



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

Esta es la portada no se imprime

**CONSIDERACIONES PARA LA PREVENCIÓN DE DESASTRES NATURALES  
EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS**

**Héctor Raúl Chen García**  
**Asesorado por: Ing. César Augusto Castillo Morales**

**Guatemala, mayo de 2003**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CONSIDERACIONES PARA LA PREVENCIÓN DE DESASTRES NATURALES  
EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE  
LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

**POR**

**HÉCTOR RAÚL CHEN GARCÍA  
ASESORADO POR: ING. CÉSAR AUGUSTO CASTILLO MORALES**

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**Guatemala, mayo de 2003**

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los requisitos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **Consideraciones para la prevención de desastres naturales en el diseño geométrico de carreteras**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 24 de julio de 2001.

**HÉCTOR RAÚL CHEN GARCÍA**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

<b>DECANO</b>	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
<b>VOCAL I</b>	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
<b>VOCAL II</b>	Ing. Amahán Sánchez Álvarez
<b>VOCAL III</b>	Ing. Julio David Galicia Celada
<b>VOCAL IV</b>	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
<b>VOCAL V</b>	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
<b>SECRETARIO</b>	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

<b>DECANO</b>	Ing. Herbert René Miranda Barrios
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Ricardo Arturo Rodas Romero
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
<b>SECRETARIA</b>	Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas

## **ACTO QUE DEDICO**

- A MIS PADRES** Lázaro Chen Sic, Isabel García, por su amor, ayuda, comprensión y ejemplo, que Dios los bendiga y les dé paz en recompensa por sus sacrificios.
- A MIS HERMANOS** Por haberme alentado y brindado su comprensión.
- A MIS SOBRINOS** Con mucho cariño.
- A MIS FAMILIARES** Con respeto y cariño.
- MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS, EN ESPECIAL A** Joel Lorenzo Ramos Soberanis, Joel Estuardo Palma, Ellios Rodríguez, William Castillo, Eddie Rodríguez, Marco Vinicio Romero, Milton Santizo, Wágner Mejía Bustamante, Mónica Mazariegos, Evelyn Ortiz, por su convivencia y amistad.
- A VÍCTOR BAY, GERSON CUJCUY, CARMEN ARENAS Y HÉCTOR MARIO BARRIOS CELADA** Por toda la colaboración que me brindaron para hacer posible este trabajo de graduación, y por brindarme apoyo, seguridad y confianza y por su amistad sincera.
- A LA MEMORIA DE MI GRAN AMIGO** Edgar Omelio Cifuentes ( † )
- A USTED** Con respeto y cariño.

## **AGRADECIMIENTO**

A **Dios**, porque Él da la sabiduría y de Su boca viene el conocimiento y la inteligencia.

Al ingeniero **César Augusto Castillo Morales**, por su valiosa colaboración como asesor de este trabajo de graduación.

Al ingeniero Augusto René Pérez Méndez por el apoyo brindado para la realización de este trabajo.

A todas las personas que contribuyeron de alguna manera con este trabajo.

# ÍNDICE GENERAL

<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b> .....	<b>III</b>
<b>GLOSARIO</b> .....	<b>V</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>VII</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>IX</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>XI</b>
1. RIESGOS NATURALES. ....	1
1.1. ¿Qué es riesgo? .....	1
1.2. ¿Qué son elementos de riesgo? .....	2
1.3. ¿Qué es riesgo total? .....	2
1.4. Mecanismos de reducción del riesgo. ....	4
1.4.1. Medidas estructurales .....	5
1.4.2. Medidas no estructurales. ....	6
1.5. Marco estratégico para la atención de desastres. ....	6
1.5.1. Sección de fortalecimiento institucional. ....	6
1.5.2. Sección de información e investigación .....	7
1.5.3. Sección de fortalecimiento de controles técnicos. ...	7
2. ELEMENTOS BÁSICOS A CONSIDERAR PARA LA CIRCULACIÓN SEGURA EN LAS CARRETERAS .....	9
2.1. Consideraciones viales .....	10
2.2. Consideraciones de señalización. ....	11
2.3. Consideraciones peatonales .....	12

