

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el  
diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial  
en el contexto internacional”**

**T E S I S**

Que para obtener el grado de MAESTRO EN INGENIERÍA presenta:

**SAMUEL FIGUEROA ROGRÍGUEZ**

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JULIO ALBERTO CALDERÓN RAMÍREZ

CO-DIRECTOR DE TESIS:

DR. JOSÉ MANUEL GUTIÉRREZ MORENO

Mexicali, B. C. a 22 de septiembre de 2025

**“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”**

---

## *Agradecimientos:*

*A mi Director de tesis Dr. Julio Alberto Calderón Ramírez, por sus conocimientos impartidos y su apoyo incansable para la elaboración de esta obra, a mi Co Director de tesis Dr. José Manuel Gutiérrez Moreno, al Dr. Leonel Gabriel García, Dr. Alejandro Antondo, Dr. Marco Montoya y a la Mtra. Itzel Núñez, por su apoyo y trabajo arduo*

*A la Universidad autónoma de Baja California, a la Facultad de Ingeniería, a la directora de la facultad, Dra. Araceli Justo Sierra por esta oportunidad, a mi esposa María Elena, mis hijos, mis nietos, mis padres, por su apoyo para llevar a cabo la culminación de esta etapa.*

# **“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”**

---

## Resumen

Este estudio presenta una revisión comparativa estructurada de los estándares oficiales de diseño geométrico vial de cinco países: México, Colombia, Estados Unidos, España y Francia, centrándose en su contribución potencial a la seguridad vial desde las primeras etapas de planificación y diseño. Utilizando el método PRISMA-ScR, se analizaron sistemáticamente 37 fuentes técnicas y científicas para extraer, comparar y contextualizar parámetros normativos como la velocidad de diseño, el radio mínimo de la curva, la pendiente máxima, el peralte, la pendiente transversal y el ancho del carril. Los hallazgos revelan diferencias sustanciales en la flexibilidad, la estructura y la lógica detrás de los criterios de diseño geométrico en los países seleccionados. Los países desarrollados tienden a adoptar enfoques basados en el rendimiento, integrando herramientas para la coherencia del diseño, el análisis del comportamiento del usuario y la mitigación de riesgos. En contraste, los estándares latinoamericanos muestran marcos prescriptivos más rígidos, con una adaptación limitada a las condiciones topográficas, operativas o relacionadas con la seguridad. Al contrastar los manuales técnicos y resaltar las brechas en la integración de la seguridad, la revisión encuentra desafíos regulatorios clave en países como México y Colombia, particularmente en el diseño de alineación horizontal y la evaluación de la consistencia. El estudio concluye que los estándares de diseño geométrico, cuando se alinean con los principios del Sistema Seguro, pueden servir como un mecanismo fundamental para reducir los riesgos de choque y mejorar la seguridad sistémica. Este trabajo proporciona un marco relevante para las políticas para que los tomadores de decisiones y los diseñadores de carreteras evalúen y modernicen los estándares nacionales. También ofrece un método transferible para el análisis comparativo de infraestructuras y promueve una transición basada en la evidencia hacia regulaciones de diseño de carreteras más seguras y sensibles al contexto.

# **“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”**

---

## Abstract

This study presents a structured comparative review of the official geometric design standards of five countries: Mexico, Colombia, the United States, Spain, and France, focusing on their potential contribution to road safety from the early stages of planning and design. Using the PRISMA-ScR method, 37 technical and scientific sources were systematically analyzed to extract, compare, and contextualize normative parameters such as design speed, minimum curve radius, maximum slope, superelevation, transverse slope, and lane width. The findings reveal substantial differences in the flexibility, structure, and logic behind the geometric design criteria in the selected countries. Developed nations tend to adopt performance-based approaches, integrating tools for design consistency, user behavior analysis, and risk mitigation. In contrast, Latin American standards show more rigid prescriptive frameworks, with limited adaptation to topographical, operational, or safety-related conditions. By contrasting technical manuals and highlighting gaps in safety integration, the review identifies key regulatory challenges in countries like Mexico and Colombia, particularly in horizontal alignment design and consistency assessment. The study concludes that geometric design standards, when aligned with the principles of the Safe System, can serve as a fundamental mechanism to reduce crash risks and improve systemic safety. This work provides a relevant framework for policymakers and road designers to evaluate and modernize national standards. It also offers a transferable method for comparative infrastructure analysis and promotes an evidence-based transition toward safer, context-sensitive road design regulations.

# **“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”**

---

## Contenido

Resumen .....	3
Abstract .....	4
1. Introducción .....	6
2. Materiales y métodos .....	9
2.1 Pregunta y objetivo de investigación .....	9
2.2 Fuentes de datos y estrategia de búsqueda.....	11
2.3 Criterios de elegibilidad y exclusión .....	12
2.4 Selección de estudios .....	13
2.5 Extracción de datos .....	15
3. Resultados y discusión .....	16
3.1. Resultados de la búsqueda.....	16
3.2. Características de los estudios .....	17
3.3. Estándares de datos y fundamentos del diseño geométrico de carreteras.....	19
3.3.1 Fundamentos generales del diseño geométrico de carreteras .....	20
3.3.2. Diseño geométrico de carreteras en México .....	21
<b>3.3.3. Relación entre diseño geométrico y seguridad vial .....</b>	<b>21</b>
3.3.4. Análisis de los parámetros de diseño geométrico de las carreteras en comparación con los países desarrollados .....	24
3.3.5 Síntesis y contribuciones .....	33
5. Conclusiones .....	38
Referencias.....	41

# **“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”**

---

## 1. Introducción

La infraestructura vial es una necesidad social fundamental, ya que es uno de los activos más valiosos de cualquier país. La extensión y la calidad de la red vial son indicadores directos del nivel de desarrollo, ya que influyen en la conectividad territorial, la movilidad eficiente y la seguridad de los usuarios [1]. La construcción de nuevas carreteras genera beneficios sociales y económicos como el acceso a los servicios, el desarrollo residencial e industrial y el aumento de la actividad de uso de la tierra. Sin embargo, también puede dar lugar a externalidades negativas como el aumento de las emisiones, la contaminación acústica o los accidentes de tráfico, que deben tenerse en cuenta desde las primeras etapas de la planificación.

En este contexto, el diseño geométrico de carreteras juega un papel fundamental al definir la configuración tridimensional de la carretera en función de las limitaciones topográficas, operativas, funcionales y ambientales. La implementación adecuada permite el desarrollo de soluciones viales que sean seguras, funcionales, cómodas, estéticamente integradas, económicamente viables y compatibles con el medio ambiente [2], [3]. Este tipo de diseño incluye elementos como la alineación horizontal y vertical, los perfiles de sección transversal y las condiciones de visibilidad y operación, todo ello respaldado por normas técnicas nacionales.

Históricamente, en México, el desarrollo del diseño geométrico ha sido moldeado por limitaciones técnicas y tecnológicas. Durante gran parte del siglo XX, el diseño de rutas requería extensos estudios a pie o reconocimiento aéreo, lo que lo convertía en un proceso lento y costoso que dependía en gran medida de la experiencia empírica de los diseñadores [4]. Con el avance de las tecnologías digitales, el uso de software especializado se ha vuelto esencial para mejorar la precisión de los proyectos viales, optimizar los recursos y garantizar el cumplimiento de los estándares técnicos, económicos y de calidad [5].

A nivel internacional, el diseño geométrico de las carreteras ha evolucionado en consonancia con los cambios en las condiciones de funcionamiento de los vehículos y la composición de la flota de vehículos. Por ejemplo, mientras que hace varias

---

## **“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”**

---

décadas los vehículos de carga más largos medían alrededor de 15 metros, hoy en día hay configuraciones que alcanzan hasta 30 metros. Esto ha requerido actualizaciones de parámetros clave como radios de curva mínimos, gradientes longitudinales y peralte [6]. Sin embargo, muchas de las normas vigentes en países como México siguen basándose en condiciones vehiculares y operativas obsoletas, lo que limita su efectividad cuando se aplica a escenarios contemporáneos.

Esta situación presenta un desafío adicional: algunos de los objetivos fundamentales del diseño geométrico (funcionalidad, seguridad, comodidad, estética y economía) pueden entrar en conflicto entre sí, lo que requiere la priorización de objetivos de acuerdo con las condiciones contextuales [7]. Además, existe la dificultad de evaluar objetivamente el cumplimiento de las normas, especialmente en las zonas montañosas o rurales donde las limitaciones topográficas dificultan la aplicación estricta de los criterios establecidos. Estas tensiones ponen de relieve la necesidad de revisar y actualizar los marcos regulatorios basados en evidencia técnica comparativa y enfoques validados internacionalmente.

Numerosos estudios han abordado componentes específicos del diseño geométrico de carreteras, aunque desde perspectivas fragmentadas. Por ejemplo, Veer et al. (2018) realizaron una revisión general de obras históricas centrada en la planificación y estructuración de proyectos viales, identificando objetivos clave del diseño geométrico pero sin abordar parámetros regulatorios específicos ni su aplicación [8]. Kalita y Maurya (2020) utilizaron modelos de confiabilidad para correlacionar el diseño y la frecuencia de choques, centrándose en la ocurrencia de accidentes sin considerar directamente los parámetros geométricos o sus estándares regulatorios [9]. Kanellaidis (1996) comparó las pautas de diseño en los Estados Unidos, Alemania y el Reino Unido desde la perspectiva del comportamiento del conductor, sin realizar un análisis formal de los valores de diseño normativos [10]. De manera similar, Bobermin et al. (2021) realizaron una revisión sistemática basada en simulaciones de conducción para analizar la

## **“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”**

---

geometría de la carretera y el comportamiento del conductor, pero no incluyeron un análisis comparativo de estándares técnicos entre países [11].

