechamientos y despejes laterales
  - v. 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.
- La definición de la sección transversal debe considerar los tránsitos (TMDA) actuales y proyectados a lo largo de la vida útil del túnel.
  - En la definición del gálibo vertical, se debe considerar la sección útil mínima requerida por la normativa y la tipología de vehículos, así como los revestimientos, sostenimientos e instalación de equipamiento de seguridad como ventilación, megafonía e iluminación.
  - El gálibo horizontal mínimo debe permitir la cabida de los elementos de infraestructura vial (calzadas, bermas, aceras, etc.), elementos de seguridad vial (y sus anchos de trabajo cuando corresponda), revestimientos y equipamiento de seguridad cuando corresponda.
  - Las líneas teóricas de excavación según proyecto tunelero, deben ajustarse al proyecto de diseño geométrico vial según los parámetros mínimos anteriormente señalados.

#### 5. Agradecimientos

Los autores agradecen a la División de Ingeniería de la Dirección de Vialidad, Chile, y a la Universidad Central de Chile, por su apoyo a la realización de esta investigación.

#### 6. Referencias

- Alegría, D. (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 de Chile.
- Alvarado, B., & Riffo, J. (2020). *Análisis geométrico vial de vehículos pesados tipo bitrén para determinar la factibilidad de su libre circulación en caminos públicos de Chile* (Memoria para optar al título de Ingeniero Civil

- en Obras Civiles). Universidad Central de Chile.
- CETU. (1990). *Dossier pilote des tunnels – Tome 2: Géométrie*. Francia.
  - Directiva 2004/54/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. (2004). *Requerimientos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras*.
  - Espinoza, M. (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.
  - Hacar, A., Jönsson, H., & Vigne, L. (2015). *Design and safety issues in lay-bays of road tunnels*.
  - Instrucciones de construcción. (2016). *Trazados* (Cap. 4). España.
  - JHO. (2012). *Planificación de túneles modernos*. Seminario de Túneles, Chile.
  - Manual de carreteras. (2022). Ministerio de Obras Públicas, Chile.
  - Martínez, J., del Cerro, J., Alegre, M., & Ordóñez, J. (2007). *Análisis y evaluación de riesgo de túneles carreteros en explotación*. España.
  - Ministerio de Relaciones Exteriores. (2015). *Declaración de Asunción sobre corredores bioceánicos*. [https://www.minrel.gob.cl/minrel\\_old/site/artic/20151221/asocfile/20151221164909/declaraci\\_\\_n\\_de\\_asunci\\_\\_n\\_sobre\\_corredores\\_bioce\\_\\_nicos.pdf](https://www.minrel.gob.cl/minrel_old/site/artic/20151221/asocfile/20151221164909/declaraci__n_de_asunci__n_sobre_corredores_bioce__nicos.pdf)
  - PIARC. (2001). *Design guides for geometry on unidirectional highway tunnels*.
  - PIARC. (2004). *Operación y seguridad en túneles carreteros nuevos y existentes*. Seminario internacional, Argentina.
  - PIARC. (2008). *Análisis de riesgo para túneles de carretera*.
  - PIARC. (2011). *Anchos de calzada bajo estándares internacionales*.
  - PIARC. (2012). *Diseño de la sección transversal de túneles de carreteras bidireccionales*.
  - PIARC. (2015). *Manual PIARC para túneles de carreteras: Exigencias operativas y de seguridad (Geometría)* (Versión 1.1).
  - Statens Vegvesen. (2004). *Standard road tunnels*. Noruega.
  - Transportation Research Board. (2000). *Highway Capacity Manual*. Estados Unidos.
  - Tunneling and Underground Space Technology. (2015). *Sight distance and horizontal curve aspects in the design of road tunnels vs. highways: Part II* (S. Bassan).