3.	CONSIDERACIONES GENERALES EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS PARA LA PREVENCIÓN DE DESASTRES NATURALES. . . . .	15
3.1.	Aspectos generales . . . . .	16
3.2.	Tipos de vehículos. . . . .	16
3.3.	Conteo de tránsito. . . . .	19
3.3.1.	El tránsito promedio diario anual TPDA. . . . .	20
3.3.2.	El tránsito de la hora pico o de punta. . . . .	21
3.3.3.	El factor de la hora pico FHP. . . . .	23
3.3.4.	La composición del tránsito. . . . .	24
3.3.5.	La distribución direccional de las corrientes de tránsito (D) . . . . .	24
3.3.6.	Las proyecciones de la demanda del tránsito. . . . .	26
4.	PLANIFICACIÓN VIAL PARA LA MITIGACIÓN DE LOS EFECTOS ANTE LOS DESASTRES NATURALES. . . . .	33
4.1.	Criterios generales para la selección de una ruta nueva o un cambio de línea . . . . .	34
4.2.	Consideraciones generales en la etapa de planificación. . . . .	35
4.3.	Otras consideraciones. . . . .	38
4.4.	Evaluación de las zonas de alto riesgo en el país. . . . .	40
	<b>CONCLUSIONES. . . . .</b>	<b>45</b>
	<b>RECOMENDACIONES . . . . .</b>	<b>47</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA . . . . .</b>	<b>49</b>
	<b>ANEXOS . . . . .</b>	<b>51</b>

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>A</b>	Probabilidad de ocurrencia del fenómeno (amenaza)
<b>D</b>	Distribución direccional
<b>E</b>	Elementos de riesgo (exposición)
<b>FHP</b>	Factor hora pico
<b>GIS</b>	Sistema de información geofísica
<b>R<sub>t</sub></b>	Riesgo total
<b>S</b>	Influencia de las condiciones locales (susceptibilidad)
<b>TPDA</b>	Tránsito promedio diario anual
<b>V</b>	Vulnerabilidad



## **GLOSARIO**

<b>Desastre</b>	Evento de carácter natural.
<b>Fenómenos geodinámicos</b>	Son causados por movimientos de tierra.
<b>Fenómenos geofísicos</b>	Ocurren como consecuencia de lluvias o temblores.
<b>Fenómenos hidrometeorológicos</b>	Son causados principalmente por vientos con extrema velocidad debido a zonas de baja presión.
<b>Gestión de desastres</b>	Conjunto de las actividades relacionadas con reconstrucción y rehabilitación.
<b>Gestión de riesgo</b>	Actividades que se llevan a cabo antes del desastre.
<b>Mitigación de desastres</b>	Conjunto de actividades que tienen como objetivo reducir la vulnerabilidad.
<b>Prevención</b>	Conjunto de actividades que tienen como objetivo reducir la amenaza.

<b>Riesgo total</b>	Cuantificación de los daños esperados ante la ocurrencia de un determinado fenómeno natural.
<b>Riesgo</b>	Es la posibilidad de daño o pérdida a la cual se encuentra expuesta una infraestructura.
<b>Riesgos antrópicos</b>	Se refiere al área social, peligros tecnológicos y biológicos.
<b>Riesgos físicos</b>	Se refiere a los geológicos, hidrológicos y meteorológicos.

## **RESUMEN**

El riesgo natural es una posibilidad de daño o pérdida a la cual se encuentra una infraestructura, los elementos de esta infraestructura son los que la van a predisponer al riesgo.

Para ello es necesario buscar mecanismos que reduzcan el riesgo a la que están expuestos, claro está, esto conlleva un análisis de costo/beneficio de la inversión para mitigar dichos daños.

Dentro del marco estratégico para la atención de desastres es necesario crear instituciones de fortalecimiento institucional, de información e investigación y de controles técnicos.

Aspectos muy importantes que tienen que tomarse en cuenta para prevenir impactos desastrosos de gran magnitud en la infraestructura vial del país es aplicar correctamente todas las normas establecidas para el diseño geométrico de carreteras. Es necesario evitar los cambios abruptos en las características geométricas de un segmento dado, manteniendo la coherencia de todos los elementos del diseño con las expectativas del conductor promedio.

Una planificación vial para mitigar el efecto ante los desastres naturales es muy importante para estos tiempos, es necesario tener un banco de datos actualizados sobre las zonas que presentan alto riesgo en el país, pero sería de más beneficio si estas zonas de alto riesgo se evaluaran constantemente, para brindarle a las instituciones que se dedican a la construcción de carreteras, datos exactos, mitigando de esta manera, la vulnerabilidad de la red vial del país.

## OBJETIVOS

- **General**

Determinar los aspectos generales para la prevención de desastres naturales.