Otros estudios, como el de Atashafraze y Yadollahi (2013), exploraron la consistencia del diseño geométrico en relación con la velocidad y la seguridad en los caminos rurales, sin incorporar parámetros regulatorios oficiales como variables de análisis [12]. Hassan (2004) también abordó la consistencia del diseño desde una perspectiva de dinámica de vehículos, enfatizando la necesidad de una mayor cooperación internacional para abordar los desafíos contemporáneos, pero sin desarrollar comparaciones normativas explícitas [13]. Finalmente, Dell'Acqua et al. (2016) centraron su revisión en aspectos relacionados con el vehículo, como la fricción entre neumáticos y pavimento y el peralte, sin extender el análisis a los marcos regulatorios técnicos [14].

A pesar de los avances en la literatura técnica y científica, sigue faltando una falta de revisiones sistemáticas y comparativas que analicen los manuales técnicos oficiales para el diseño geométrico de carreteras desde una perspectiva normativa y preventiva. Las investigaciones anteriores tienden a centrarse en simulaciones, comportamiento del usuario o aspectos específicos del entorno vial, pero no se ha prestado suficiente atención a cómo varían los parámetros regulatorios clave entre los contextos nacionales, o cómo tales diferencias podrían influir en la seguridad vial desde la etapa de diseño. Esta brecha limita la capacidad de encontrar las mejores prácticas, evaluar la adaptabilidad regulatoria y respaldar los procesos de actualización regulatoria, especialmente en regiones como América Latina.

En respuesta a esta brecha, el propósito de este artículo es: sistematizar y comparar los principales parámetros regulatorios del diseño geométrico de carreteras en cinco países que representan diferentes niveles de desarrollo (Estados Unidos, España, Francia, México y Colombia); analizar el grado de flexibilidad normativa y adaptabilidad en condiciones operativas complejas; y evaluar el potencial de estos enfoques normativos para contribuir a la seguridad vial estructural, siguiendo los principios del diseño preventivo y el enfoque del Sistema Seguro. Este estudio tiene

# “Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”

---

como objetivo proporcionar una herramienta útil para ingenieros, académicos y formuladores de políticas al ofrecer un análisis estructurado de estándares técnicos comparativos y su impacto potencial en la seguridad y funcionalidad del sistema vial. Así, en la siguiente sección se presentan las consideraciones metodológicas de esta investigación, seguidas de los resultados y la discusión, y finalmente las conclusiones.

## 2. Materiales y métodos

Este estudio corresponde a un *Revisión de alcance* con un enfoque normativo comparativo, orientado a mapear los parámetros técnicos establecidos en los manuales de diseño geométrico de carreteras y su relación con la seguridad vial. La revisión se realizó siguiendo la metodología JBI para revisiones de alcance [16] de acuerdo con las pautas de Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses for Scoping Reviews (PRISMA-ScR) [15], y con el apoyo del gerente de referencia Rayyan [16], que se utilizó para organizar registros, eliminar duplicados y ayudar en la revisión de títulos y resúmenes.

### 2.1 Pregunta y objetivo de investigación

La Tabla 1 define los conceptos relacionados con Población, Concepto y Contexto (PCC), según lo recomendado por el marco JBI, lo que permite una estructuración precisa de la pregunta de investigación.

Tabla 1. Definición de población, concepto y contexto.

Categoría	Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Población	Carreteras y autopistas	Estudios que involucran a usuarios o vehículos como variables de análisis
Concepto	Parámetros de diseño geométrico	Estudios centrados en accidentes de tráfico o análisis de seguridad sin especificaciones de diseño
Contexto	Países desarrollados (EE. UU., Francia y España)	Países en desarrollo u otros no especificados

Fuente: Elaboración propia.

## **“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”**

---

Es importante señalar que, en el contexto del diseño geométrico de carreteras y la seguridad vial, el término "accidente" se refiere a eventos que ocurren en las carreteras, causados por tres posibles fuentes: el usuario, el vehículo y la carretera. En este contexto, el término "usuario" incluye a todas las personas que viajan por la carretera, como conductores, peatones, ciclistas y motociclistas. Mientras tanto, el término "vehículo" abarca los vehículos de diseño, es decir, aquellos que son la diversidad de la flota de vehículos que opera en una carretera.

Con base en los antecedentes presentados, esta revisión de alcance tiene como objetivo responder a la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es la relación entre los parámetros normativos de diseño geométrico establecidos en los manuales técnicos de México, Estados Unidos, España, Francia y Colombia, y su potencial contribución a la seguridad vial desde la etapa de planeación y diseño de infraestructura? La elección de los países responde a criterios tanto técnicos como geográficos, permitiendo la representación de la diversidad normativa, institucional y operativa en el diseño geométrico de las carreteras.

Por un lado, Estados Unidos, Francia y España son países industrializados con una larga tradición en el desarrollo de manuales técnicos y estándares de diseño de carreteras de referencia internacional. Sus enfoques se utilizan como modelos en los países en desarrollo e incorporan criterios avanzados relacionados con la seguridad vial, el diseño funcional y la adaptación a condiciones topográficas complejas. En particular, documentos como el Libro Verde de AASHTO (EE. UU.) y el ARP de CEREMA (Francia) han ejercido una influencia considerable en los proyectos de infraestructura vial.

Por otro lado, México y Colombia fueron incluidos como representantes de América Latina, ya que han desarrollado sus propios manuales técnicos —producidos por SICT e INVIAS, respectivamente— que integran elementos de estándares

## **“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”**

---

internacionales y reflejan las limitaciones propias de regiones con alta diversidad geográfica, limitaciones presupuestarias y condiciones operativas particulares. Esto permite un análisis contrastivo de cómo se adaptan los principios de diseño geométrico a diferentes contextos de infraestructura y riesgo.

La exclusión de otros países desarrollados se basó en tres criterios: i) la limitada disponibilidad de normas técnicas en inglés o español; ii) redundancia metodológica con respecto a los enfoques normativos ya incluidos; y (iii) falta de acceso público a documentos técnicos completos a través de bases de datos académicas o repositorios institucionales abiertos. Estas consideraciones permitieron una selección razonada, coherente y posible para los fines comparativos de esta investigación.

En consecuencia, para lograr el objetivo declarado y responder a la pregunta de investigación, la revisión propone un marco explicativo para el diseño geométrico, así como el impacto y la influencia de ciertas variables, a partir de la evidencia científica contenida en las publicaciones seleccionadas.

### **2.2 Fuentes de datos y estrategia de búsqueda**

Se consultaron las bases de datos Web of Science y Scopus, seleccionadas por su cobertura multidisciplinaria y reconocido índice de calidad en los campos de la ingeniería y el transporte. La búsqueda se realizó en marzo de 2025 e incluyó documentos publicados entre 2013 y 2024 en inglés y español. Se aplicaron filtros para incluir solo documentos revisados por pares o emitidos por agencias técnicas reconocidas. No se encontró una revisión de la literatura que comparara las normas técnicas entre dos países en desarrollo, México y Colombia, y las metodologías aplicadas en países desarrollados como España, Estados Unidos y Francia, lo que destaca la relevancia de esta investigación.

## **“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”**

---

La estrategia de búsqueda se estructuró en torno a dos bloques temáticos: el primero relacionado con el concepto de diseño geométrico e incluyó términos como especificaciones de diseño, manual de diseño, guía de diseño, pautas de diseño, diseño geométrico y alineación horizontal; el segundo bloque, centrado en el contexto vial, incluyó términos como carreteras, autopistas, caminos rurales, caminos urbanos, seguridad vial, riesgo de accidentes, tasa de accidentes y accidentes de tránsito. Estos términos se combinaron utilizando operadores booleanos AND OR para construir las cadenas de búsqueda, que se adaptaron a los filtros específicos de cada base de datos. Las búsquedas resultantes incluyeron expresiones como: (diseño Y geométrico) Y (carretera O autopista); ("especificaciones de diseño" O "manual de diseño" O "guía de diseño" O "pautas de diseño") Y (carretera O autopista); y ("diseño geométrico") Y ("seguridad vial" O "seguridad vial" O "riesgo de accidentes" O "tasa de accidentes" O "accidentes de tráfico") Y ("autopistas" O "caminos rurales" O "caminos urbanos" O "carreteras"). Estas combinaciones permitieron la recuperación de un conjunto amplio pero relevante de documentos, proporcionando una base sólida para el análisis comparativo posterior.

### **2.3 Criterios de elegibilidad y exclusión**

Para realizar esta revisión de la literatura, se excluyeron estudios centrados en accidentes, comportamiento de los usuarios o dinámica vehicular, con el objetivo de concentrar el análisis exclusivamente en la infraestructura. Dado que esta investigación está orientada a los aspectos técnicos del diseño, no solo se consideraron artículos científicos revisados por pares, sino también documentos técnicos como actas de congresos, manuales técnicos, tesis académicas o pautas regulatorias que proporcionaron evidencia sobre diseño geométrico, tanto en inglés como en español.

Se dio prioridad a las fuentes técnicas emitidas o avaladas por organismos oficiales, para asegurar la validez técnica y regulatoria del contenido revisado. En el caso de México, se prestó especial atención a las publicaciones del Instituto Mexicano del

---

## **“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”**

---

Transporte (IMT), entidad especializada en investigación aplicada, innovación tecnológica y desarrollo regulatorio en el sector transporte. El IMT opera bajo la supervisión de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT), la agencia federal responsable de administrar, planificar, regular y operar la red vial nacional. Debido a su naturaleza institucional y técnica, las publicaciones de las IMT se clasificaron como documentos reglamentarios válidos a los efectos de esta revisión, en pie de igualdad con materiales equivalentes de los países seleccionados.

Para mitigar el posible sesgo durante el proceso de selección del estudio, se implementaron diversas estrategias metodológicas. La revisión de títulos y resúmenes fue realizada de forma independiente por dos revisores utilizando la plataforma Rayyan, lo que permitió una organización eficiente de los registros y facilitó la detección de duplicados. En los casos en que surgieron discrepancias sobre la inclusión o exclusión de un estudio, las decisiones se tomaron por consenso, asegurando la coherencia en la aplicación de los criterios definidos. Además, antes del proceso de búsqueda y análisis, se establecieron explícitamente los criterios de elegibilidad, lo que creó un marco común para la toma de decisiones y minimizó la variabilidad subjetiva entre los revisores. También se mantuvo una documentación sistemática y transparente del proceso de selección, incluido un registro detallado de los estudios excluidos junto con la justificación correspondiente.

### **2.4 Selección de estudios**

La estrategia de selección de estudios se estructuró en cuatro etapas consecutivas. La primera etapa, la identificación, consistió en recuperar artículos científicos indexados, capítulos de libros, manuales y directrices técnicas sobre parámetros de diseño geométrico publicados en inglés, limitando la búsqueda a las bases de datos Web of Science y Scopus. Se aplicaron cadenas de búsqueda predefinidas a títulos

## **“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”**

---

y resúmenes. Además, se incluyeron las publicaciones proporcionadas por los coautores, siempre que cumplieran con los criterios de inclusión establecidos.

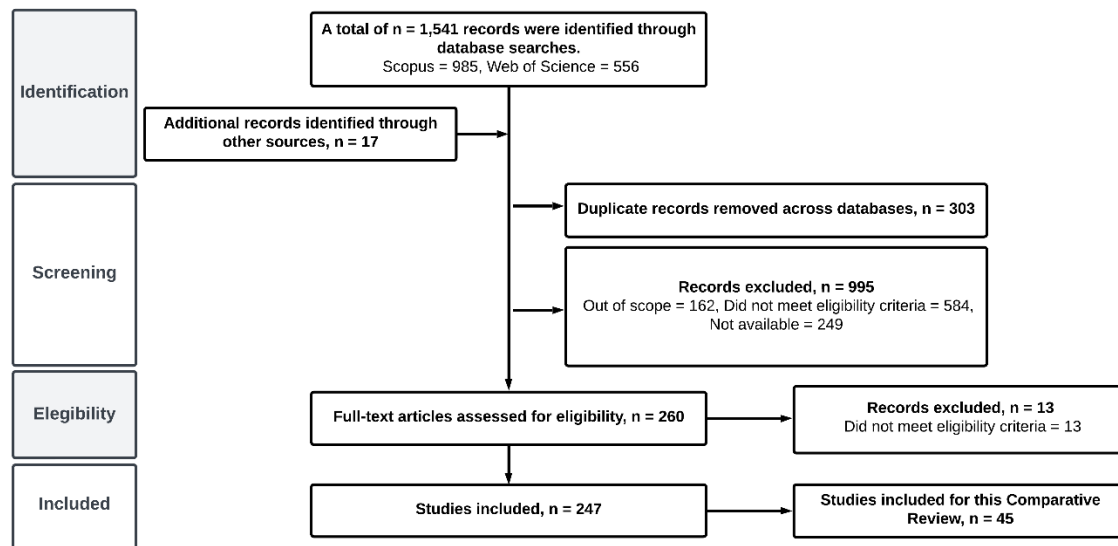
La segunda etapa, la selección, consistió en cortar publicaciones duplicadas recuperadas de más de una base de datos. Posteriormente, se realizó una lectura rápida de títulos y resúmenes para seleccionar solo aquellos estudios que cumplieran con los criterios de elegibilidad. Esta tarea fue apoyada por la herramienta de revisión Rayyan [16], lo que facilitó la organización de los registros y el proceso de exclusión.

En la tercera etapa, se realizó la selección, lectura a texto completo de los estudios preseleccionados para confirmar su relevancia temática y metodológica. Se excluyeron los documentos que no cumplieran con los requisitos previamente definidos, ya sea por falta de relación directa con el diseño geométrico normativo, calidad metodológica insuficiente o irrelevancia contextual.

Finalmente, en la etapa de inclusión, se realizó la extracción y el análisis de datos sobre las publicaciones que pasaron todas las fases anteriores. La Figura 1 presenta los resultados del proceso de búsqueda y selección a través de un diagrama de flujo elaborado de acuerdo con las guías PRISMA-ScR (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses for Scoping Reviews) [15]. La información extraída incluyó detalles específicos sobre los factores clave y los hallazgos de cada publicación, el contexto en el que se desarrolló el estudio, los participantes involucrados y los métodos utilizados. Este procedimiento garantizó la trazabilidad, la transparencia y la coherencia en la selección de la evidencia utilizada para responder a la pregunta de investigación.

Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA-ScR del proceso de selección y selección de literatura.

# “Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”



Fuente: Elaboración propia.

## 2.5 Extracción de datos

Una vez finalizada la revisión del texto completo de las publicaciones seleccionadas, se llevó a cabo el proceso de extracción de datos, diseñado para facilitar la codificación y el análisis por parte de los objetivos del estudio. Este procedimiento siguió los principios metodológicos de la declaración PRISMA para revisiones sistemáticas, asegurando la trazabilidad, consistencia y rigor en el manejo de los datos.

La información extraída se organizó en dos categorías principales. El primero, titulado "Características de la publicación", tuvo como objetivo identificar elementos contextuales relevantes como el tipo de documento (artículo, manual, capítulo de libro, tesis, etc.), título y autoría, año de publicación, ubicación geográfica del estudio y contexto del país (desarrollado, en desarrollo o subdesarrollado). Esta categorización permitió establecer un primer marco comparativo sobre el origen y la naturaleza de las fuentes incluidas.

## **“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”**

---

La segunda categoría, titulada "Información relacionada con el estudio", abarcó las variables técnicas asociadas al diseño geométrico que permitieron responder a la pregunta de investigación. Estas variables se extrajeron directamente de fuentes normativas oficiales e incluyeron: país, tipo de carretera, velocidad máxima de diseño (km/h), radio de curvatura mínimo (m), peralte máximo (%), pendiente transversal máxima (%), ancho de carril (m), tráfico diario anual promedio (AADT, en vehículos por día) y grado máximo de curvatura (°). Para cada publicación se registraron valores específicos y los criterios de aplicación asociados para estas variables.

Para garantizar la fiabilidad del procedimiento, la extracción de datos fue verificada por cuatro investigadores. En caso de discrepancias, los datos se discutieron colectivamente hasta llegar a un consenso. Esta validación interna fortaleció la validez del proceso y redujo el riesgo de sesgo en la interpretación. Finalmente, las variables extraídas se organizaron por país y se combinaron en una matriz comparativa que sirvió de base para el análisis normativo. Los resultados se presentan en la Tabla 3, que resume los parámetros clave que se encuentran en los documentos técnicos de cada país.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Resultados de la búsqueda

Como resultado del proceso de búsqueda sistemática realizado en las bases de datos Web of Science y Scopus, y tras aplicar los criterios de elegibilidad establecidos, se encontró un primer total de 60 publicaciones potencialmente relevantes. Posteriormente, se eliminaron los duplicados y se aplicaron filtros según el idioma, el tipo de documento y la relevancia temática, lo que permitió refinar el

---

## **“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”**

---

corpus final a un total de 37 documentos. De estos, 20 fueron seleccionados por tener parámetros normativos explícitos relacionados con el diseño geométrico de carreteras, mientras que los 17 restantes se incorporaron como referencias para el apoyo conceptual o contextual.

Las fuentes seleccionadas incluyen artículos científicos revisados por pares, manuales técnicos, normas nacionales, guías metodológicas, tesis académicas y documentos institucionales, todos publicados entre 2013 y 2024. Las publicaciones revisadas muestran un alto grado de heterogeneidad en términos de origen geográfico, tipo de documento, profundidad técnica y enfoque normativo, lo que refleja la diversidad en la forma en que se aborda el diseño geométrico de carreteras en diferentes contextos.

Este documento proporcionó una base comparativa sólida para encontrar diferencias y similitudes en la definición, aplicación y flexibilidad de parámetros geométricos clave entre los países analizados. También ofreció evidencia suficiente para examinar la coherencia normativa, la actualización técnica de los manuales y su impacto potencial en la seguridad vial desde la etapa de diseño.

### **3.2. Características de los estudios**

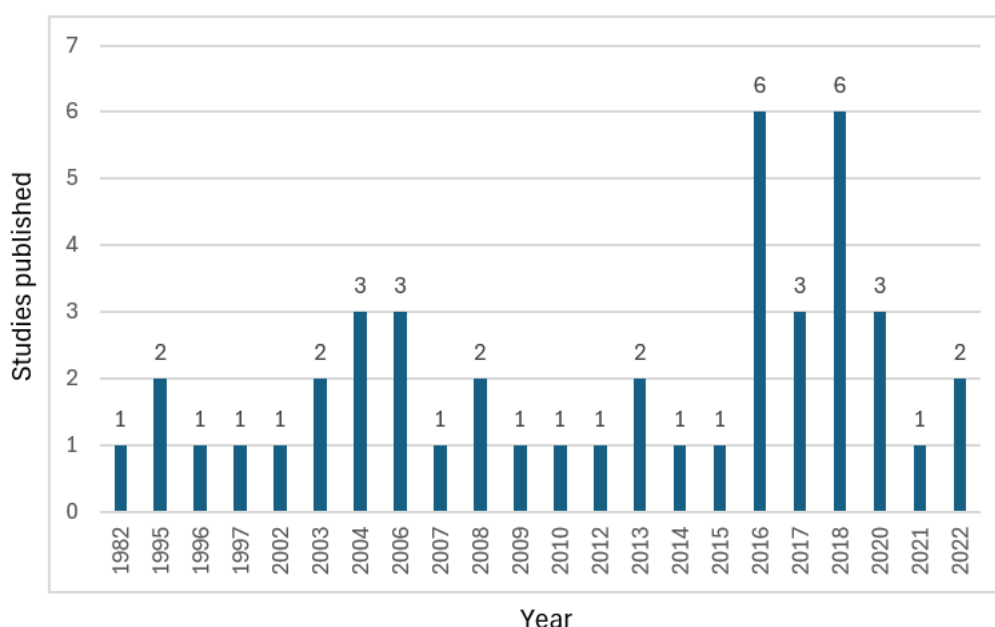
La revisión de la literatura encontró un total de 37 publicaciones seleccionadas por los criterios metodológicos establecidos, incluyendo normas técnicas nacionales, artículos científicos, guías de diseño y documentos institucionales. Estas fuentes se analizaron en función de su país de origen, tipo de documento, nivel de profundidad normativa y aplicación directa al diseño geométrico de carreteras. La selección abarcó tanto a países industrializados —como Estados Unidos, Francia y España— como a países en desarrollo, representados por México y Colombia, lo que permitió construir un marco comparativo entre contextos regulatorios contrastantes.