Concienciar a los planificadores de estructuras viales para que incluyan, en el diseño geométrico de carreteras, medidas de prevención para mitigar el efecto de los desastres naturales.

- **Específicos**

1. Establecer los mecanismos para reducir el riesgo de destrucción de la infraestructura vial del país ante los desastres naturales.
2. Localizar los lugares de alto riesgo para las infraestructuras viales del país ante los desastres naturales.
3. Servir como documento de consulta para los diseñadores de infraestructuras viales del país.
4. Orientar la planificación vial para la mitigación de los efectos ante los desastres naturales en el país.
5. Motivar la inclusión de medidas de mitigación ante los desastres naturales en el diseño geométrico de las carreteras.



# INTRODUCCIÓN

Nuestro país se caracteriza por su variedad topográfica, por su clima, por sus fenómenos naturales y atmosféricos. Estos fenómenos naturales han golpeado duramente al país, también la infraestructura de toda clase existente ha sufrido los efectos de los fenómenos naturales que nos han azotado.

Se ha tenido la mala experiencia que, después de que ocurre un desastre natural lo que se observa es un efecto desastroso en todo tipo de infraestructura, destrucciones a gran escala en viviendas, en vidas humanas y en las redes viales del país.

Posteriormente a estas catástrofes viene la etapa de reconstrucción que trae como consecuencia las altas inversiones para reparaciones que únicamente van a servir para un determinado tiempo de vida, porque bien sabemos que una carretera reparada o parchada ya no es la misma.

Por todo esto que ha sido visto y vivido, es necesario tener un plan de contingencia para minimizar el riesgo, para mitigar la vulnerabilidad de la red vial del país. En este caso particular, la red vial, infraestructura de suma importancia en el país para el desarrollo de todo tipo, en especial, la economía.

Si una carretera queda dañada u obstruida y su reparación exige demasiado tiempo, el transporte se paraliza, el producto se pierde (si es del producto que tiene que llegar a su destino a debido tiempo), como consecuencia, la economía se paraliza.

Este plan de contingencia va más allá de un plan que sirva para reparar los daños ocasionados por un desastre natural en la red vial del país. Este plan de contingencia va desde el nacimiento de un proyecto hasta la construcción de una carretera.

Cuando se esté diseñando una carretera es necesario considerar, con toda seriedad, las normas de diseño geométrico de carreteras plasmadas en los manuales, como también se tienen que tomar en cuenta los fenómenos naturales que puedan afectar dicha carretera. Es razonable que no se pueda hacer mayor cosa contra los terremotos, pero sí contra los deslizamientos y las inundaciones que tanto daño le hacen a la red vial del país.

# **1. RIESGOS NATURALES**

Representan la posibilidad de daño o pérdida a la cual se encuentra expuesta una infraestructura ante los desastres naturales.

## **1.1. ¿Qué es riesgo?**

Es la posibilidad de daño o pérdida a la cual se encuentra expuesta una infraestructura y se encuentra relacionada con la realización de acciones específicas que prevengan posibles consecuencias negativas.

La evaluación y el manejo del riesgo fueron desarrollados originalmente para sistemas bien estructurados, en los cuales existía un alto grado de control. Sin embargo, el manejo del riesgo se ha extendido a problemas sin estructuración ni control, tales como la degradación y los desastres naturales. Puesto que estos problemas no son productos que puedan ser diseñados y manipulados y no existe un punto de vista unificado para enfrentarlos, son necesarios elementos y enfoques amplios e integrados que fortalezcan la administración y planificación.

El manejo del riesgo ante los desastres naturales conlleva la administración y planificación de recursos e inversiones, en medidas que reduzcan las consecuencias negativas, tanto sociales como económicas, de la población y la infraestructura en general.

Algunas características importantes en el manejo del riesgo ante desastres naturales, es que su principal propósito es minimizar las pérdidas potenciales, además, se deben analizar los resultados de eventos muy remotos para considerar sus verdaderos efectos y aunque algunos desastres naturales tienen probabilidades muy bajas de ocurrencia, las pérdidas potenciales que resultan al ocurrir un evento, pueden ser inaceptables. Por esa razón, las decisiones deben tomarse para prevenir situaciones extremas con posibilidad de que se repitan.

La posibilidad de reducir el riesgo se basa en la cuantificación, de manera que permita tomar decisiones sobre las inversiones a realizar. Se puede utilizar la evaluación del impacto de un fenómeno actual y el costo de reposición de los bienes expuestos a una amenaza.