Desde una perspectiva cronológica, el 90% de las fuentes fueron publicadas en los últimos diez años (ver Figura 2), lo que garantiza la relevancia y contemporaneidad de los enfoques normativos analizados. Además, se observó que en los países

## “Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”

desarrollados, los documentos técnicos tienden a mostrar actualizaciones más frecuentes, mayor incorporación de criterios de flexibilidad y adaptación a contextos operativos. En contraste, las actualizaciones normativas en los países latinoamericanos tienden a ser menos frecuentes y se caracterizan por una mayor rigidez en la aplicación de parámetros técnicos.

Figura 2. Estudios publicados por año.



Fuente: elaboración propia.

Entre las fuentes clave se encuentran documentos fundamentales para realizar la comparación regulatoria en los países seleccionados (Tabla 2). Este conjunto documental refleja no solo las diferencias en los enfoques normativos, sino también las prioridades institucionales, las capacidades técnicas y los recursos disponibles para el desarrollo y mantenimiento de marcos regulatorios en el diseño geométrico de carreteras. La comparación entre estos documentos sirve de base para el análisis crítico que se presenta en las siguientes secciones.

Tabla 2. Características extraídas de las publicaciones.

País y contexto	Título de la publicación	Año	Autoría
-----------------	--------------------------	-----	---------

**“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”**

socioeconómico			
España – desarrollado	Norma 3.1-IC Trazado, Orden FOM/273/2016	2016	Ministerio de Fomento de España [17]
Estados Unidos – desarrollado	Una política sobre diseño geométrico de carreteras y calles (Libro Verde)	2018	Asociación Estadounidense de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transportes (AASHTO) [18]
Francia – desarrollado	CEREMA, Aménagement des Routes Principales (ARP), Referencias	2022	Ministerio de Transición Ecológica e Inclusiva [19]
Colombia – desarrollo	Manual de Diseño Geométrico de Carreteras	2008	Instituto Nacional de Vías (INVIAS) [20]
México – desarrollo	Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras	2018	Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) [21]

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3. Estándares de datos y fundamentos del diseño geométrico de carreteras

Los estándares geométricos de diseño vial son marcos regulatorios esenciales para garantizar la coherencia técnica, operativa y de seguridad en la planificación y construcción de infraestructura vial. Su estructura y aplicación se basan en normas emitidas por organismos oficiales, que definen parámetros clave como la velocidad de diseño, el radio mínimo de curva, la pendiente longitudinal máxima, el peralte, la

## **“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”**

---

pendiente transversal y el ancho de carril. Estos estándares garantizan que la información técnica pueda interpretarse de manera consistente en diferentes contextos institucionales y geográficos, lo cual es esencial para el diseño y análisis comparativo de la infraestructura vial [22].

### 3.3.1 Fundamentos generales del diseño geométrico de carreteras

El diseño geométrico de carreteras abarca múltiples dimensiones: técnicas, sociales, económicas y ambientales, que deben integrarse desde las primeras fases de planificación [5]. Para fines analíticos, estos factores se pueden agrupar en dos categorías: externos, relacionados con condiciones territoriales como topografía, geotecnia, clima, uso de la tierra o estructura socioeconómica; e interno, directamente relacionado con la propia carretera, su funcionalidad, seguridad y estética [2].

Históricamente, muchos criterios geométricos se definieron sin una base empírica sólida sobre su impacto en la seguridad vial. Sin embargo, los avances en la investigación, particularmente los reflejados en el *Manual de seguridad vial (HSM 4)*, han fomentado un cambio hacia un enfoque de diseño centrado en la seguridad sustantiva. Este nuevo paradigma reconoce que elementos como la alineación, las secciones transversales o los perfiles verticales tienen una influencia directa en el riesgo de colisión [23].

Uno de los aspectos clave en este proceso es la determinación de la alineación, que no solo afecta los costos de construcción y operación, sino también el desempeño funcional y la exposición al riesgo [24-25]. Del mismo modo, la velocidad de diseño actúa como una variable base para definir parámetros geométricos mínimos. Sin embargo, existe una tendencia a sobreestimar la velocidad de diseño, lo que puede conducir a velocidades de operación más altas y, en consecuencia, a márgenes de seguridad reducidos [2].

## **“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”**

---

### 3.3.2. Diseño geométrico de carreteras en México

En México, el diseño geométrico de las carreteras se basa en una clasificación reglamentaria que distingue entre carreteras federales y estatales, así como por condición física (caminos pavimentados, asfaltados o de ripio), junto con una clasificación técnica oficial que define los parámetros aplicables de acuerdo con el Tráfico Diario Promedio Anual (AADT) [22]. La Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT), en colaboración con el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), se encarga de formular y actualizar estos lineamientos regulatorios.

A pesar de los avances, varios estudios indican que las actualizaciones regulatorias en México han sido poco frecuentes [6], [26], [27], y que los procesos tradicionales no incorporan sistemáticamente el análisis de los factores humanos. El diseño geométrico debe considerar no solo la calzada y el entorno físico, sino también las capacidades perceptivas, cognitivas y reactivas del conductor [28]. En la práctica, no siempre se verifica la alineación entre los parámetros proyectados y las condiciones operativas reales, lo que puede resultar en soluciones inadecuadas para las necesidades de los usuarios [26], [27].

Además, la gestión eficiente de la información técnica plantea un desafío adicional, ya que muchos proyectos de expansión o rehabilitación a menudo carecen de datos actualizados o accesibles [29], [30]. A esto se suma la necesidad de incorporar criterios hidráulicos, de drenaje, de estabilidad geotécnica y de adecuación topográfica, tal como lo establecen las especificaciones de la SICT y de la Carretera Federal de Caminos y Puentes (CAPUFE) en cuanto a secciones, radios de curvatura, arcenes ensanchados y obras complementarias [31].

### 3.3.3. Relación entre diseño geométrico y seguridad vial

El diseño geométrico es uno de los pilares técnicos fundamentales para garantizar la seguridad vial desde la fase de planificación. Sin embargo, su formulación e implementación a veces se centran exclusivamente en criterios de funcionalidad o

## “Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”

---

cobertura territorial, dejando de lado consideraciones relacionadas con los costos operativos de los vehículos, el impacto ambiental y, lo que es más importante, la seguridad vial. Esta omisión es particularmente preocupante en los proyectos de reconstrucción o ampliación, que representan oportunidades clave para mejorar progresivamente los niveles de seguridad de la red vial existente [32].

El objetivo esencial de un sistema de transporte es garantizar el movimiento eficiente y seguro de personas y mercancías. Para lograr esto, los diseñadores deben proporcionar soluciones geométricas que no solo sean técnicamente posibles, sino que también estén alineadas con las expectativas perceptivas y operativas de los usuarios. Un concepto central en este proceso es **Consistencia de diseño**, entendido como el grado en que los elementos geométricos son coherentes entre sí y con lo que los conductores esperan intuitivamente. Los diseños consistentes tienden a reducir los errores de conducción, los conflictos viales y los eventos inesperados [33].

Como señalaron Karndacharuk et al. (2014), incluso en entornos urbanos, las decisiones de diseño geométrico influyen significativamente en la percepción de seguridad y flujo de los usuarios [34]. Complementariamente, Silcock (2003) enfatiza la necesidad de integrar explícitamente la seguridad vial en el diseño normativo, esperando lo que ahora se conoce como el enfoque del Sistema Seguro [35]. Estas contribuciones refuerzan la idea de que el diseño geométrico no solo debe satisfacer estándares técnicos, sino que también debe desempeñar un papel estratégico en la prevención estructural del riesgo vial.

Numerosos estudios han demostrado que los parámetros geométricos definidos en los manuales de diseño, como la velocidad de diseño, el radio mínimo de la curva, la pendiente longitudinal, el peralte y la pendiente transversal, tienen un impacto directo en la probabilidad y la gravedad de los accidentes de tráfico [36], [37]. La evidencia técnica sugiere que ciertas decisiones geométricas pueden funcionar como mecanismos de prevención estructural al proporcionar márgenes de maniobra seguros frente al error humano o las condiciones adversas [38]. Por ejemplo, los

## “Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”

---

radios de curva insuficientes combinados con altas velocidades de diseño se asocian con un aumento de las salidas de carretera, particularmente en áreas montañosas o en condiciones de baja visibilidad [39]. Asimismo, las pendientes longitudinales excesivas sin un diseño adecuado de las zonas de peralte o frenado suponen un alto riesgo para los vehículos pesados, especialmente durante los descensos prolongados [40].

Existen enfoques regulatorios que buscan integrar explícitamente la seguridad vial en el diseño geométrico. Algunos estándares priorizan la flexibilidad del diseño, lo que permite ajustes para adaptarse a las limitaciones físicas o presupuestarias. Sin embargo, dicha flexibilidad puede dar lugar a geometrías menos conservadoras y a una mayor exposición al riesgo si no va acompañada de medidas complementarias [41]. Por el contrario, otros marcos regulatorios adoptan una postura más estricta, limitando la variabilidad en los parámetros críticos para reducir la probabilidad de error del conductor, incluso si esto implica mayores costos de implementación [42].

En este contexto, el **Sistema seguro** enfoque se vuelve particularmente relevante. Este paradigma se basa en la premisa de que los errores humanos son inevitables, pero sus consecuencias pueden mitigarse si la infraestructura vial está diseñada para absorber o minimizar su impacto. Desde esta perspectiva, el diseño geométrico debe concebirse como una herramienta para gestionar estructuralmente el riesgo, yendo más allá de una visión centrada únicamente en la capacidad y la funcionalidad operativa [43].

Paralelamente, se han desarrollado varios modelos para predecir la ocurrencia de choques basados en variables geométricas específicas. Estudios como los de Bissell et al. [36] han vinculado directamente la alineación horizontal, el perfil longitudinal y el diseño de la sección transversal con el comportamiento del vehículo, lo que influye en la maniobrabilidad y el control del vehículo. Cenek et al. [38-39] a través de estudios empíricos realizados en Nueva Zelanda, estableció relaciones cuantitativas entre las características del entorno de la carretera y la frecuencia de accidentes, destacando que las pendientes pronunciadas, la

## **“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”**

---

visibilidad limitada y las geometrías abruptas aumentan significativamente el riesgo, particularmente en las áreas rurales.

Connor et al. [40] realizó una comparación internacional de las tasas de mortalidad por accidentes de tránsito y cuestionó la idoneidad de los manuales técnicos actuales para abordar diversos contextos socioterritoriales. Esta crítica es particularmente relevante en regiones donde las condiciones operativas, como las características de la flota de vehículos, el mantenimiento de carreteras y la disponibilidad de infraestructura de control, difieren sustancialmente de los supuestos bajo los cuales se desarrollaron muchas pautas regulatorias.

En consecuencia, esta revisión técnica comparativa tiene como objetivo encontrar en qué medida las decisiones regulatorias adoptadas por cada país reflejan un enfoque preventivo a través del diseño geométrico. La selección de valores conservadores o permisivos para variables clave, y la presencia o ausencia de herramientas regulatorias para evaluar la consistencia del diseño, dan como resultado niveles variables de riesgo inherente según el contexto de la carretera. Esta relación entre el diseño geométrico y la seguridad estructural debe convertirse en una parte esencial de cualquier proceso de planificación, para reducir de manera sostenible las lesiones por accidentes de tránsito. La evidencia cuantitativa refuerza la necesidad de que los marcos regulatorios incorporen evaluaciones de consistencia geométrica y parámetros específicos del contexto que sean adaptables a diversas realidades territoriales y operativas.

### **3.3.4. Análisis de los parámetros de diseño geométrico de las carreteras en comparación con los países desarrollados**

El análisis comparativo de los manuales oficiales de diseño geométrico de España, Estados Unidos, Francia, México y Colombia revela enfoques técnicos diferenciados que reflejan distintas filosofías regulatorias, capacidades institucionales y condiciones geográficas. Esta revisión encuentra tanto las fortalezas como las limitaciones de los marcos regulatorios existentes, así como las áreas de

## “Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”

---

oportunidad para los procesos de modernización regulatoria en los países en desarrollo. Sin embargo, si bien Estados Unidos y España brindan las actualizaciones más recientes sobre el tema, la prioridad no debe ser adoptar cambios a ciegas, sino identificar los elementos más adecuados para mejorar la seguridad y la eficiencia operativa de las carreteras mexicanas [6].

Estados Unidos, a través de *AASHTO Libro Verde* [19], adopta un enfoque altamente flexible, con parámetros geométricos que se pueden ajustar en función del volumen de tráfico, la clasificación funcional y las condiciones topográficas. Este modelo promueve el diseño basado en el rendimiento, ofreciendo márgenes de adaptación que requieren justificación técnica [44]. Del mismo modo, Francia, a través del manual ARP [20], establece rangos mínimos, recomendados y máximos para cada variable geométrica, acompañados de evaluaciones de seguridad vial, especialmente en entornos rurales. Ambos países implementan marcos regulatorios que combinan flexibilidad y rigor técnico, lo que permite adaptar los diseños a diversos contextos sin comprometer la seguridad estructural.

En el caso de España, el diseño geométrico se estructura jerárquicamente a través de la *Norma 3.1-IC: Trazado*, que define parámetros diferenciados en función de la categoría funcional de la carretera (Grupos 1 a 3) y el tipo de terreno (llano, ondulado, montañoso). Si bien esta regulación tiene como objetivo garantizar la continuidad y la coherencia entre los elementos de alineación, aún presenta limitaciones debido a la falta de herramientas explícitas de evaluación de riesgos o modelos de consistencia validados para la aplicación local [45].

En contraste, los marcos regulatorios de México y Colombia, representados por los estándares SICT [22] y el Manual de Diseño Geométrico del INVIAS [21], respectivamente, siguen un enfoque más prescriptivo, con valores normativos fijos establecidos por tipo de carretera. Este esquema simplifica la aplicación normativa en entornos con capacidad técnica limitada, pero restringe la capacidad de adaptar diseños geométricos a condiciones críticas como áreas montañosas, regiones rurales o segmentos de alto impacto. Además, estos casos muestran una ausencia

## **“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”**

---

de herramientas para evaluar la consistencia operativa, lo que puede llevar a tramos de carretera que siguen formalmente los estándares pero presentan deficiencias funcionales.

Las Tablas 3a a 3e resumen los parámetros normativos adoptados en cada país, incluidas variables clave como la velocidad de diseño, el radio mínimo de la curva, la pendiente máxima, el peralte, la pendiente transversal (corona) y el ancho del carril. Este análisis revela diferencias significativas en términos de flexibilidad regulatoria. Por ejemplo:

**Alineación horizontal:** Los países desarrollados permiten radios de curva mínimos más bajos, por lo tanto, permiten curvas más pronunciadas, respaldadas por criterios como la distancia de visibilidad, la fricción del pavimento y el control de velocidad.

**Alineación vertical:** Los países en desarrollo tienden a permitir pendientes máximas más pronunciadas, lo que refleja una adaptación a condiciones topográficas complejas, pero también implica mayores demandas operativas y un mayor riesgo en las secciones cuesta abajo.

**Peralte y pendiente transversal:** Si bien todos los países coinciden en valores máximos similares (que oscilan entre el 6% y el 10%), los métodos de aplicación y la justificación técnica difieren considerablemente entre los marcos regulatorios.

**“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”**

Tabla 3a. Variables clave de diseño geométrico utilizadas en México

País	Tipo de carretera	Velocidad de diseño (km/h)	Radio mínimo (m)	Pendiente máx. (%)	Perdente máx. (%)	Pendiente transversal máx. (%)	Ancho de carril (m)	AADT (veh/día)	Grado máximo de curva (°)
México	ET – A	110	650	4%	10%	2%	3.5	> 20.000	0.28
	ET – A	80	455	6%	10%	2%	3.5	> 20.000	0.4
	B	80	290	6%	8%	2%	3.5	5,000 – 10,000	0.62
	B	60	180	8%	8%	2%	3.5	5,000 – 10,000	1
	C	60	120	7%	8%	2%	3.5	1,000 – 5,000	1.5
	C	50	80	9%	8%	2%	3.5	1,000 – 5,000	2.25
	D	50	60	8%	8%	2%	3	400 – 1,000	3
	D	40	40	10%	8%	2%	3	400 – 1,000	4.5
	E	40	40	10%	8%	2%	2.7	< 400	4.5
	E	30	30	12%	8%	2%	2.7	< 400	6

Fuente: Elaboración propia basada en [21].

Tabla 3b. Variables clave de diseño geométrico utilizadas en los Estados Unidos de América

País	Tipo de carretera	Clasificación	Velocidad de diseño	Radio mínimo (m)	Pendiente máx. (%)	Perdente máx. (%)	Endrin a cruza	Ancho de carril	AADT (veh /	Grado máximo de
------	-------------------	---------------	---------------------	------------------	--------------------	-------------------	----------------	-----------------	-------------	-----------------

**“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”**

			(km/h)				da máx. (%)	(m)	día)	curva (°)
Estados Unidos	Autopistas	Autopistas interestatales o de varios carriles con acceso controlado	110	500	3%	8%	2%	3.6	> 25.00 0	0.36
	Arterias (Urbanas)	Principales arterias viales en áreas urbanas	80	240	4%	6%	2%	3.3	15,00 0 – 25,00 0	0.75
	Arteriales (Rural)	Carreteras principales fuera de las zonas urbanas	100	360	5%	6%	2%	3.6	10,00 0 – 15,00 0	0.5
	Coleccionistas	Calles colectoras que unen áreas locales con arterias	60	120	6%	6%	2%	3	2,000 – 10,00 0	1.5
	Carreteras Locales	Calles locales o de vecindario de bajo volumen	40	60	8%	6%	2%	2.7	< 2.000	3

**“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”**

Fuente: Elaboración propia basada en [18].