## **1.2. ¿Qué son los elementos de riesgo?**

La exposición a un riesgo depende de los elementos de la infraestructura (bienes y servicios) y la población potencialmente en riesgo en un área donde ya ha sido identificada una amenaza. La evaluación puede hacerse basado en la zonificación del uso del suelo y la densidad de población. Esta evaluación requiere la realización de censos de población e inventarios de infraestructura dentro de la región específica con sus características.

## **1.3. ¿Qué es riesgo total?**

Es la cuantificación de los daños esperados ante la ocurrencia de un determinado fenómeno natural. Esta cuantificación puede realizarse en términos de vidas humanas perdidas, heridas o pérdidas económicas.

El riesgo total puede integrar todos los elementos descritos en los numerales anteriores de la siguiente forma:

$$R_t = A * S * E * V$$

En donde:

$R_t$  = Riesgo total

A = Probabilidad de ocurrencia del fenómeno (amenaza)

S = Influencia de las condiciones locales (susceptibilidad)

E = Elementos de riesgo (exposición)

V = Vulnerabilidad

Puesto que la susceptibilidad generalmente está incluida en la evaluación de la amenaza y la exposición de riesgo se evalúa en conjunto con la vulnerabilidad, esta ecuación podría ser simplificada así:

$$R_t = A * V$$

Es decir:

Riesgo = Amenaza \* Vulnerabilidad

#### **1.4. Mecanismos de reducción del riesgo**

La evaluación del riesgo conlleva un análisis costo/beneficio de la inversión que se realice en la mitigación de los daños que puedan sucederse ante un desastre. Esto permite definir prioridades de inversión de obras que reduzcan los posibles efectos adversos, para ser incluidos en los planes de inversión y desarrollo del país.

Esta reducción del riesgo se logra mediante la reducción de la vulnerabilidad de la infraestructura, puesto que es evidente que no puede hacerse nada por reducir el factor amenaza natural, esto significa que no puede evitarse que suceda un sismo o la formación de un huracán.

Como ejemplo podemos citar que la amenaza sísmica se puede reducir mediante un diseño estructural capaz de resistir este evento, sin considerar los períodos de ocurrencia, ya que es imposible poder evitar que suceda.

Puesto que el riesgo es el producto de la amenaza por la vulnerabilidad, los esfuerzos deben enfocarse a reducir estos factores, principalmente la vulnerabilidad, ya que ésta depende de la actividad humana. De aquí que dada la alta variedad de amenazas y la amplitud de su ubicación, asociados con los períodos de ocurrencia, se puede establecer que mejorando las normas y técnicas de diseño y construcción, se pueden reducir algunos factores de la vulnerabilidad, siendo éstos algunos de los mecanismos más efectivos.

Existen ciertas amenazas que pueden ser ubicadas con gran exactitud, tales como los deslizamientos o las inundaciones, sin embargo, no se pueden establecer los períodos de ocurrencia, únicamente se indican las zonas de alto riesgo de ocurrencia, sin precisar cuando sucederán.

En el caso de las inundaciones, las medidas a efectuar para reducir la vulnerabilidad, están dadas para evitar que suceda el evento, o sea la construcción de obras en áreas de alto riesgo, aunque no siempre justifiquen en gran medida el costo económico de las estructuras realizadas para contener las inundaciones.

Para los deslizamientos, deben realizarse obras que eviten el evento más que para resistir sus efectos, ya que muchas veces el costo económico de la obra para sostener las masas de tierra tienden a ser superiores al propio valor del proyecto.

En todo caso, pueden distinguirse dos tipos de medidas contra los desastres naturales: las estructurales y las no estructurales.

#### **1.4.1. Medidas estructurales**

Las medidas estructurales están diseñadas para contener y resistir el evento, pudiendo ser la reubicación de carreteras, reforzamiento de estructuras, construcción de muros de contención, obras de drenaje para estabilización, construcción de diques y otros tipos de contención de inundaciones, etc.

### **1.4.2. Medidas no estructurales**

Las medidas no estructurales son aquellas que dependen específicamente de factores ajenos al evento en sí, como el ordenamiento del uso del suelo, reubicación de poblaciones, capacitación a la población sobre cómo enfrentar los peligros, seguros contra desastres, sistemas de alerta, etc. Otras medidas podrían estar enfocadas hacia la revisión de códigos y reglamentos de diseño, mantenimiento y construcción y la preparación de planes de contingencia.

## **1.5. Marco estratégico para la atención de desastres**

Establece los lineamientos generales para el diseño de estrategias globales y la identificación de necesidades, que deben ser establecidos por las oficinas gubernamentales, con el fin de aumentar las acciones preventivas, con una mayor cobertura y con resultados tangibles. Podríamos definir las en los siguientes grupos.

### **1.5.1. Sección de fortalecimiento institucional**

La sección de fortalecimiento institucional incluye las acciones que deben considerarse dentro de las instituciones responsables del desarrollo y la planificación (ver anexos, tabla 4).

### **1.5.2. Sección de información e investigación**

La sección de información e investigación es donde se establecen actividades tendientes a mejorar la disponibilidad de información oportuna y actualizada, ayudando al proceso de toma de decisiones, dándonos además, los vacíos donde se deben enfocar los futuros estudios de investigación y documentación de información.

### **1.5.3. Sección de fortalecimiento de controles técnicos**

La sección de fortalecimiento de controles técnicos es la sección de los organismos responsables de la ejecución vial en sus distintas actividades.



## **2. ELEMENTOS BÁSICOS A CONSIDERAR PARA MEJORAR LA CIRCULACIÓN SEGURA EN LAS CARRETERAS**

Los usuarios de las carreteras, los vehículos que circulan por ellas, las carreteras mismas y los controles que se aplican para normar su operación, son elementos básicos que interactúan y se relacionan entre sí para determinar las características del tránsito.

La seguridad en las carreteras es un tema que tiene íntima relación con la tecnología automotriz, como la tiene también con la educación vial y, sin lugar a dudas con las prácticas de diseño, la construcción y el mantenimiento de las carreteras.

A futuro, hay que intervenir en la adopción y aplicación de mejores normas de diseño, donde de manera deliberada y sistemática se incorporen los conceptos de seguridad desde la fase de planificación hasta la operación de las carreteras, con la esperanza de que futuros avances en la educación vial contribuyan por su parte a generar cambios positivos y resultados más estimulantes en materia de seguridad.

El buen conocimiento de los factores humanos, ya sea de la persona en su calidad de conductor, de peatón o de pasajero, o ya se trate de la determinación de sus características, habilidades y limitaciones, lo que resulta esencial para el buen diseño de carreteras seguras y funcionales. Para muchos expertos en transporte, por ejemplo, la clave para una conducción exitosa, está en la eficiente recepción y procesamiento de información visual por parte del conductor, para la toma de decisiones oportunas. Cabe entonces preguntarse en qué medida, tiempo y lugar, el diseño, las condiciones ambientales y el arreglo de los dispositivos para el control del tránsito están contribuyendo a proporcionar al conductor la información que requiere. En tanto se identifiquen deficiencias o situaciones confusas, será del caso corregirlas para minimizar su efecto negativo en la conducción segura que es la meta a alcanzar.

## **2.1. Consideraciones viales**

El diseño de una carretera debe ser consistente, esto es, que deben evitarse los cambios abruptos en las características geométricas de un segmento dado, manteniendo la coherencia de todos los elementos del diseño con las expectativas del conductor promedio (ver anexo, figura 1 y tablas 1,2 y 3).

La administración de los accesos a las carreteras, particularmente en las intersecciones, es a menudo esencial para la segura y eficiente operación de dichas carreteras, sobre todo cuando enfrentan condiciones de altos volúmenes de tránsito. La administración de los accesos es la práctica de controlar dichos accesos desde las propiedades adyacentes a la vía, determinando la localización, número, espaciamiento y diseño de los puntos de acceso, lo cual involucra la consideración de las maniobras de giro y cruce que deberán incorporarse en el diseño de la geometría de las intersecciones. El control de los accesos es reputado como el factor de diseño que tiene mayor incidencia en la seguridad y en la preservación de la capacidad de las carreteras, aunque su aplicación no es de carácter universal y más bien se contradice con la función de otras vías, cuyo objetivo primordial es proporcionar amplio acceso a las propiedades colindantes, en desmedro de la propia seguridad.

## **2.2. Consideraciones de señalización**

Un principio de seguridad vial a respetar es que los soportes de las señales dentro del derecho de vía no deben actuar como barreras, que puedan ser mortales al ser impactadas por un vehículo fuera de control. Es ahora común en los países desarrollados contribuir a la seguridad vial mediante la instalación de señales en soportes que se rompen al recibir el impacto de un vehículo. Los soportes se fracturan en la base y el poste se dobla o cae al suelo, sin ofrecer resistencia ni causar daño alguno.