Tabla 3c. Variables clave de diseño geométrico utilizadas en España

País	Tipo de carretera	Clasificación	Velocidad de diseño (km/h)	Radio mínimo (m)	Pendiente máx. (%)	Perdente máx. (%)	Pendiente transversal máx. (%)	Ancho de carril (m)	AADT (veh/día)	Grado máximo de curva (°)
España	A-140	Autopista de alta capacidad	140	1050	4%	7%	2%	3.5	> 20,000	0.17
	A-130	Autopista de alta capacidad	130	900	4%	7%	2%	3.5	> 20,000	0.2
	A-120	Autopista / Autovía	120	760	4%	7%	2%	3.5	15,000 – 20,000	0.24
	A-110	Autopista / Autovía	110	630	5%	7%	2%	3.5	12,000 – 18,000	0.29
	A-100	Autovía convencional	100	520	5%	7%	2%	3.5	10,000 – 15,000	0.35
	A-90	Autovía convencional	90	400	6%	8%	2%	3.5	8,000 – 12,000	0.45
	A-80	Autovía convencional	80	300	6%	8%	2%	3.5	5,000 – 10,000	0.6
	C-100	Carretera convencional	100	520	5%	8%	2%	3.5	5,000 –	0.35

**“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”**

		nal							10,000	
C-90	Carretera convencional	90	400	6%	8%	2%	3.5	3,000 – 8,000	0.45	
C-80	Carretera convencional	80	300	7%	8%	2%	3.5	2,000 – 6,000	0.6	
C-70	Carretera convencional	70	220	7%	8%	2%	3.5	1,500 – 5,000	0.82	
C-60	Camino Regional / Rural	60	160	8%	8%	2%	3	1,000 – 2,000	1.12	
C-50	Camino Regional / Rural	50	120	9%	8%	2%	3	500 – 1,000	1.5	
C-40	Carretera de acceso local / limitado	40	80	10%	8%	2%	3	< 500	2.25	

Fuente: Elaboración propia basada en [17].

Tabla 3d. Variables clave de diseño geométrico utilizadas en Francia

País	Tipo de carretera	Clasificación	Velocidad de diseño (km/h)	Radio mínimo (m)	Pendiente máx. (%)	Perdiente máx. (%)	Pendiente transversal máx. (%)	Ancho de carril (m)	AADT (veh/día)	Grado máximo de curva (°)
------	-------------------	---------------	----------------------------	------------------	--------------------	--------------------	--------------------------------	---------------------	----------------	---------------------------

**“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”**

Francia	Autopistas (A)	Autopistas de peaje	130	900	4%	7%	2%	3.5	> 20,000	0.2
	Rutas Nacionales (N)	Carreteras nacionales	110	750	5%	7%	2%	3.5	10,000 – 20,000	0.24
	Carreteras Departamentales (D)	Carreteras departamentales	80	300	6% – 8%	7%	2%	3	1,000 – 10,000	0.6
	Carreteras municipales (C)	Carreteras municipales	50	80	8% – 12%	7%	2%	2.7	< 1.000	2.25

**Fuente:** Elaboración propia basada en estándares nacionales e internacionales [19].

Tabla 3e. Variables clave de diseño geométrico utilizadas en Colombia

País	Tipo de carretera	Clasificación	Velocidad de diseño (km/h)	Radio mínimo (m)	Pendiente máx. (%)	Perdente máx. (%)	Pendiente transversal máx. (%)	Ancho de carril (m)	AADT (veh/día)	Grado máximo de curva (°)
Colombia	Primario – Terreno plano	Carreteras nacionales	100	510	4%	10%	2%	3.65	> 15.000	0.35
	Primario – Terreno ondulado	Carreteras nacionales	80	230	6%	10%	2%	3.65	> 15.000	0.78
	Primario –	Carreteras	60	120	8%	10%	2%	3.65	> 15.000	1.5

**“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”**

Terreno montañoso	nacionales									
Secundario – Terreno plano	Carreteras de conexión regionales	80	230	5%	10%	2%	3.5	5,000 – 15,000	0.78	
Secundario – Terreno montañoso	Conexiones regionales o carreteras	50	80	8%	10%	2%	3.5	5,000 – 15,000	2.25	
Terciario – General	Caminos de acceso rurales o locales	40	50	10%	10%	2%	3.3	< 5.000	3.6	

**Fuente:** Elaboración propia basada en [20].

En términos generales, esta revisión muestra que los países desarrollados han adoptado marcos regulatorios con mayor adaptabilidad técnica, basados en criterios funcionales y operativos. En contraste, los países latinoamericanos priorizan esquemas estandarizados que mejoran la claridad regulatoria pero limitan la flexibilidad técnica.

Estas diferencias tienen implicaciones significativas no solo para el diseño de carreteras en condiciones ideales, sino también para la gestión de la infraestructura en áreas críticas. La transferencia técnica de las mejores prácticas normativas, basadas en evidencia como la presentada en este estudio, ofrece una oportunidad concreta para actualizar los parámetros, incorporar herramientas de evaluación de la consistencia del diseño e introducir criterios de diseño con un enfoque preventivo.

Además, los hallazgos ayudan a mostrar los principales desafíos regulatorios en México, donde las mayores dificultades radican en la alineación horizontal debido a

## **“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”**

---

la rigidez de los valores establecidos para los radios mínimos de la curva y los gradientes máximos. Aunque la alineación vertical también plantea desafíos, los gradientes más permisivos ofrecen cierto grado de adaptabilidad, particularmente en terrenos montañosos.

La utilidad de las comparaciones técnicas entre manuales radica en su capacidad para respaldar procesos de actualización normativa, adaptaciones regionales y mejoras en el diseño geométrico de carreteras, especialmente en regiones con altas tasas de accidentes o condiciones operativas desafiantes. Esta investigación proporciona una sistematización sin precedentes de variables clave en el diseño de carreteras, comparadas entre países representativos de América del Norte, Europa y América Latina, lo que permite visualizar convergencias, divergencias y oportunidades de mejora sensibles al contexto.

En última instancia, esta revisión de alcance tiene como objetivo contribuir al cuerpo de conocimiento técnico-científico al proponer un marco comparativo fundamentado que sirva como referencia para los tomadores de decisiones, académicos e ingenieros de caminos. A través de la comparación estructurada de estándares oficiales y sus parámetros críticos, este trabajo proporciona una herramienta para respaldar los ajustes regulatorios, justificar las decisiones de diseño y avanzar hacia modelos de planificación vial más seguros y adaptables alineados con el enfoque del Sistema Seguro.

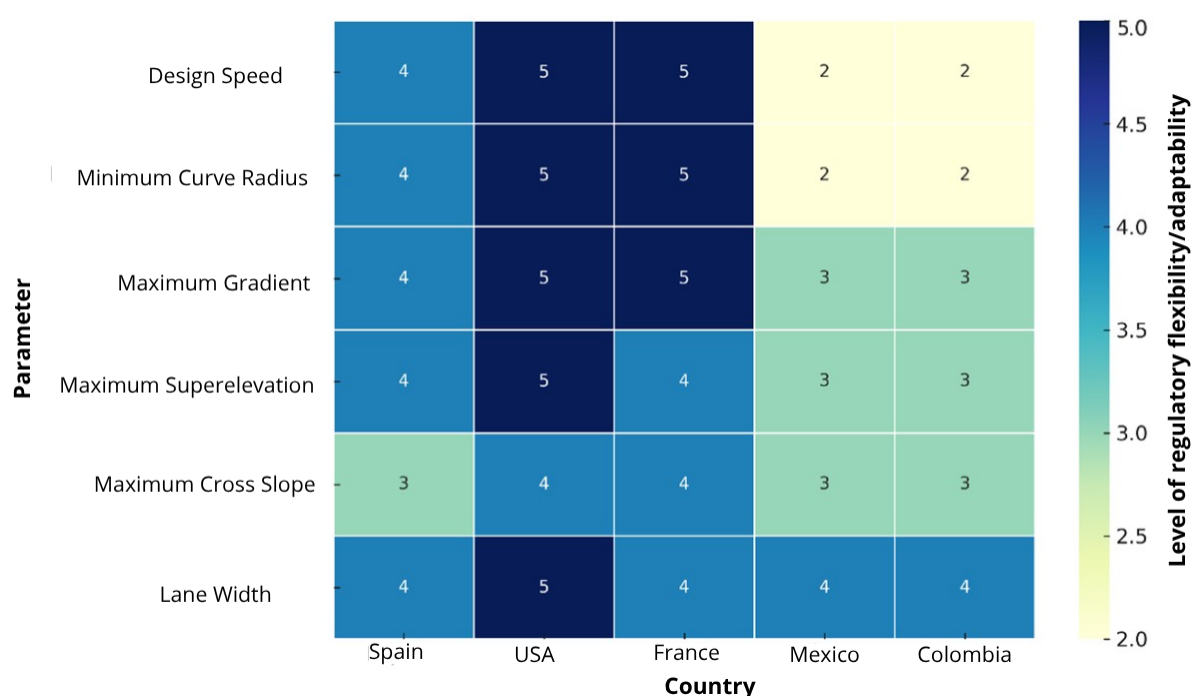
### **3.3.5 Síntesis y contribuciones**

El análisis comparativo de los estándares técnicos para el diseño geométrico de carreteras reveló diferencias sustanciales en seis parámetros clave: velocidad de diseño, radio de curvatura mínimo, pendiente longitudinal máxima, peralte, pendiente transversal (corona) y ancho de carril. Estos elementos, fundamentales para la configuración geométrica y el rendimiento operativo de las carreteras, también tienen un impacto directo en la seguridad vial desde la etapa de planificación. La Figura 3 ilustra el nivel estimado de flexibilidad técnica o

## “Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”

adaptabilidad (escala 1-5) en los seis parámetros clave de diseño geométrico: velocidad de diseño, radio de curvatura mínimo, pendiente máxima, peralte, corona y ancho de carril. Los resultados revelan un enfoque más adaptable en los países desarrollados (EE. UU., Francia), en contraste con los esquemas prescriptivos en los países latinoamericanos (México, Colombia), con España posicionada en un rango intermedio.