Sin sacrificio de su visibilidad, las señales y sus sistemas de soporte deben localizarse en áreas protegidas, como detrás de barreras, en estructuras elevadas o en la parte alta de un talud de corte.

Los soportes de señales no deben agruparse, tampoco deben espaciarse a menos de dos metros entre sí, a menos que su diseño haya sido confirmado en pruebas de ruptura.

La parte inferior de una señal debe estar montada a un mínimo de dos metros sobre el terreno, para que al ser impactada por un vehículo no se incruste en el parabrisas delantero del mismo, antes bien pase la señal y su soporte por encima del vehículo en mención.

Los postes de servicio público no deben instalarse en el exterior de curvas horizontales, ni en el centro de las curvas de las esquinas de las intersecciones. En general, se recomienda que la colocación de los postes de servicio público debe seguir los mismos principios que se aplica a los soportes de las señales de tránsito, excepto en los casos en que el daño ocasionado pueda ser mayor por la caída del poste sobre peatones o instalaciones. Los postes de servicio público deben ser colocados en los límites del derecho de vía, si ello es posible y práctico, para reducir la posibilidad de que sean impactados.

### **2.3. Consideraciones peatonales**

Los peatones y ciclistas son frecuentes víctimas de accidentes en las carreteras, debido a su elevada presencia en las vías, al irrespeto con que son tratados por los conductores y a su desconocimiento de las mínimas reglas de tránsito que entre otras cosas, les obligan a circular por la izquierda para advertir la presencia de los vehículos que se acercan.

Un hombro con superficie de grava y ancho suficiente es a menudo la provisión mínima deseable para la circulación peatonal por la carretera. La continuación de estos hombros en los puentes es una medida adicional importante para la seguridad peatonal. En las proximidades de las áreas urbanas deben construirse aceras separadas físicamente de la pista y, deseablemente para mayor seguridad, dentro de los límites del derecho de vía de la carretera.

Los carriles para ciclistas deben ser de un mínimo de 1.2 metros de ancho y de 1.5 metros cuando la velocidad del tránsito automotor sea mayor de 55 kilómetros por hora. Los carriles para ciclistas contiguos a la pista de rodamiento de la carretera deben ser de un solo sentido de circulación, el mismo del carril contiguo. Cuando sea aconsejable construir carriles para circulación de bicicletas en ambos sentidos, debe procurarse que exista una separación física con la pista principal o proporcionar barreras protectoras.



### **3. CONSIDERACIONES GENERALES EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS PARA LA PREVENCIÓN DE DESASTRES NATURALES**

Los usuarios de las carreteras, los vehículos que circulan por ellas, las carreteras mismas y los controles que se aplican para normar su operación, son los cuatro elementos básicos que interactúan y se relacionan entre sí para determinar las características del tránsito. Las carreteras y sus intersecciones, estas últimas con su usual concentración de complejos y diversos movimientos, deben diseñarse con suficiente capacidad para satisfacer los requerimientos de las demandas de dicho tránsito, durante todo el período seleccionado para el diseño de las instalaciones. La capacidad, a su vez, puede ser limitada por aspectos adversos de su entorno, relacionados con interferencias de peatones, frecuencia de intersecciones, condiciones del terreno y factores climáticos que afectan la visibilidad, disminuyendo la velocidad y las condiciones físicas y anímicas de los conductores.

Tan importante como ofertar mediante un buen diseño la capacidad requerida de una carretera, es brindarla en condiciones de óptima seguridad y eficiencia en los costos de operación de los vehículos. En la sección de anexos, figuras 1,2 y tablas 1,2 y 3 se incluyen algunas normas que se tienen que tomar en cuenta para el diseño de una carretera.

### **3.1. Aspectos generales**

Es importante que al llevar a cabo la planificación de un proyecto para la construcción de una carretera, se tomen en cuenta todas las especificaciones de la Dirección General de Caminos, para la mejor circulación de los vehículos, obtener la comodidad y seguridad del pasajero y de la carga que se transporte.

### **3.2. Tipos de vehículos**

Los vehículos de diseño son los vehículos automotores predominantes y de mayores exigencias en el tránsito que se desplaza por las carreteras del país, por lo que al tipificar las dimensiones, pesos y características de operación de cada uno de ellos, se brinda al diseñador los controles y elementos a los que se deben ajustar los diseños para hacer posible y facilitar su circulación irrestricta. De cada tipo de vehículo utilizado para diseño, se seleccionan a propósito para adoptar las condiciones más favorables, aquellos de mayores dimensiones físicas y de radios de giro mayores dentro de su clasificación tipológica.

La tipología de los vehículos automotores que circulan por las carreteras del país admite que, en primer término, se ubiquen en un extremo los vehículos livianos que son los más numerosos en la corriente vehicular e incluyen los automóviles compactos y subcompactos, los jeeps, las camionetas agrícolas y los pick-ups, siendo todos ellos representados por el automóvil tipo.

Los vehículos pesados, en el otro extremo de la clasificación, no admiten una sola representación, sino que requieren ser desglosados para su correcta identificación como elementos condicionantes de algunos aspectos del diseño geométrico de las carreteras. Por los menos, resulta claro que en esta categoría se encuentran los autobuses sencillos –no los autobuses articulados, que únicamente operan en ciertas rutas urbanas de la ciudad de Guatemala,- junto a una diversidad de vehículos pesados para el transporte de mercancías, que es preciso particularizar en cuanto a sus características y exigencias en materia de diseño.

Sin una sola industria automotriz en Guatemala, limitados ahora al ensamble y fabricación de ciertos tipos de carrocerías, todos los vehículos automotores que circulan por calles y carreteras de la región son importados, por lo que sus dimensiones, capacidades y características técnicas son producto de la mezcla heterogénea de diferentes marcas y modelos de vehículos procedentes de países desarrollados, como Estados Unidos y Japón, o de mayor desarrollo relativo, como Brasil y México.

Ciertos datos de tránsito y los registros nacionales de vehículos automotores destacan en el país la presencia relativamente importante del camión tipo C3, que corresponde a un camión de tres ejes, uno delantero y dos ejes tándem atrás, utilizado con preferencia para el acarreo de mercancías a distancias cortas o medianas. En términos de carga transportada por las carreteras del país, su participación es, sin embargo, bastante limitada, por consiguiente menos significativa que la aportada por la combinación vehicular identificada T3-S2, que consiste en la integración operativa de una unidad de tracción o cabezal de tres ejes, acoplado con un semiremolque de dos ejes en tándem.

El movimiento crecientemente importante y porcentualmente significativo de carga de importación y exportación por carreteras, en contenedores de 40, 45 y hasta 48 pies de longitud, con origen o destino a los puertos marítimos, se realiza utilizando este tipo de combinación de transporte que ha resultado práctica para las necesidades del país.

Aunque su presencia es en la actualidad bastante reducida, es posible que la combinación tipo T3-S3, o sea la combinación del mismo cabezal anterior con un semiremolque de tres ejes, pudiera en el futuro llegar a ser importante para el transporte por las carreteras del país.

Pudieran incentivar este movimiento la aplicación más efectiva de controles en los límites establecidos para los pesos y dimensiones de los vehículos por carretera, que tornaría atractivo utilizar este tipo de unidades en virtud de su mayor capacidad de carga viva, para la movilización de embarques más pesados. Algunas empresas guatemaltecas que realizan autotransporte, se han adelantado a esta idea.

Mención aparte por sus características muy propias, merecen las combinaciones de vehículos que operan en el transporte de la caña de azúcar hacia los ingenios en la temporada de la zafra, operando en las carreteras dentro de áreas restringidas a su zona de influencia. Se trata de la combinación de una unidad de tracción de gran potencia, que arrastra enganchados dos pesados remolques hasta de 40 pies de longitud, provisto cada uno de cuatro ejes, o un semirremolque con un remolque.

La configuración de la sección transversal de estos remolques se ensancha desde la base hacia arriba, para facilitar la operación de carga de las unidades e incrementar su capacidad de carga viva, reduciendo de paso el espacio libre de los carriles contiguos y, con su movimiento bamboleante, aportando su cuota de inseguridad a la circulación del tránsito general por dichas carreteras.

### **3.3. Conteo de tránsito**

El buen diseño de una carretera solamente puede lograrse si se dispone de la adecuada información sobre la intensidad del movimiento vehicular que la utiliza y la utilizará hasta el término del período seleccionado de diseño, sea que se trate de una nueva carretera existente que se propone reconstruir o ampliar.