Figura 3. Comparación normativa de parámetros geométricos de carreteras por país.



Fuente: Elaboración propia.

Los estándares de España, Estados Unidos y Francia, representados por la Dirección General de Carreteras [18], el Libro Verde de AASHTO [19] y el ARP de CEREMA [20] reflejan enfoques flexibles y adaptativos, donde los valores técnicos varían en función de factores como el tipo de carretera, la clasificación funcional, la topografía y el comportamiento del usuario. En contraste, los lineamientos técnicos

## “Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”

---

de México [22] y Colombia [21] presentan esquemas más rígidos, con valores normativos fijos y herramientas limitadas para el ajuste contextual.

Por ejemplo, en cuanto a **la velocidad de diseño**, los países desarrollados establecen rangos variables que consideran la jerarquía funcional y el entorno geográfico, mientras que México y Colombia establecen valores fijos por clase de carretera, sin criterios de ajuste operacional [18], [19], [21], [22]. Se observa un patrón similar para el **radio de curvatura mínimo**, donde los modelos europeos y estadounidenses se basan en la fricción lateral, el peralte y la velocidad, mientras que los valores fijos conservadores son más comunes en las guías latinoamericanas [18]– [22].

En el caso del **gradiente longitudinal máximo**, Francia y España proporcionan valores diferenciados según la topografía y el tipo de carretera, llegando hasta el 10% en regiones montañosas [18], [20], en comparación con los límites más uniformes y restrictivos en México y Colombia [21], [22]. Para **el peralte**, existe un consenso en torno al 8% como valor máximo, aunque los países desarrollados incluyen ecuaciones y tablas de ajuste, que están ausentes de los estándares latinoamericanos [18], [19], [21], [22]. Sobre la **pendiente transversal (corona)**, Francia y Estados Unidos permiten rangos entre 1.5% y 2.5% dependiendo del tipo de pavimento y clima, mientras que México y Colombia aplican un solo valor de 2% [19], [20], [21], [22]. Finalmente, **el ancho de carril** muestra una concordancia general de alrededor de 3,5 metros, aunque se aceptan variaciones en los EE. UU. y España para entornos urbanos o rurales de baja demanda [18], [19].

Estas diferencias normativas no se derivan únicamente de consideraciones técnicas, sino que también están determinadas por estructuras institucionales, capacidades regulatorias y modelos diferenciados de gestión de riesgos. En los países desarrollados, los estándares de diseño geométrico están alineados con un **enfoque preventivo**, donde el diseño se concibe como una herramienta estructural para reducir los accidentes de tránsito. Documentos como el *Libro Verde* [19], el *ARP* francés [20] y el estándar español [18] incorporan conceptos como

## “Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”

---

**consistencia geométrica, alineación perceptual y perfil de velocidad deseado.** Estos criterios ayudan a esperar errores del controlador, garantizar transiciones suaves a lo largo de la alineación y adaptar las decisiones de diseño al comportamiento del usuario.

En contraste, aunque los principios de seguridad vial son reconocidos en México [22] y Colombia [21], no se articulan sistemáticamente con parámetros geométricos. Los estándares tienden a centrarse en cumplir con los umbrales numéricos sin considerar su relación funcional con la percepción, la velocidad de operación o la trayectoria del conductor. Además, faltan herramientas normativas para evaluar la consistencia entre velocidad, visibilidad y geometría, lo que limita la capacidad del diseño para esperar maniobras inseguras o condiciones de riesgo.

En general, los resultados de esta revisión revelan una **brecha regulatoria significativa** entre los países desarrollados y latinoamericanos, tanto en términos de flexibilidad técnica como de integración de criterios de seguridad vial. Esta situación presenta una oportunidad para promover **procesos de modernización normativa** que incorporen el **enfoque del Sistema Seguro**, fomenten el **diseño sensible al contexto** y fortalezcan el vínculo entre los parámetros geométricos y el rendimiento en el mundo real.

Además, este estudio proporciona un marco comparativo útil para ingenieros, planificadores y tomadores de decisiones, al ilustrar cómo los valores técnicos se pueden adaptar a las condiciones reales del medio ambiente, particularmente en áreas montañosas o con limitaciones presupuestarias, sin comprometer la seguridad del usuario. Finalmente, aboga por el avance de líneas de **investigación aplicada** que validen empíricamente la relación entre los estándares geométricos y la incidencia de accidentes, y que integren **metodologías emergentes** como el análisis de riesgos, la simulación de conducción, las tecnologías geoespaciales y los enfoques multicriterio para el diseño de **infraestructura vial segura y resiliente**.

**“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”**

---

## “Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”

---

### 5. Conclusiones

Este estudio presenta una revisión estructurada de los principales parámetros regulatorios para el diseño geométrico de carreteras establecidos en cinco países: México, Colombia, Estados Unidos, España y Francia. A través del análisis comparativo de variables como la velocidad de diseño, el radio mínimo de la curva, la pendiente máxima, el peralte, la pendiente transversal (inclinación) y el ancho de los carriles, se encontró que los países desarrollados han adoptado marcos regulatorios más flexibles, adaptables a contextos operativos y alineados con los enfoques modernos de seguridad vial. En contraste, los países latinoamericanos mantienen estándares más rígidos y prescriptivos, con una articulación limitada entre los criterios geométricos y los resultados de desempeño en accidentes.

Los estándares de Estados Unidos, Francia y España incorporan herramientas como perfiles de velocidad deseados, análisis de consistencia geométrica y diseño centrado en el error humano. Estos elementos permiten anticipar maniobras inseguras y adaptarse a las capacidades del usuario, mientras que en México y Colombia, el enfoque predominante se basa en parámetros fijos sin un vínculo explícito con el comportamiento del conductor o las condiciones reales de operación. Esta disparidad normativa se vuelve más pronunciada en contextos geográficamente complejos, como las áreas montañosas, donde los valores regulatorios fijos restringen la adaptabilidad del diseño geométrico. En tales casos, los países desarrollados complementan el diseño geométrico con dispositivos de seguridad adicionales, señalización anticipada y ajustes geométricos controlados para mitigar los riesgos.

Una de las principales contribuciones de esta revisión es demostrar que las diferencias normativas no son solo un reflejo de las condiciones técnicas o topográficas, sino que también se derivan de las estructuras institucionales, las capacidades regulatorias y los modelos de gestión del riesgo vial. Los estándares más avanzados integran un enfoque sistémico, preventivo y proactivo alineado con el **modelo de Sistema Seguro**, en el que el diseño geométrico se concibe como

## **“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”**

---

una herramienta estructural para reducir la probabilidad y la gravedad de los choques. En este sentido, los resultados confirman que las comparaciones técnicas entre manuales son una herramienta valiosa para justificar las actualizaciones regulatorias, encontrar las mejores prácticas internacionales y adaptar los criterios de diseño a realidades operativas complejas.

Además, la revisión sintetizó las muchas formas en que se clasifican las carreteras y cómo se asignan los valores de diseño de acuerdo con cada tipo de carretera. Esta clasificación diferenciada, combinada con criterios flexibles, permite una mejor adaptación del diseño geométrico a las condiciones reales del entorno circundante, especialmente cuando se apoya en evaluaciones del terreno, estudios in situ, vuelos de drones y la generación de bases de datos ambientales y geodésicas. La aplicación de tecnologías modernas, como plataformas de diseño de carreteras en línea, análisis topográficos automatizados y simulaciones comparativas con software especializado, es un camino prometedor para mejorar la calidad, precisión y seguridad del diseño geométrico, siempre que vayan acompañadas de criterios de validación estructural y regulatoria.

La experiencia comparada muestra que el diseño geométrico, tradicionalmente centrado en el cumplimiento de parámetros mínimos, debe evolucionar hacia una perspectiva de seguridad sustantiva, es decir, una basada en una seguridad que sea medible, verificable y evaluable. Lograr esto requiere una transición de un enfoque prescriptivo a uno preventivo, donde la dinámica del usuario, el contexto funcional y la reducción efectiva del riesgo son elementos centrales del proceso de diseño.

Finalmente, el estudio destaca la necesidad de continuar la investigación que evalúe empíricamente la relación entre los parámetros geométricos y la ocurrencia de accidentes, así como el impacto de diferentes enfoques regulatorios en el desempeño real de la infraestructura vial. También se recomienda avanzar hacia modelos de diseño que integren herramientas de análisis de riesgos, toma de decisiones multicriterio, evidencia científica y metodologías participativas, en línea

---

## **“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”**

---

con los principios del enfoque de Sistema Seguro y la planificación vial sostenible. Esta transición es esencial para fortalecer los marcos regulatorios, proteger vidas humanas y garantizar una infraestructura vial más resiliente y funcional.