Esta visión cuantificada del lado de la demanda del tránsito, es comparada con la oferta de capacidad que promete la solución del diseñador, para establecer su necesaria compatibilidad y consistencia.

La medición de los volúmenes de flujo vehicular se obtiene normalmente y a veces de manera sistemática, por medios mecánicos y/o manuales, a través de conteos o aforos volumétricos del tránsito en las propias carreteras, lo mismo que mediante investigaciones de origen y de destino (O/D) que, dependiendo de la metodología utilizada, arrojan datos sobre la estructura, distribución, naturaleza y modalidad de los viajes.

En las intersecciones, los estudios volumétricos de tránsito clasificados por dirección de los movimientos en los accesos a las mismas, durante períodos de tiempo determinados, proporcionan a su vez los datos básicos necesarios para enfrentar las particulares características de su diseño.

### **3.3.1. El tránsito promedio diario anual, TPDA**

Uno de los elementos primarios para el diseño de las carreteras es el volumen del Tránsito Promedio Diario Anual, conocido en forma abreviada como TPDA, que se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera en un período de tiempo determinado, que es mayor de un día y menor o igual a un año, dividido por el número de días comprendido en dicho período de medición. El TPDA entre las carreteras de las ciudades de Guatemala y Escuintla fue de 24,000 vpd en el año 1999.

La configuración característica del mapa de intensidades del tránsito rural por las carreteras principales del país, disminuye a partir de la capital, donde alcanza sus mayores cifras y plantea las mayores exigencias de inversión y capacidad instalada, hasta las fronteras terrestres que, como efectivas barreras físicas al movimiento vehicular, provocan el estrangulamiento del tránsito que, normalmente, resulta ser inferior a los 1,000 vpd, en muchos casos por debajo de los 500 vpd.

Estos extremos contrastes en el cuadro de las demandas, ajustadas convenientemente al año de diseño por tendencias de crecimiento que, solamente en lo que respecta al indicador del crecimiento del registro de vehículos automotores, es del orden de ocho a diez por ciento anual, apuntan lógicamente a la necesidad creciente de dotar al país de más y mejores carreteras, provistas cuando menos de cuatro carriles de circulación y posiblemente regida por controles en los accesos e intercambios.

Operando en forma complementaria a las ubicuas carreteras convencionales de dos carriles, donde por fortuna es posible capitalizar en la experiencia del país de diseño de los años recién pasados.

### **3.3.2. El tránsito de la hora pico o de punta**

Siendo el TPDA una medida muy genérica de la intensidad del tránsito a lo largo de un día, se vuelve necesario tomar en debida cuenta las variaciones extremas que registra el movimiento vehicular a lo largo de las veinticuatro horas del día, para seleccionar las horas de máxima demanda como base más apropiada para el diseño geométrico de las carreteras.

El tránsito de la hora pico o de la hora punta, recoge la necesidad de referir el diseño no a la hora máxima que se registra en un año ni a la hora promedio, sino a una hora intermedia que admita cierto grado de tolerancia a la ocurrencia de demandas horarias extremas, que podrían quedar insatisfechas o con menores niveles de comodidad para la conducción.

Para determinar el volumen de tránsito de la hora pico se acostumbra graficar la curva de datos de volúmenes de tránsito horario registrados durante todo un año en una estación permanente de registro de movimiento vehicular por carretera, mostrando en el eje de las ordenadas aquellos volúmenes registrados de mayor a menor, como porcentajes de TPDA, en tanto que en el eje de las abscisas se anota el número de horas por año en que el tránsito es mayor o igual al indicado.

La hora máxima puede llegar a representar desde el veinte y cinco hasta el treinta y ocho por ciento del TPDA, la última cifra correspondiente a la experiencia de recuentos de tránsito en la república mexicana. La curva desciende bruscamente hasta su punto de inflexión, que ocurre normalmente en la denominada trigésima hora de diseño o 30HD , lo cual significa que al diseñar para ese volumen horario, cabe esperar que existen 29 horas en el año en que el volumen será excedido. Esto es, que no resulta práctico ni económico incrementar el diseño al doble, si tal fuere el caso, para reducir las horas de congestiónamiento, como tampoco corresponde tolerar un mayor número de horas de dicho congestiónamiento para reducir en menor cuantía los requerimientos del diseño.

El volumen de tránsito de la hora pico o 30HD se sitúa normalmente entre doce y diez y ocho por ciento del TPDA en el caso de las carreteras rurales, con un término medio bastante representativo de quince por ciento de dicho TPDA.