## “Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”

---

### Referencias

- [1] J. A. M. De León, D. Z. De León, y A. R. Esparza, «Consideraciones, procedimientos y conceptos para la realización de un proyecto geométrico de carreteras», *Cult. Científica Tecnológica*, n.º 57, 2015.
- [2] A. García García, A. M. Pérez Zuriaga, y F. J. Camacho Torregrosa, *Introducción al diseño geométrico de carreteras: concepción y planteamiento*. Universidad Politécnica de València, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/16911>
- [3] W. E. Alvarado Peralta y L. S. Martínez Cárdenas, «Propuesta para la actualización del diseño geométrico de la carretera Chancos-Vicos–Wlash según criterios de seguridad y economía». 2017.
- [4] A. V. Franco, J. L. C. Bello, y Ò. O. C. González, «Utilización del CivilCAD en diseños geométricos aplicados en el área de caminos», *Rev. Innova Ing.*, vol. 1, n.º 2, págs. 10-10, 2017.
- [5] S. Torres y J. A. Contreras, «Aplicación de la tecnología vía internet en el diseño geométrico de carretera de la ruta Comas-San Juan de Lurigancho». 2022. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/84484>
- [6] A. Mendoza, E. Abarca, E. Mayoral, y F. Quintero, «Recomendaciones de actualización de algunos elementos del proyecto geométrico de carreteras», Instituto Mexicano del Transporte, México, Publicación Técnica, 2004.
- [7] A. Mendoza, F. Quintero, y E. Mayoral, «Algunas consideraciones de seguridad para el proyecto geométrico de carreteras», Instituto Mexicano del Transporte, México, Publicación Técnica, 2002.
- [8] S. P. Veer, S. Gupte, y J. Juremalani, «A Review of Literature on Geometric Design of Highway», *Int. Res. J. Ing. Technol. IRJET*, vol. 5, n.º 1, 2018.
- [9] K. Kalita y A. K. Maurya, «Diseño geométrico probabilístico de carreteras: una revisión», *Transp. Res. Procedía*, vol. 48, págs. 1244-1253, 2020.
-

## “Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”

---

- [10] G. Kanellaidis, «Factores humanos en el diseño geométrico de carreteras», *J. Transp. Ing.*, vol. 122, n.º 1, págs. 59-66, 1996.
- [11] M. P. Bobermin, M. M. Silva, y S. Ferreira, «Simuladores de conducción para evaluar los efectos del diseño geométrico de la carretera en el comportamiento del conductor: una revisión sistemática», *Accid. Anal. Prev.*, vol. 150, pág. 105923, 2021, doi: 10.1016/j.aap.2020.105923.
- [12] M. Atashafrzeh y M. M. Yadollahi, «Modelo de consistencia de diseño geométrico basado en la velocidad y la seguridad en carreteras rurales en algunos países europeos: una revisión», *Int. J. Struct. Civ. Ing. Res.*, vol. 2, n.º 2, págs. 129-136, 2013.
- [13] Y. Hassan, «Consistencia del diseño de carreteras: refinando el estado del conocimiento y la práctica», *Transp. Res. Rec.*, vol. 1881, no. 1, págs. 63-71, 2004.
- [14] G. Dell'Acqua, M. De Luca, C. G. Prato, O. Prentkovskis, y R. Junevičius, «El impacto del movimiento de vehículos en los parámetros de explotación de carreteras y pistas: una breve revisión del número especial», *Transporte*, vol. 31, n.º 2, págs. 127-132, 2016.
- [15] A. C. Tricco *et al.*, «Extensión PRISMA para revisiones de alcance (PRISMA-ScR): Lista de verificación y explicación», *Ann. Pasante. Med.*, vol. 169, n.º 7, págs. 467-473, 2018.
- [16] M. Ouzzani, H. Hammady, Z. Fedorowicz, y A. Elmagarmid, «Rayyan — Una aplicación web y móvil para revisiones sistemáticas», *Syst. Rev.*, vol. 5, n.º 210, 2016, doi: 10.1186/s13643-016-0384-4.
- [17] Ministerio de Fomento, *Norma 3.1-IC: Trazado*. España, 2016.
- [18] Asociación Estadounidense de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte (AASHTO), *Una política sobre diseño geométrico de carreteras y calles (Libro Verde)*, 7.<sup>un</sup> ed. Washington, D.C.: AASHTO, 2018.
-

## “Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”

---

- [19] CEREMA, *Desarrollo de carreteras principales (ARP)*. En las referencias. Francia: Ministerio de Transición Ecológica e Inclusiva, 2022.
- [20] Instituto Nacional de Vías (INVIAS), *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras*, 3.<sup>un</sup> ed. Bogotá, Colombia: INVIAS, 2008.
- [21] Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), *Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras*, 3.<sup>un</sup> ed. México: Dirección General de Servicios Técnicos, 2018.
- [22] PIARC World Road Association, «Strategic Plan 2020–2023». Francia, octubre de 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.piarc.org/ressources/documents/Plans-Strategiques-PIARC-Association-Mondiale-de-la-Route-2020-2023/a61b359-32729-Plan-Strategique-2020-2023-PIARC-Association-Mondiale-de-la-Route-Actualisation-October-2020.pdf>
- [23] R. Coakley, R. Storm, y T. Neuman, «Relación entre las características del diseño geométrico y el rendimiento», *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 2588, n.º 1, págs. 80-88, 2016, doi: 10.3141/2588-09.
- [24] M. Jha y E. Kim, «Optimización de rutas de carreteras basadas en la accesibilidad», *J. Transp. Ing.*, págs. 435-439, 2006.
- [25] G. Hernández, «Evaluación económica de la pendiente gobernadora en carreteras», Instituto Mexicano del Transporte, Publicación Técnica 54, 1995.
- [26] A. Elizondo, «Elaboración de Normativa SCT», *Vías Terr.*, vol. 39, pp. 22-26, feb. 2016.
- [27] D. Moser, «Nos concentramos en la generación y actualización de normas», *Vías Terr.*, vol. 42, págs. 10-14, 2016.
- [28] A. S. Ismail, «Calibración probabilística del diseño geométrico de carreteras: cuestiones teóricas y aplicaciones», tesis doctoral, Universidad de Columbia Británica, 2006.
-

## “Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”

---

[29] T. E. Lindheimer, K. Fitzpatrick, R. Avelar, y J. D. Miles, «Efecto de los factores geométricos en la posición lateral de los vehículos en los carriles gestionados separados por amortiguadores de las autopistas», *Transp. Res. Rec.*, vol. 2616, n.º 1, págs. 10-18, 2017.

[30] N. L. Jehn y R. E. Turochy, «Desarrollo de modelos de probabilidad de avería y equivalentes de automóviles de pasajeros de vehículos pesados para zonas de trabajo de autopistas rurales», *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 2674, n.º 12, págs. 144-154, 2020, doi: 10.1177/0361198120951197.

[31] Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT), *Manual de Carreteras: Diseño Geométrico*. México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Servicios Técnicos, 2018.

[32] A. García, F. Camacho, A. Pérez, A. Moreno, y C. Lorca, «Nuevo proceso de diseño geométrico para unas carreteras convencionales más seguras», *Cuad. Tecnológico PTC*, vol. 6, 2013.

[33] M. Wooldridge, K. Fitzpatrick, D. Harwood, I. Potts, L. Elefteriadou, y D. Torbic, «Consistencia de diseño geométrico en carreteras rurales de dos carriles de alta velocidad», Junta de Investigación de Transporte de las Academias Nacionales, Washington, DC, 2003.

[34] D. Silcock, «Prevención de muertes y lesiones en las carreteras del mundo», *Transp. Rev.*, vol. 23, n.º 3, págs. 263-273, 2003.

[35] A. Karndacharuk, D. Wilson, y R. Dunn, «Una revisión de la evolución de los conceptos de espacio compartido (callejero) en entornos urbanos», *Transp. Rev.*, vol. 34, n.º 2, págs. 190-220, mar. 2014.

[36] H. H. Bissell, G. B. Pilkington, J. M. Mason, y D. L. Woods, «Sección transversal y alineación de carreteras», en *Síntesis de la investigación de seguridad relacionada con el control del tráfico y los elementos viales*, vol. 1, Washington, DC:

## “Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”

---

Departamento de Transporte de EE. UU., Administración Federal de Carreteras, 1982, p. 1.1-1.16.

[37] P. D. Cenek, R. B. Davies, M. Loader, y M. W. McLarin, «Crash Risk Relationships for Improved Safety Management of Roads», Transfund NZ, Wellington, Nueva Zelanda, Informe de investigación PR3-0709, 2004.

[38] P. D. Cenek, R. B. Davies, M. W. McLarin, G. Griffith-Jones, y N. J. Locke, «Road Environment and Traffic Crashes», Transfund NZ, Wellington, Nueva Zelanda, Informe de investigación No. 79, 1997.

[39] J. Connor, J. Langley, y C. Cryer, «International Comparisons of Injury Deaths: Road Traffic», Informe a la Secretaría de la Estrategia de Prevención de Lesiones de Nueva Zelanda, Wellington, Nueva Zelanda, 2006.

[40] S. Cafiso, C. D'Agostino, y E. La Cava, «Funciones de Desempeño de Seguridad para Carreteras de Bajo Volumen», *Accid. Anal. Prev.*, vol. 39, n.º 1, págs. 17-23, 2007.

[41] S. Dissanayake, A. Indupuru, y A. J. Hallmark, «Comparación de la gravedad de los choques entre curvas horizontales y tangentes en carreteras rurales de dos carriles en Kansas», *J. Transp. Ing.*, vol. 135, n.º 2, págs. 75-81, 2009.

[42] R. Lamm y T. Mailaender, «Consistencia de velocidad: modelo de perfil de velocidad», *Transp. Res. Rec.*, n.º 1512, págs. 28-35, 1995.

[43] A. Montella, F. Galante, y V. Punzo, «Evaluación del desempeño de seguridad de las carreteras rurales de dos carriles: un estudio comparativo utilizando Bayes empíricos y Bayes completos», *Accid. Anal. Prev.*, vol. 42, no. 4, págs. 1412-1421, 2010.

[44] D. B. Fambro, J. C. Collings, R. L. Vrdova, J. P. Leisch, y J. M. Mason, «Geometric Design: Past, Present and Future», Transportation Research Board, Washington, DC, US, 2008.

**“Análisis comparativo de las especificaciones técnicas en el diseño geométrico carretero y su relación con la seguridad vial en el contexto internacional”**

---

[45] A. García, F. J. Camacho, y D. Llopis, «Desarrollo de una metodología para el diseño y mejora de carreteras convencionales a partir del análisis de la seguridad vial mediante modelos de consistencia», Tesis, Universidad Politécnica de Valencia, 2018.